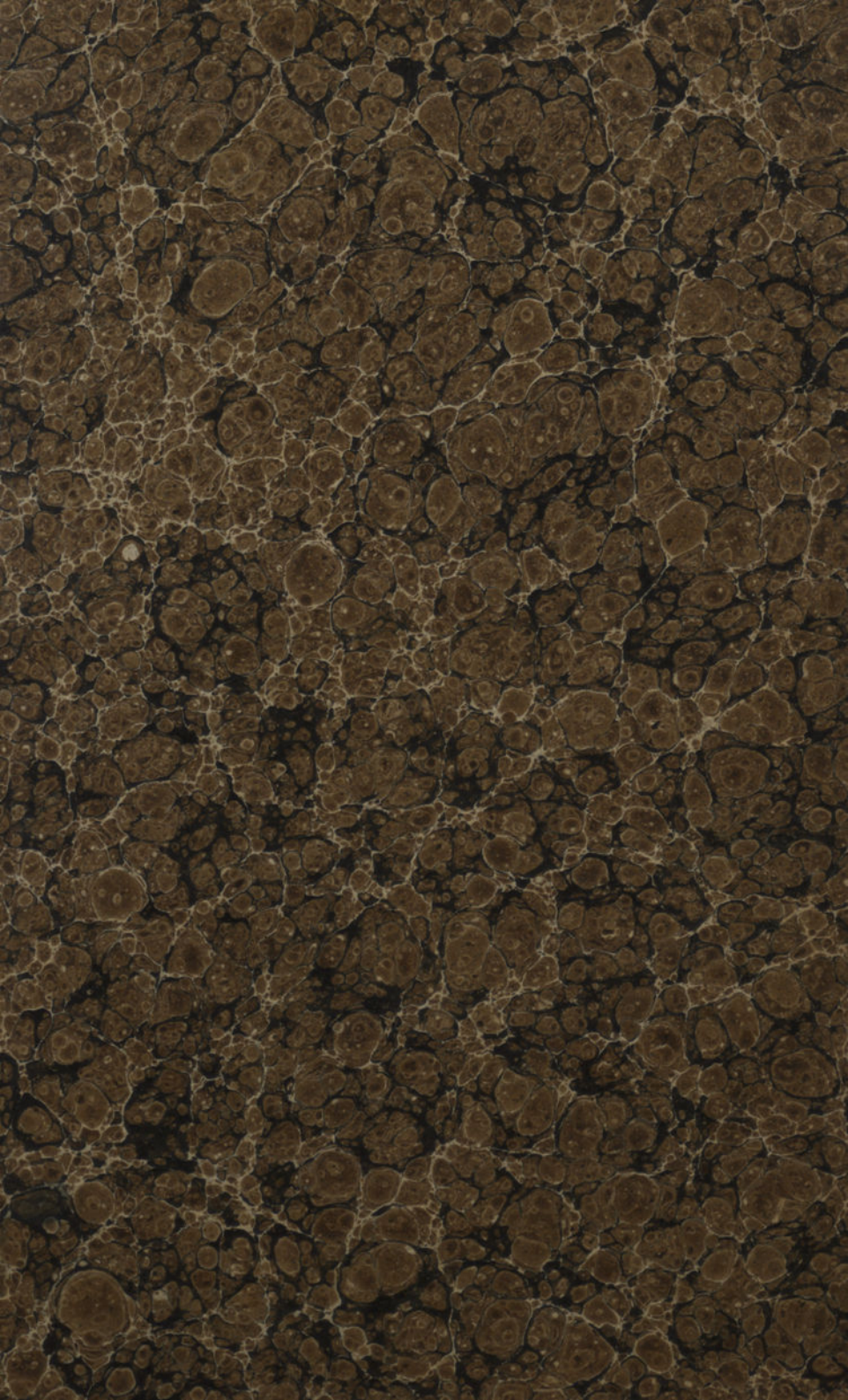




Sala 46  
Est. 4  
Tab. 3  
N.º 1











*Do Ilmo. Sr. Senador  
Minister do Reino*

Est. 5 Tab. 5 N.º 13

*[Handwritten signature]*

ELEMENTOS  
DE  
PHYSICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL  
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA  
E DA TÉCNICA

N.º 1191









NV. - Nº 710



ELEMENTOS

2109

DE

# PHYSICA

REDIGIDOS

EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMMA OFFICIAL DOS LYCEUS

POR

**Miguel Archanjo Marques Lobo**

BACHAREL FORMADO EM MATHEMATICA, PHILOSOPHIA E MEDICINA

PELA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

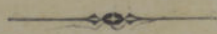
E PROFESSOR DE MATHEMATICA E INTRODUCCÃO

Á HISTORIA NATURAL



SCIENTIA CIENCIA VIVA  
FOMULO DE CARVALHO

RC  
MNCI  
53  
LOB



COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1882

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL  
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA  
E DA TÉCNICA



COMPRA

Nº 1191

100 710

RECEIVED

PHYSICS

IN THE DEPARTMENT OF PHYSICS

STANFORD UNIVERSITY



STANFORD UNIVERSITY  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
STANFORD, CALIF.



# INDICAÇÃO DAS MATERIAS

## SEGUNDO O PROGRAMMA DOS LYCEUS

Approvado por Decreto de 14 de outubro de 1880

### PHYSICA

#### Noções preliminares

	Pag.
Definição da physica; definição do phenomeno, e suas especies. Corpo; materia; atomo e molecula. Corpos sob diferentes pontos de vista; estados dos corpos. Agentes naturaes. Ether. A materia e o movimento considerados como causas unicas de todos os movimentos. Leis e theorias physicas. Espaço e tempo. Universo e natureza. Observação e experiencia .....	1-7
Propriedades dos corpos. Extensão. Impenetrabilidade. Divisibilidade. Porosidade. Compressibilidade. Volume apparente e volume real. Elasticidade, e suas especies. Mobilidade. Movimento. Inercia. Causa da resistencia ao movimento. Efeitos da inercia .....	7-14
Principios de mechanica. Força; caracteres de força motora; sua unidade, medição e representação. Equilibrio e repouso. Systema de forças. Resultantes e componentes. Composição e decomposição das forças, theoremas respectivos. Binario.....	15-20
Movimento; suas especies. Movimento uniforme e variado: Velocidade e leis do movimento uniforme. Velocidade e leis do movimento uniformemente variado .....	21-26
Proporcionalidade entre as forças constantes e as accelerações. Massa. Quantidade de movimento. Força viva. Trabalho mechanico. Kilogrametro.....	27-29

	Pag.
Da força centrífuga; força centripeta. Leis da força centrífuga. Exemplos da força centrífuga . . . . .	29-31
Das machinas. Alavanca; suas especies. Lei do equilibrio na alavanca. Plano inclinado, sua lei de equilibrio. Roldana, suas especies; lei de equilibrio na roldana . . . . .	32-36
Gravidade. Attractão universal, sua lei. Gravitação, gravidade e attractão molecular. Natureza da gravidade, ponto de applicação e direcção da gravidade; fio de prumo. Intensidade da gravidade, causas que a modificam . . . . .	37-40
Peso e densidade. Differentes especies de peso. Relação entre os pesos, massas, volumes e densidades dos corpos. . . . .	40-43
Centro de gravidade. Equilibrio dos corpos solidos. Differentes especies de equilibrio e suas condições . . . . .	43-47
Leis da queda dos corpos. Machina de Atwood . . . . .	48-53
Do pendulo e suas oscillações. Pendulo simples. Leis das oscillações do pendulo. Pendulo composto. Comprimento do pendulo composto. Applicações do pendulo . . . . .	54-62
Balanças e seus principaes typos; condições a que devem satisfazer. Balanças exactas. Methodos de duplas pesagens . . . . .	62-67
Dynamometros. Dynamometro de mola angular, de Leroy e de Poncelet . . . . .	67-68
Forças moleculares. Coesão e adhesão. Força repulsiva. Relações entre os tres estados dos corpos . . . . .	69-71
Propriedades particulares dos solidos. Tempera e recosimento . . . . .	72-74

## Liquidos

Hydrostatica. Propriedades geraes dos liquidos; sua compressibilidade. Principio de egualdade de pressão. Condições de equilibrio nos liquidos . . . . .	75-77
Pressões dos liquidos. Pressões verticaes, suas leis e apparelhos com que se demonstram. Pressões lateraes, suas leis e demonstração experimental. Torniquete hydraulico. Paradoxo hydrostatico . . . . .	77-82
Prensa hydraulica. Vasos communicantes. Equilibrio dos liquidos em vasos communicantes. Applicações. Repuxo. Poços artesianos. Correntes de agua. Nivel de agua e de bolha de ar; cotas. Nivel dos mares. Pressão sobre um corpo mergulhado em um liquido . . . . .	82-89
Principio de Archimedes. Casos na immersão dos corpos. Equilibrio dos corpos immersos e fluctuantes; metacentro. Ludion; bexiga natatoria . . . . .	90-93



Determinação do peso específico dos corpos solidos e líquidos pela balança hydrostatica e pelo methodo do frasco .....	94-97
Areómetros; suas diversas especies e usos. Alcoolometro de Gay-Lussac .....	97-101
Capillaridade; suas leis. Efeitos devidos á capillaridade. Endosmose e exosmose. Osmose. Diffusão e dialyse...	102-105

## Gazes

Pneumostatica. Propriedades dos gazes. Theoria dinamica dos gazes. Tensão ou força elastica dos gazes.....	106-107
Atmosfera; sua composição, seu peso e altura. Pressão do ar. Experiencias que demonstram a existencia da pressão atmospherica. Experiencia de Torricelli. Unidade atmospherica. Pressão do ar sobre o corpo humano. Aplicações .....	108-113
Barómetros. Barometro de cuba ordinaria; sua construção. Barometro de Fortin, de Gay-Lussac e de mostrador. Causas de erro nas observações barometricas. Correções barometricas. Barometro metallico de Bourdon. Barometro aneroide. Variações barometricas. Medida das alturas por meio do barometro. Usos do barometro. Barometro chimico.....	113-123
Força elastica dos gazes. Lei de Mariote. Manómetros, e suas especies. Machina pneumatica, simples e composta. Machina de Bianchi. Usos da machina pneumatica ...	124-132
Machina de compressão. Fonte de compressão. Fonte de Heron. Vaso de Tantalos. Espingarda de vento .....	133-136
Bombas; suas especies. Bomba dos incendios. Syphão. Baroscopio. Aerostatos.....	137-143

## Acustica

Definição da acustica. Som e ruido. Produção do som; experiencias diversas. Vibrações dos corpos .....	144-146
Propagação do som. Vehiculos do som. Modo de propagação do som. Ondas sonoras. Coexistencia das ondas. Velocidade do som no ar, na agua e nos solidos. Reflexão do som. Echo. Resonancia. Interferencia dos sons ....	146-152
Qualidades do som: altura, timbre e intensidade do som. Causas que variam a intensidade do som. Porta-voz. Corrente acustica. Sonoridade dos edificios .....	152-155

	Pag.
Vibrações das cordas. Sonometro. Avaliação experimental do numero de vibrações correspondentes aos diversos sons; serêa acustica. Escala musical. Gamma. Escala diatonica. Intervallos musicaes. Acordes e dissonancia. Diapasão.....	156-161

## Calor

Definição do calor. Theorias do calor. Theoria mechanica do calor. Trabalho interno e externo. Equivalente mechanico do calor. Fontes do calor. Dilatação dos solidos, dos liquidos e dos gazes.....	162-169
Thermometros; temperatura; thermometro de mercurio, sua construcção e graduação. Differentes escalas thermometrias, sua conversão. Deslocamento do zero. Limites do thermometro do mercurio. Sensibilidade dos thermometros. Thermometros de precisão. Graduação dos thermometros por comparação. Thermometros de alcool. Thermometros de maxima e minima. Thermometros de gazes. Thermometros differenciaes. Thermometros metalicos. Pyrometros de Vedgwood.....	169-181
Coefficientes de dilatação, linear e cubica dos solidos. Usos da dilatação. Pendulo compensador e laminas compensadoras. Coefficiente de dilatação cubica apparente e absoluta dos liquidos. Maxima de densidade da agua. Coefficiente de dilatação dos gazes. Densidade dos gazes, sua determinação. Densidade dos gazes em relação ao ar e agua. Zero absoluto de temperatura.....	182-192
Calor radiante, suas leis. Reflexão nos espelhos concavos. Espelhos ardentes. Equilibrio movel de tempetura. Reflexão apparente do frio.....	193-197
Poderes radiante, absorvente e reflectidor dos corpos para o calor; causas que modificam estes poderes. Applicações.....	197-200
Poderes diathermanes e athermanes. Applicações. Differentes especies de raios calorificos.....	200-202
Conductibilidade calorifica dos corpos. Corpos bons e máus conductores. Conductibilidade dos solidos, liquidos e gazes. Applicações da conductibilidade.....	203-206
Calorimetria. Caloria. Calor especifico. Quantidade de calor. Determinação dos calores especificos dos corpos solidos. Calor especifico dos liquidos e dos gazes. As temperaturas não indicam as quantidades de calor contidas nos differentes corpos. Experiencia de Tyndall. Lei de Dulong e Petit.....	207-214



Mudança de estado dos corpos. Fusão e suas leis. Calor latente de fusão. Solidificação e suas leis. Crystalisação. Dissolução. Congelamento da agua. Causas que influem sobre a congelamento. Regelação. Misturas frigoríferas. ....	215-220
Vaporisação. Formação dos vapores no vazio e suas leis. Espaços saturados e não saturados. Maxima tensão dos vapores. Relação entre as tensões dos vapores e as temperaturas. ....	220-223
Evaporação; causas que a facilitam. Ebullicão e suas leis. Causas que influem sobre a temperatura de ebullicão. Temperatura de ebullicão de alguns liquidos mais notaveis. Ebullicão em vasos fechados. Ebullicão sem fogo. Fervedouro de Franklim. Marmita de Papin. Calor latente dos vapores. Frio produzido pela ebullicão, experiencia de Leslie. Congelador de Carré. Fabrico industrial do gelo. Distillação. ....	223-231
Liquefacção e solidificação dos gazes. Trabalhos de Pictet e de Cailletete. Solidificação do hydrogenio, do oxigenio e do ar atmospherico. ....	232-234
Misturas dos gazes e dos vapores; suas leis. Densidade dos vapores. Relação entre um volume de um liquido e do seu vapor. Estado espheroidal, sua causa. Experiencias relativas ao estado espheroidal. ....	234-238
Idéas geraes sobre as applicações domesticas do calor. Apparelhos de aquecimento. Chaminés; tiragem das chaminés; condições de uma boa tiragem; fornos e fornalhas. Aquecimento e ventilação dos recintos. Poales. Caloríferos de ar quente, de agua quente e de vapor. .	238-249
Machinas de vapor. Experiencia de Papin. Machina de Newcommen. Machina de vapor de Watt de simples e duplo effeito. Descrição dos orgãos fundamentaes da machina de vapor. Regulador da força centrifuga. Detente de vapor. Machina sem condensador. Classificação das machinas de vapor. Cavallo vapor. ....	244-254
Viação accelerada por vapor. Locomotivas; suas principais partes. Caminhos de ferro. Navios de vapor de rodas e de helice. Caldeiras maritimas. ....	254-258

## Meteorologia

Definição de meteorologia. Meteoros, sua divisão. Hygrometria. Estado hygrometrico do ar. Hygrometros, suas especies. Hygrometro de cabelo. Hygrometros chimicos. Hygroscopos. ....	259-264
---	---------

	Pag.
Meteoros aerios. Ventos, suas causas. Direcção e velocidade dos ventos. Anemometros. Classificação dos ventos. Furacões. Cyclone. Trombas.....	264-272
Meteoros aquosos. Nuvens. Nevoeiros. Orvalho. Geadas. Chuva. Pluviometro. Neve e Saraiva.....	272-276
Meteoros luminosos. Arco-iris. Auroras polares. Estrellas cadentes. Aerolites. Fogo-fatuo. Fogo de Sanct'Elmo..	276-279

## Climatologia

Clima. Temperaturas medias. Causas que modificam a temperatura. Linhas isothermicas. Divisão dos climas. Distribuição da temperatura á superficie do globo terrestre. Temperatura dos mares, dos lagos e das fontes. Oceano. Correntes maritimas .....	280-288
Previsão do tempo. Carta synoptica. Prognosticos tirados dos ventos, da altura barometrica, do thermometro e do hygrometro. Avisos meteorologicos. Signaes das perturbações atmosphericas e das tempestades.....	288-292

## Luz

Optica, sua divisão. Luz. Theorias da luz. Constituição do ether. Efeitos das ondulações ethereas. Corpos luminosos e illuminados, diaphanos, translucidos e opacos. Raio de luz e feixe de luz. Propagação da luz n'um meio homogenio, suas leis. Sombra e penumbra. Eclipses. Velocidade da luz. Imagens atravez de pequenas aberturas. Photometros. Unidade de luz.....	293-303
Reflexão da luz, suas leis. Luz diffusa. Espelhos. Imagens reaes e virtuaes.....	304-307
Espelhos planos. Formação das imagens nos espelhos planos, paralelos e inclinados. Kaleidoscopio.....	307-310
Espelhos esphericos, sua divisão. Focos dos espelhos esphericos concavos, sua determinação. Construcção das imagens nos espelhos concavos. Focos dos espelhos esphericos convexos. Construcção das imagens nos espelhos convexos. Aberração de esphericidade. Formulas relativas aos espelhos esphericos. Espelhos parabolicos, cylindricos e conicos. Anamorphoses. Applicações dos espelhos .....	311-323
Refracção da luz, simples e dupla. Leis da refracção simples. Indice da refracção. Passagem da luz nos meios de faces paralelas. Angulo limite. Reflexão total. Phenomenos devidos á refracção; miragem, sua theoria..	324-332



Prismas. Passagem da luz atravez dos prismas. Angulo de desvio.....	332-333
Lentes, suas differentes especies. Determinação do centro optico. Focos e eixos nas lentes convergentes. Determinação experimental dos focos nas lentes biconvexas. Construção das imagens nas lentes convergentes. Focos nas lentes divergentes. Formação das imagens nas lentes divergentes. Relação entre a situação da imagem e a do objecto. Grandeza das imagens. Aberração da esphericidade.....	334-342
Dispersão da luz. Decomposição da luz, espectro solar. Cores do espectro solar e cores simples. Causa da decomposição da luz. Recomposição da luz. Theoria de Newton relativa ás cores. Cores complementares. Composição do espectro solar. Riscas do espectro. Analyse espectral. Composição solar. Aberração da refrangibilidade. Achromatismo.....	343-351
Instrumentos opticos; suas especies e fins para que são destinados. Microscopio, simples e composto. Oculos; astronomicos e terrestres. Oculo de Galilleo, binoculo de theatro. Telescopio de Newton. Camara escura, e clara. Camara photographica. Lanterna magica. Lentes fragmentadas. Pharoes. Phosphorescencia e Fluorescencia.....	352-362

## Magnetismo

Magnetismo. Magnetes naturaes e artificiaes. Polos e linha neutra dos magnetes. Acção mutua dos polos. Hypotheses de dois fluidos magneticos. Theoria de Ampère sobre o magnetismo. Substancias magneticas e magnetes. Magnetisação por influencia. Força coercitiva. Experiencia dos magnetes partidos. Corpos magneticos e diamagneticos. Lei das attracções e repulsões magneticas.....	363-369
Magnetismo terrestre. Acção directriz da terra sobre os magnetes. Causa do magnetismo terrestre. Binario magnetico terrestre. Meridiano magnetico. Declinação da agulha, sua variação. Inclinação da agulha-magnetica. Equador e polos magneticos da terra. Bussolas, de declinação, maritima e de inclinação. Agulhas astaticas.	369-374
Processos de magnetisação pelos imans, methodo de simples toque, toque separado, toque dobrado. Magnetisação pela influencia da terra. Fasciculos magneticos. Armaduras dos magnetes.....	374-377

## Electricidade estatica

	Pag.
Definição da electricidade. Hypothese sobre a sua natureza. Electricidade estatica e dinamica. Fontes de electricidade. Electricidade pelo attrito. Pendulo electrico. Corpos conductores e não conductores. Corpos isoladores. Reservatorio commum. Hypotheses das duas especies de electricidade. Fluido neutro. Theoria sobre a electricidade de Franklin, de Symmer. Theoria moderna da electricidade. Significação das palavras antigas em relação á theoria moderna. Acções mutuas entre os corpos electrizados. Lei da electrização por fricção. Leis das alterações e repulsões electricas . . . . .	378-387
Distribuição da electricidade. Accumulação da electricidade á superficie dos corpos. Densidade electrica: tensão. Potencial, capacidade electrica. Influencia da fôrma dos corpos sobre a accumulção da electricidade. Poder dos pontas. Esgotamento da electricidade . . . . .	387-390
Electrização por influencia. Poder inductor electrico. Penetração dos corpos isoladores pelo fluido electrico. Combinação a distancia de duas electricidades. Faisca electrica. Descarga silenciosa. Explicação do movimento dos corpos electrizados. Electroscopio das folhas de ouro . . . . .	390-396
Machinas electricas. Machina electrica ordinaria ou de Ramsden. Carga maxima. Electrometro de Henley. Machina electrica de Holtz. Machina electrica de Carré. Electrophoro. Diversas experiencias com a machina electrica. Banco. Carilhão e torniquete electrico . . . . .	397-404
Condensação da electricidade. Condensadores. Theoria dos condensadores electricos. Descarga lenta e instantanea. Descargas secundarias. Limite de accumulção electrica nos condensadores. Garrafa de Leyde. Garrafa de armaduras moveis. Bateria electrica . . . . .	405-410
Efeitos da electricidade estatica. Efeitos luminosos; ovo electrico. Tubo e quadro scintillante. Efeitos calorificos. Efeitos mechanicos. Efeitos chimicos. Pistola de Volta. Efeitos physiologicos . . . . .	410-414
Electricidade atmospherica. Electricidade habitual do ar e das nuvens. Causa da electricidade atmospherica. Relampago. Trovão. Raio. Choque reflexo. Pára-raios . . .	414-418



## Electricidade dinamica

	Pag.
Electricidade dinamica. Galvanismo. Experiencia de Galvani. Theoria de Galvani. Experiencia de Volta. Theoria de Volta. Apreciação das theorias de Galvani e Volta.	419-422
Pilhas. Pilha de Volta. Tensão da pilha. Distribuição da electricidade na pilha voltaica. Polos, rheophoros e correntes. Direcção das correntes. Modificações na pilha de Volta. Pilhas de tina, de Wollaston. Pilhas seccas. Electricidade desenvolvida pelas acções chemicas. Theoria chimica de pilha. Correntes secundarias . . . . .	422-429
Pilhas de dous liquidos, suas vantagens. Pilhas de Daniel, de Bunsen. Pilha de Minoto, de Leclanché e de bichromato de potassa. . . . .	430-434
Efeitos geraes da electricidade dinamica. Efeitos physiologicos e calorificos das correntes. . . . .	435-437
Efeitos luminosos das correntes. Luz electrica. Arco voltaico. Transporte da materia ponderavel pelo arco voltaico. Lampadas electricas. Reguladores. Vela carbonica de Jablochhoff. Propriedades e intensidade da luz electrica. Efeitos mechanicos das correntes . . . . .	437-442
Efeitos chemicos das correntes. Decomposição da agua. Electrolyse. Voltmetro. Unidade de intensidade, equivalente electrico. Galvanoplastia. . . . .	442-445
Efeitos magneticos das correntes. Experiencia de Ørstedt. Lei de Ampère. Galvanometro . . . . .	446-450
Correntes thermo-electricas. Experiencia de Seebeck. Causas e propriedades das correntes thermo-electricas. Pilhas thermo-electricas. Pilha de Clamond. Thermo-multiplicador. Applicações. Velocidade de electricidade.	451-455
Phenomenos fundamentaes da electro-dynamica. Acção mutua entre as correntes electricas. Leis das correntes.	455-456

## Electro-magnetismo

Definição do electro-magnetismo. Acção das correntes sobre os magnetes e dos magnetes sob as correntes. Solenoides. Orientação dos solenoides sob a influencia da terra. Solenoides e correntes electricas, acções reciprocas. . . . .	457-460
Magnetisação pelas correntes. Electro-imañ. Bobinas. Campainhas electricas . . . . .	460-463

	Pag.
Telegraphia electrica. Telegraphos electricos. Theoria dos telegraphos electricos. Telegrapho de mostrador, telegrapho de Morse. Telegrapho impressor. Telegrapho submarinho. Motores electro-magneticos .....	463-472
Inducção electrica. Inducção pelas correntes, pelos magnetes e pela acção magnetica da terra.....	477-475
Machinas de inducção. Bobina de Ruhmkorff. Machinas de Gramme, magno-electrica, dynamo-electrica, suas applicações, reversabilidade entre a electricidade e o movimento. Machina de correntes alternativas de Gramme; sua applicação. Illuminação publica pela electricidade.....	475-480
Telephonio. Microphonio. Phonographo. Photophonio. Telectroscopio.....	481-486

---



A propriedade d'este livro no Brazil,  
pertence ao cidadão brasileiro o exm.<sup>o</sup>  
sr. João Alfredo de Carvalho Braga.





# ELEMENTOS

DE

# PHYSICA

---

## Noções preliminares

§ 1. A *Physica* é a sciencia que estuda as propriedades geraes dos corpos e as acções que estes exercem uns sobre os outros, quer directamente, quer por intermedio de certos agentes naturaes, sem mudança permanente na sua constituição intima; ou, é a sciencia que estuda os phenomenos physicos e as suas leis.

A *Chimica* é a sciencia que estuda as propriedades particulares dos corpos e todas as acções que imprimem a estes uma mudança permanente na sua constituição intima; ou, é a sciencia que estuda os phenomenos chimicos e as leis que os regem.

§ 2. Chama-se *phenomeno* toda a mudança que sobrevém a um corpo, quer no seu estado, quer nas suas propriedades: todo o facto, toda a manifestação de um effeito é um phenomeno. Ha duas especies de phenomenos; *physicos* e *chimicos*: phenomeno physico é a mudança que soffre um corpo sem alterar a sua constituição intima;

por ex.: a quêda de um corpo, a chuva, o vento, a fluxão da agua, a vaporisação: *phenomeno chimico* é a mudança que soffre um corpo, quando d'esta mudança provém alteração permanente e fixa na sua constituição intima; por ex.: a combustão, a fermentação, a oxidação, a decomposição da agua em oxigenio e hydrogenio.

Todo o *phenomeno* suppõe uma causa: a causa pôde ser *primaria*, *secundaria*, que recebe a acção da primaria, e *occasional*, que depende da occasião da producção do *phenomeno*.

§ 3. *Corpo, materia, atomo e molecula.*

*Corpo* é uma porção limitada de materia.

*Materia* é tudo o que cae immediatamente sob os nossos sentidos, ou tudo o que pôde produzir em nós sensações; ou, é a substancia de que se compõem os corpos e onde reside de certo modo a sua essencia.

*Atomo* é uma porção de materia extremamente pequena de fórma variavel, cuja continuidade resiste ás forças physicas e chemicas que podem obrar sobre ella.

*Molecula* é a reunião de atomos. Esta reunião constitue uma pequena massa de materia, com fórma determinada, tendo a mesma natureza do corpo de que faz parte.

§ 4. Os corpos não são substancias contínuas: são formados de atomos que não se tocam, mas que ficam simplesmente juxtapostos e separados por espaços inter-moleculares, chamados *póros*. Os atomos são mantidos nas suas posições pela acção de duas forças contrarias, que se denominam forças inter-moleculares; uma é a *força de attracção*, que tende a aproximal-os, e a outra é a *força de repulsão*, ou a *força expansiva do calor*, que tende continuamente a afastal-os.

§ 5. Os corpos podem ser considerados sob differentes pontos de vista: em quanto á sua *origem*, á sua *composição*, ao seu *estado*, ao seu *peso*, etc.

Em quanto á sua origem os corpos são *organicos* e *inorganicos*: *organicos* os que têm órgãos e são dotados



de vida; como por ex.: um animal, uma arvore, um fructo: *inorganicos* os que não têm órgãos e são privados de vida, por ex.: a agua, a pedra, a cal, o oxigenio, o hydrogenio.

Em quanto á sua composição os corpos são *simples* e *compostos*: os corpos *simples* ou *elementos* são aquelles de que, no estado actual de sciencia, se não póde extrahir senão uma especie de materia; por ex.: o oxigenio, a prata, o ferro, a platina, etc. Os *corpos compostos* são aquelles de que se podem extrahir muitas especies de materia: por ex.: a agua d'onde se extrahe o oxigenio e o hydrogenio; o sal das cosinhas, que é formado de chloro e de sodio; o marmore, que é composto de oxigenio, de carbonio e de calcio; o assucar, composto de oxigenio, de hydrogenio e de carbonio.

Em quanto ao seu estado os corpos podem ser *solidos*, *liquidos* e *gazosos* ou *gazes*.

Os *corpos solidos* são os que podem ser comprimidos entre os dedos, offercem uma certa resistencia á separação das suas partes, recebem e conservam a fórma que se lhes dá, e a attracção entre as suas moleculas é maior que a repulsão. Os solidos têm o volume e a fórma constantes; por ex.: uma pedra, uma barra de ferro ou de madeira, uma meza, uma moeda.

Os *corpos liquidos* são os que não podem ser comprimidos entre os dedos, as suas moleculas têm uma grande mobilidade, e escorregam umas sobre as outras com extrema facilidade, não têm fórma propria, tomam a dos vasos que os contêm, e a attracção entre as suas moleculas é igual á repulsão. Os liquidos têm o volume constante e a fórma variavel: por ex.: a agua, o vinho, o azeite, o alcool e o mercurio.

Os *corpos gazosos* ou *gazes* são os que tendem constantemente a expandir-se, occupam toda a capacidade dos vasos que os contêm; a força de attracção entre as suas moleculas é menor que a de repulsão. Os gazes

têm o volume e a fórma variaveis: por ex.: o ar, o oxigenio, o hydrogenio e o azote.

Os liquidos e os gazes têm o nome de fluidos. Os gazes tambem se denominam *fluidos* aeriformes ou fluidos elasticos.

Em quanto ao seu peso os corpos podem ser *ponderaveis* ou *imponderaveis*.

Os *corpos ponderaveis* são os que têm peso; por ex.: a pedra, a agua, o ar, etc.

Os *imponderaveis* ou *incoerciveis* são os que não têm peso, ou, pelo menos, aquelles a que, no estado actual da sciencia, não se têm encontrado peso apreciavel pelos instrumentos á nossa disposição; taes são o calorico, a luz, a electricidade, o magnetismo e o ether.

§ 6. **Agentes naturaes.** Os agentes naturaes, ou forças naturaes, são as causas primarias e geraes que produzem todos os phenomenos; são a *attracção universal*, o calor, a luz, o som, a *electricidade* e o *magnetismo*. A Physica moderna considera estes agentes como diversos modos de movimento do *ether*, substancia muito subtil, elastica, espalhada por todo o universo, desde os espaços celestes até os inter-moleculares; assim como considera tambem que todos os corpos são transformações da materia primordial, que com fundadas probabilidades é o ether. O ether ora communica o seu movimento a diversos corpos, ora o recebe d'elles. Logo todos os phenomenos não são mais do que a expressão de movimento.

§ 7. **Leis e theorias physicas.** Chama-se *lei physica* a relação constante e invariavel entre um phenomeno e a sua causa geradora; ou, as relações que se reconhecem entre as differentes circumstancias de um phenomeno. Assim, a relação que se observa no phenomeno da queda de um corpo que cae livremente no vacuo, e que se exprime, «os espaços crescem proporcionalmente aos quadrados dos tempos empregados em os percorrer»; a relação entre as pressões e os volumes dos gazes, que se



traduz, «os volumes de gazes estão na razão inversa das pressões que elles supportam»; a relação entre a intensidade da luz e a distancia, que se enuncia «a intensidade da luz é inversamente proporcional ao quadrado da distancia», são leis physicas. A *theoria physica* é o conjuncto de leis physicas que dizem respeito a uma mesma classe de phenomenos; ou, a explicação de uma certa classe de phenomenos. Assim diz-se: a theoria do calor, da electricidade, da luz e do som: a theoria da refração, da mi-  
ragem, e do orvalho.

§ 8. Espaço e tempo. *Espaço* é o logar onde existe ou póde existir a materia: o espaço não tem limites, por conseguinte é infinito. Uma porção limitada de espaço tem o nome de *extensão*; quando esta não contém materia, diz-se *vacuo* ou vazio. O *tempo* é a impressão que deixa na memoria uma successão de factos physicos ou moraes. A idêa do tempo é uma idêa abstracta, que nasce da observação que fazemos da successão de factos ou phenomenos. O tempo é infinito no passado e no futuro. O espirito humano não concebe que o tempo tenha começo nem fim, porque além d'estes limites deve existir ainda o tempo.

§ 9. Universo e natureza. Antes do apparecimento da materia devia preexistir o espaço. Da energia das contínuas mutações da materia originou-se a idêa da força; esta e aquella tiveram o mesmo começo. A materia ficou inherente a força, ou esta condensando-se revelou-se pela materia.

Das transformações da materia ou da força, sob as multiplas fórmas de condensações, formou-se esta immensa variedade de corpos que nos cercam e que constitue o universo.

O *universo* é o complexo de todos os corpos que existem no espaço, ou é a quantidade de materia que existe no espaço; esta quantidade é constante, nem se cria nem se destroe, transforma-se.



A *natureza* é a contnua e insensível mutação da materia no espaço.

§ 10. *Observação e experiencia.* Todos os phenomenos da natureza não são mais que mecanismos mais ou menos complexos sob a acção das forças. Não sendo possível saber nada *a priori* sobre o mundo physico, nem tão pouco estabelecer axiomas que a razão nos indique, nem principios que possamos deduzir de puras concepções do nosso espirito, e renunciando ao máu habito que temos de acceitar como explicações hypotheses que só têm a garantia da possibilidade; todo o nosso empenho nas sciencias physicas se resume em analysar essa multiplicidade de mecanismos, e descobrir as forças que os determinam. Para conseguirmos este fim temos dois meios á nossa disposição, que são a observação e a experiencia.

A *observação* é o exame de todos os phenomenos que a natureza nos apresenta; não é um exame vago e superficial, pelo contrario é um estudo detido, minucioso, seguido de todas as phases, com todas as circumstancias medidas com precisão e rigor.

A *experiencia* é a arte de dirigir a acção das forças naturaes, sobre os corpos collocados em condições e circumstancias convenientes: consiste em reproduzir os phenomenos á vontade, variando as circumstancias, para reconhecer aquellas que n'elles influem. Assim, quando estudamos a quéda dos corpos, os movimentos das nuvens, a sua descarga electrica, que produz o relampago e o trovão, fazemos a *observação*.

Quando, porém, deixamos cahir diversos corpos dentro de um tubo sem ar, para evitar a influencia da sua resistencia na quéda d'elles; quando vaporisamos a agua para obtermos as nuvens; quando reproduzimos o relampago e o trovão por meio de electricidade, fazemos a *experiencia*.

O experimentador, aquecendo, resfriando, comprimindo os corpos nas operações que dirige á sua vontade, dá origem

á observação de novos phenomenos. Nas experiencias, pois, umas vezes reproduzem-se os mesmos phenomenos naturaes, mas em ponto pequeno, outras vezes amplificam-se, o que faz melhor perceber e verificar as causas.

### Propriedades geraes dos corpos

§ 11. Dá-se o nome de *propriedades* dos corpos ou da materia ás suas diversas maneiras de ser, de representar e impressionar os nossos sentidos. Distinguem-se em *geraes* e *particulares*.

As propriedades *geraes* são as que pertencem a todos os corpos, sob qualquer estado que se considerem. As propriedades *particulares* são as que se observam em certos corpos, ou em certos estados dos corpos; servem só para caracterisar os corpos considerados individualmente, e distinguil-os uns dos outros.

§ 12. As propriedades geraes são oito: a *extensão*, a *impenetrabilidade*, a *divisibilidade*, a *porosidade*, a *compressibilidade*, a *elasticidade*, a *mobilidade* e a *inercia*.

As duas primeiras, a *extensão* e a *impenetrabilidade*, têm o nome de propriedades *essenciaes*, porque sem ellas não é possível conceber a existencia do corpo ou da materia, e além d'isso definem precisamente o corpo. A divisibilidade, a porosidade, a compressibilidade e a elasticidade não pertencem aos átomos, mas aos corpos considerados como reunião de moleculas.

As propriedades particulares são: a *tenacidade*, a *ductilidade*, a *maleabilidade*, a *dureza*, a *cór*, a *transparencia*, a *fórma crystallina*, etc.

§ 13. *Extensão*. A extensão é a propriedade que os corpos têm de occupar uma porção limitada do espaço. Quando uma porção limitada de espaço não é occupada por corpo nenhum, chama-se *vazio* ou *vacuo*.

A grandeza do espaço limitado, que um corpo occupa



chama-se *volume* d'este corpo. O volume é terminado por superficies, estas por linhas, e as linhas por pontos. O modo reciproco da disposição d'estas dimensões constitue a fórma do corpo.

§ 14. *Impenetrabilidade*. A impenetrabilidade é a propriedade pela qual dois ou mais corpos não podem occupar o mesmo lugar ao mesmo tempo. Assim o corpo A e o corpo B não podem occupar o mesmo espaço E ao mesmo tempo. Porém n'um grande numero de phenomenos parece os corpos compenetrarem-se: assim, lançando uma porção de assucar dentro de um cópo cheio de agua, parece que o assucar e a agua occupam o mesmo lugar; quando se mistura a agua com o acido sulphurico ou com o alcool, observa-se uma contracção no volume total; o volume de algumas ligas é menor que a somma dos volumes dos metaes que entram na liga; em todos estes phenomenos as penetrações são apparentes, são a consequencia de que, existindo em todos os corpos póros, estes são occupados por outros corpos.

Nem todos os póros se accomodam ás moleculas de todos os corpos; os póros do marmore, que deixam passar certos oleos, não deixam passar a agua; os do vidro só deixam passar a luz.

§ 15. *Divisibilidade*. A divisibilidade é a propriedade que os corpos têm de se poderem dividir em partes, cada uma d'estas em outras, e assim continuamente sem mudarem de natureza. A divisão dos corpos póde ser levada a tal extremo, que as partes separadas escapem á vista e ao tacto. O atomo é o limite absoluto da divisibilidade dos corpos. Os seguintes exemplos demonstram a extrema divisão possivel de materia.

Ha metaes, como a platina, que podem ser reduzidos a fios de diametro menor que  $\frac{1}{1200}$  de millimetro; o oiro pode ser reduzido a folhas tão delgadas, que um milhão d'ellas



sobre-postas dão uma espessura inferior a meio centimetro: certos corpos colorantes e odoríferos, o carmin e o almiscar, destacam particulas de tal tenuidade, que escapam ao tacto e á vista: os animalculos microscopicos, que aos milhares se encontram n'uma gôttas de liquido, e que se nutrem e reproduzem, devem ter orgãos de tal pequenez, que as suas grandezas não seriam faceis de exprimir.

§ 16. Porosidade. A porosidade é a propriedade que os corpos têm de apresentar no interior da sua massa intervallos vazios chamados *póros*. Ha duas especies de póros: *póros sensiveis* e *póros insensiveis* ou *póros moleculares*.

Os póros sensiveis são verdadeiros orificios, ou meatos, que se observam á vista ou com o microscopio, onde as forças moleculares não têm acção. São bem apparentes na esponja, no páu, no carvão e n'um grande numero de pedras. Demonstra-se a existencia de póros sensiveis pela experiencia seguinte:

Tome-se um tubo de vidro terminado pela sua parte superior por uma capsula, cujo fundo seja de pelle de gamo; a extremidade inferior d'este tubo termine por um pé de metal proprio para a parafusar na machina pneumática, para formar o vazio, fig. 1. Encha-se a capsula de mercurio e depois faça-se o vazio; observa-se que o mercurio, atravessando a pelle de gamo, cae no fundo do tubo em fórma de pequenas gôttas, semelhante a chuva de prata. O mercurio, comprimido pela pressão atmospherica, atravessou os póros da pelle de gamo. Uma outra experiencia para mostrar a porosidade dos metaes. Tome-se uma pequena esphera ouca de paredes muito delgadas de oiro, de platina ou de qualquer outro metal, encha-se de agua, e depois de a ter fechado hermeticamente, soldando o orificio, sujeite-se a reiterados golpes de martello; a cada martellada a agua sahe para o exterior da parede delgada da esphera, assimilhando-se ao orvalho; evidentemente a passagem da agua do interior para o exterior é atravez

dos póros da parede metálica da esphera. Muitos outros phenomenos, taes como a passagem da luz atravez dos vidros, a inibição de oleos no marmore; a absorpção, etc., são outras tantas provas da porosidade sensivel.

Os póros insensíveis, pequenos intersticios, onde as forças moleculares conservam a sua acção, pertencem a todos os corpos; com quanto estes póros não dêem passagem a nenhum corpo, prova-se a sua existencia pelas variações do volume, contracções e dilatações, que todos os corpos experimentam em consequencia das variações da temperatura e das pressões que recebem. Com effeito o augmento e a diminuição do volume de um corpo não póde provir senão do afastamento ou da aproximação das suas moléculas, o que necessariamente faz suppor espaços vazios no seu interior, cujo augmento póde variar sob os agentes naturaes.

Os filtros são uma applicação da porosidade.

§ 17. Compressibilidade. A compressibilidade é a propriedade que têm os corpos de se reduzirem a menor volume sob a influencia de uma pressão exterior. Esta propriedade é uma consequencia da porosidade.

A compressibilidade não é a mesma em todos os corpos. Os gazes são os mais compressiveis; os solidos menos que os gazes; a compressibilidade nos liquidos é muito fraca.

A compressibilidade dos gazes e dos solidos tem um limite de pressão, além do qual os primeiros passam ao estado liquido, e os segundos, desagregando-se, reduzem-se muitas vezes a um pó impalpavel.

Em consequencia da compressibilidade e da porosidade os corpos mudam de volume. Ha duas especies de volume: *volume apparente* e *volume real*: o volume apparente é a porção de espaço que o corpo occupa; o *volume real* é aquelle que occuparia se não tivesse póros; ou, é o volume da materia que compõe o corpo se este fosse todo contínuo; ou é o volume apparente menos o volume dos póros; se-



gue-se pois que o volume real é invariavel: só o atomo é o representante do volume real.

§ 18. Elasticidade. A elasticidade é a propriedade que os corpos têm de retomar o seu volume ou a fôrma primitiva, quando deixa de actuar sobre elles a causa que os comprimia. Os gazes e os liquidos são corpos perfeitamente elasticos, quer dizer que elles retomam exactamente o mesmo volume e a mesma fôrma. Os solidos não são perfeitamente elasticos, principalmente quando são sujeitos a pressões muito prolongadas; comtudo a elasticidade é bem pronunciada no marfim, no vidro, na borracha, no marmore; ella é pouco sensivel no chumbo, nas argilas e nos corpos gordos. A elasticidade nos solidos é limitada; além d'uma certa compressão os solidos partem-se ou não tomam mais exactamente a sua fôrma primitiva.

A elasticidade é a consequencia do aproximamento das moleculas.

§ 19. Ha quatro especies de elasticidade: a de *pressão*, a de *tracção*, a de *flexão* e a de *torção*; só a primeira é propriedade geral, porque se dá em todos os corpos; as outras tres são propriedades particulares dos corpos solidos. Todas estas especies de elasticidade estão sujeitas a leis que se desmonstram experimentalmente.

§ 20. Mobilidade. A mobilidade é a propriedade que os corpos têm de poder passar de um a outro lugar, ou de serem postos em movimento, isto é, de occupar successivamente diferentes porções de espaço. Dá-se o nome de *movimento* ao estado de um corpo que muda de lugar. Chama-se *repouso* á permanencia de um corpo no mesmo lugar.

O movimento considerado em si póde ser *absoluto* ou *relativo*. O *movimento absoluto* é a mudança de lugar de um corpo em relação a diferentes pontos fixos no espaço.

O movimento absoluto não existe, porque não ha corpos



fixos no espaço, visto que todo o systema planetario está em movimento.

O movimento *relativo* de um corpo é a mudança de lugar d'este corpo em relação a outros corpos que estão em movimento, mas que se suppõem estar fixos; por ex.: o movimento de um trem, ou de um wagon em relação ás casas e arvores, que participam do duplo movimento de rotação e de translação da terra no espaço.

O *repouso* tambem pôde ser *absoluto* e *relativo*; o *repouso absoluto* é a privação completa do movimento; o repouso absoluto não existe, porque todos os corpos do universo estão em movimento. O *repouso relativo* é a permanencia de um corpo na mesma posição, em relação a outros corpos que se movem, por ex.: o estado de um corpo que occupa o mesmo lugar em um carro ou navio que está em movimento.

Na natureza não ha senão movimento e repouso relativos.

§ 21. *Inercia*. A inercia é a propriedade que têm os corpos de permanecer indefinidamente no estado em que existem; se um corpo estiver em movimento ou em repouso, permanecerá n'este estado enquanto uma causa exterior não lh'o mudar; segue-se pois que a inercia é a inaptidão da materia para passar por si mesma do estado de movimento ao estado de repouso, ou vice-versa, ou modificar o movimento de que está animado. A inercia é uma propriedade negativa.

Quando um corpo está em movimento, por ex.: um pendulo em oscillações, uma bola de bilhar, o seu movimento vai diminuindo gradualmente e o corpo tende para o repouso; não devemos julgar que a diminuição insensivel no seu movimento depende da sua espontaneidade, mas sim das causas da resistencia ao movimento, que, enfraquecendo-o, levam o corpo ao repouso. As causas da resistencia ao movimento são os fluidos, ar e agua, e os attritos.

§ 22. Causas da resistencia ao movimento. O *atrito* ou a *fricção* e a *resistencia do fluido*, são as causas mais frequentes da resistencia ao movimento dos corpos. O *atrito* é a resistencia ao movimento que as escabrosidades ou as asperesas das superficies dos corpos encontram quando estão em movimento.

Ha duas especies de *atrito*: o de *escorregamento* e o de *rolamento*: o primeiro é quando os corpos escorregam uns sobre outros; o segundo quando os corpos rolam uns sobre outros. O *atrito* por *escorregamento* é maior que o de *rolamento*, porque o *atrito* é tanto maior quanto maior for a pressão entre os corpos em contacto: assim o movimento de uma bola sobre um terreno aspero e escabroso dura muito menos que o da mesma bola sobre uma superficie polida, porque o *atrito* no primeiro caso é muito maior que no segundo.

A resistencia dos fluidos é uma outra causa da resistencia ao movimento dos corpos. Movendo-se os corpos quer no ar, na agua, ou em qualquer outro fluido, encontra-se da parte d'estes meios uma resistencia ao movimento, e esta é tanto maior quanto mais densos forem aquelles: assim, fazendo oscillar com o mesmo impulso tres bolas iguaes, suspensas por hastes iguaes, uma no mercurio, outra na agua e a terceira no ar, vê-se que a primeira pára mais cedo, e o movimento da ultima dura mais tempo que o das outras.

§ 23. Efeitos da inercia. Um grande numero de phenomenos explicam-se pelo effeito da inercia. Todo o mundo sabe que, fazendo parar de repente o cavallo que vai a todo o trote, o cavalleiro, que vai n'elle montado, é impellido para deante com uma certa violencia; o mesmo acontece quando se faz parar repentinamente um trem, o individuo que vai dentro d'elle é impellido para deante; o mesmo succede ao individuo que vai em pé dentro de um barco, quando este toca subitamente no caes ou encontra uma forte resistencia; n'estas circumstancias o

cavalleiro que vai a cavallo, o individuo que vai no trem, ou no barco são animados do movimento que em virtude da inercia deviam conservar, e porisso são impellidos para deante.

— Os desastrosos effeitos do choque de dois comboios n'um caminho de ferro são devidos á inercia, visto que o choque destroe o movimento dos comboios, mas não o dos individuos que lá vão dentro. Estes, animados do movimento, são violentamente impellidos para deante.



## CAPITULO I

**Principios de mechanica**

§ 24. A mechanica é a sciencia que tracta do equilibrio e movimento dos corpos; ou é a sciencia que estuda o effeito das forças. Se os corpos de que ella se occupa forem solidos, liquidos ou gazes, então ella toma o nome de mechanica dos solidos, dos liquidos ou dos gazes.

§ 25. A mechanica dos solidos divide-se em *Statica* e *Dynamica*. A *statica* é a que tracta das condições de equilibrio dos solidos. A *dynamica* é a que tracta das leis do movimento dos solidos.

A mechanica dos liquidos divide-se em *Hydrostatica*, *Hydrodynamica* e *Hydraulica*. A *hydrostatica* estuda as condições de equilibrio dos liquidos, e as pressões que elles exercem sobre as paredes dos vasos que os contêm. A *hydrodynamica* estuda as leis do movimento dos liquidos. A *hydraulica* é a que estuda a conducção dos liquidos.

A mechanica dos gazes divide-se em *Pneumostatica* e *Pneumodynamica*, segundo tracta de equilibrio e de movimento dos gazes.

§ 26. **Força.** A força é toda a causa que produz ou tende a produzir o movimento, ou a modificá-lo.

As forças, consideradas em si, podem ser *motoras* ou *activas*, e *resistentes* ou *passivas*; as *motoras* são as que produzem o movimento ou actuam no sentido d'elle; as *resistentes* são as que se oppõem ao movimento.

As forças, em quanto ao seu effeito, podem ser *instantaneas* e *contínuas*: as *instantaneas* são as que obram

sobre o movel rapidamente, ou durante um tempo muito curto, como por ex.: a explosão da polvora, a da dynamite, uma martellada; as *contínuas* são as que obram sobre o movel durante toda a duração do movimento, ou durante um tempo mais ou menos longo; como por ex.: a gravidade. As forças contínuas podem ser *constantes*, as que obram sempre com a mesma intensidade, ou *variaveis*, as que variam de intensidade.

Esta diversidade de forças é sómente relativa aos modos de acção d'estas forças.

§ 27. **Caracteres da força motora: sua unidade e representação.** Toda a força motora é caracterizada por quatro elementos essenciaes: 1.º seu *ponto de applicação*, ponto onde a força obra directamente sobre o movel; 2.º sua *direcção*, linha que descreve o seu ponto de applicação; 3.º sua *intensidade*, quer dizer, o seu valor em relação a uma outra força tomada por unidade; 4.º seu *sentido*, parte por onde se dirige o movel.

A unidade de força é o kilogramma. Todas as forças, taes como a acção muscular dos animaes, a força elastica dos gazes e vapores, os pesos, as attracções e repulsões electricas e magneticas, avaliam-se por pesos; assim, quando se diz que uma força equivale a 25 kilogrammas, é porque produz o mesmo effeito que um peso de 25 kilogrammas convenientemente applicado.

§ 28. Representa-se uma força por uma recta que passa pelo seu ponto de applicação e no sentido da sua direcção; a grandeza d'esta linha representa a intensidade da força. Assim a recta de A para B representa uma força de intensidade AB, applicada ao ponto material A que tende a movel-o na direcção de AB e no sentido de A para B, fig. 2. Logo uma recta determina completamente uma força, porque n'ella ficam representados todos os seus elementos.

§ 29. **Equilibrio.** Dá-se o nome de *equilibrio* ao estado de um corpo solicitado por duas ou mais forças

iguaes e em sentidos contrarios. Se applicarmos a um corpo duas forças iguaes e em sentido contrario, é claro que o effeito d'estas forças será nullo, e o corpo ficará em equilibrio. Não devemos confundir o equilibrio com o repouso: no equilibrio o corpo está submettido á acção de forças motoras, que se destroem; no repouso o corpo não é sollicitado por nenhuma força.

§ 30. **Systema de forças.**—**Resultantes e componentes.** Chama-se systema de forças á reunião de muitas forças, que concorrem para produzir um certo effeito. Dá-se o nome de *resultante* de duas ou mais forças, que actuam sobre um mesmo ponto material, á força unica capaz de produzir o mesmo effeito que estas forças combinadas, e de as substituir. Chamam-se *componentes*, relativamente á resultante, as que produzem o mesmo effeito que uma só, a *resultante*.

§ 31. **Composição e decomposição de forças.** *Compor* um dado systema de forças é achar a sua resultante, ou uma força unica capaz de produzir o mesmo effeito que todas ellas. *Decompor* uma força é substitui-la por outras de que ella seja a resultante.

§ 32. As forças podem obrar sobre um ponto material na mesma direcção, no mesmo ou em sentido contrario: podem ser concorrentes, isto é, actuarem sobre um movel formando um angulo; ou actuarem sobre os extremos de uma barra. Todos os problemas sobre a composição e decomposição das forças se apoiam sobre os seguintes theoremas.

§ 33. **Composição das forças na mesma direcção.** Quando muitas forças obram sobre um ponto material, tendendo a movel-o na mesma direcção, podem-se apresentar dois casos: 1.º se as forças obram no mesmo sentido, a *resultante é igual á sua somma e obra na direcção das mesmas forças*; 2.º se as forças obram em sentido contrario, a *resultante é igual á differença d'ellas e obra no sentido da maior*.



§ 34. **Composição das forças concorrentes, ou Parallelogrammo das forças.** Quando duas forças actuam sobre um ponto material, formando um angulo, diz-se que estas forças são concorrentes ou angulares. *A resultante de duas forças concorrentes ou angulares é igual, em grandeza e direcção, á diagonal do parallelogrammo construido sobre essas forças.* Assim a resultante de duas forças P e Q, que actuam sobre um ponto material M, fig. 3, e cujas intensidades são representadas por MA e MB, é a diagonal MC do parallelogrammo MACB, construido sobre MA e MB. O valor d'esta diagonal MC obtem-se pela resolução trigonometrica do triangulo MAC.

Se as duas forças angulares forem iguaes, a resultante dividirá o angulo em duas partes iguaes e a sua grandeza será umas vezes maior, igual e menor que qualquer das componentes. Se as forças forem desiguaes, a resultante ficará mais proxima da maior.

§ 35. Se duas forças podem ser substituidas por uma unica força, reciprocamente uma força pôde ser substituida por duas; para isso basta considerar a força dada como diagonal de um parallelogrammo, cujos dois lados serão as forças componentes. Como porém uma linha pôde ser diagonal de muitos parallelogrammos, é claro que de muitas maneiras se pôde substituir uma força pelo systema de duas forças, quando se não designar a sua direcção e grandeza.

§ 36. **Composição das duas forças parallelas.** Supponhamos duas forças parallelas obrando sobre os extremos de uma barra recta e inflexivel; ou estas forças obram no mesmo sentido ou em sentido contrario.

No 1.º caso:

*A resultante de duas forças parallelas, obrando no mesmo sentido sobre os extremos de uma recta ou barra inflexivel, é igual á sua somma, parallela á sua direcção; e o ponto da sua applicação divide a recta em duas partes, inversamente proporcionaes ás duas forças.*

Seja AB a recta inflexivel, fig. 4, P e Q as duas forças parallelas, applicadas aos extremos A e B da recta, obrando no mesmo sentido; a sua resultante será CR, igual a  $P+Q$ , obrará no mesmo sentido: o ponto C de applicação da resultante, dividirá a recta em duas partes inversamente proporcionaes, isto é

$$P : Q :: BC : AC$$

Se a força P for duas, tres... vezes maior que Q; a distancia AC será duas, tres... vezes menor que BC: segue-se pois que, se as forças forem iguaes, o ponto C de applicação da resultante dividirá a recta em duas partes iguaes.

No 2.º caso:

*A resultante de duas forças parallelas e desiguaes, obrando em sentido contrario nos extremos de uma recta inflexivel, é igual á differença d'estas forças, parallela a ellas e obrará no sentido da maior: o ponto de applicação da resultante estará no prolongamento da recta, de modo que as distancias d'este ponto aos pontos de applicação das forças estarão na razão inversa d'estas forças.*

Seja AB a recta inflexivel, fig. 5, P e Q as duas forças obrando nos extremos A e B da recta em sentido contrario; a resultante será CR igual a  $P-Q$ , obrará no sentido da maior: o ponto C de applicação da resultante estará sobre o prolongamento da recta AB de modo que as distancias d'este ponto aos pontos de applicação das forças estarão na razão inversa d'estas forças; isto é

$$P : Q :: BC : AC.$$

§ 37. A resultante de duas forças iguaes e parallelas, obrando em sentido inverso sobre os extremos de uma barra inflexivel, é nulla. Estas forças têm o nome de *binarios*, e imprimem á barra um movimento de rotação.

§ 38. A resultante de muitas forças paralelas obrando no mesmo sentido, applicadas a differentes pontos de um corpo, é igual á somma d'estas forças: o ponto de applicação d'esta resultante obtém-se procurando a resultante das duas primeiras, depois a resultante da resultante obtida com a terceira força, e assim successivamente.

Sejam P, Q, M e S as forças paralelas applicadas aos differentes pontos A, B, C e D de um corpo, fig. 6, obrando no mesmo sentido, de que se procura a resultante.

Determine-se primeiramente a resultante de P e Q e seja FR; depois, unindo o ponto F ao C, determine-se a resultante de FR e M, e seja EK; unindo o ponto E ao D, determine-se a resultante de EK e S, e seja GH. Esta ultima resultante será a resultante geral das forças P, Q, M e S.

§ 39. Se as forças, em vez de obrarem no mesmo sentido, obrassem em sentido contrario, o ponto de applicação da resultante geral seria o mesmo. Este ponto denomina-se *centro de forças paralelas*.

$$P : Q :: BC : AC$$



## CAPITULO II

## Do movimento

§ 40. Já vimos que o movimento é a mudança do lugar de um corpo no espaço. Em todo o movimento deve considerar-se a *trajectoria*, a *direcção* e a *velocidade*.

A *trajectoria* é a linha descripta pelo movel em um tempo dado; ou é o espaço percorrido pelo movel; a *direcção* do movimento depende da natureza da trajectoria.

A *velocidade* é o espaço percorrido pelo movel na unidade do tempo.

§ 41. Ha diversas especies de movimento. O movimento, em relação á sua direcção, póde ser *rectilíneo* e *curvilíneo*; *rectilíneo*, quando o movel descreve uma linha recta: *curvilíneo*, quando o movel descreve uma curva; o movimento curvilíneo póde ser *circular*, *elliptico*, *parabolico* segundo a curva descripta pelo movel for um circulo, uma ellipse, uma parabola.

§ 42. O movimento, em relação aos espaços percorridos, póde ser *uniforme* e *variado*: o movimento uniforme é *aquelle em que o movel percorre espaços iguaes em tempos iguaes*, ou *aquelle em que a velocidade é constante*. O movimento *variado* é *aquelle em que o movel percorre em tempos iguaes espaços desiguaes*, ou *aquelle em que a velocidade varia*.

O movimento variado póde ser *uniformemente variado* e *não uniformemente variado*. O movimento uniformemente variado é *aquelle em que os espaços percorridos em tempos iguaes augmentam ou diminuem n'uma razão constante*:

no primeiro caso o movimento é *uniformemente acelerado*, no segundo é *uniformemente retardado*.

§ 43. O movimento pôde ser de *translação*, de *rotação* e *helicoidal*.

O *movimento de translação* é aquelle em que todos os pontos do corpo descrevem no mesmo tempo espaços iguaes e parallellos. Este movimento pôde ser *rectilíneo*, ou *curvilíneo*, *uniforme* ou *variado*. N'este movimento todos os pontos do corpo têm a mesma velocidade.

O *movimento de rotação* é aquelle em que todos os pontos do corpo descrevem circulos em torno de uma recta, que se denomina *eixo de rotação*. N'este movimento os pontos do corpo, que se acham mais afastados do eixo de rotação, têm maior velocidade que os que se acham mais proximos do eixo, porque descrevem, no mesmo tempo, arcos maiores.

O *movimento helicoidal* é aquelle que é composto de um movimento de translação e de um de rotação, sendo o eixo d'este parallello á direcção da translação: é o movimento do parafuso na sua porca.

§ 44. Na physica considera-se só o movimento uniforme e o uniformemente variado. O movimento uniforme é sempre um resultado de uma força instantanea, quando o movel, sobre o qual ella actua, não fica sob a acção de nenhuma outra força e não encontra resistencia; porque obrando a força instantanea sobre o movel durante um tempo muito curto, este conserva, em virtude da sua inercia, a duração e a velocidade que a força lhe imprimir. As forças constantes e continuas tambem podem dar origem a movimentos uniformes, quando o movel na sua marcha, encontrando resistencias e estas, renovando-se continuamente, destroem o augmento de velocidade que estas forças tendem a imprimir ao movel em cada instante.

§ 45. **Velocidade no movimento uniforme.** A velocidade é o espaço percorrido por um movel na unidade do tempo. Esta unidade é arbitraria; mas geralmente

toma-se para unidade de tempo um segundo. Da definição do movimento uniforme segue-se que a velocidade é constante; se os tempos forem duas, tres, quatro... vezes maiores, os espaços percorridos durante este tempo serão duas, tres, quatro... vezes maiores, quer dizer crescem com os tempos. Segue-se, pois, que o espaço, percorrido por um movel em  $t$  segundos, será igual á velocidade repetida tantas vezes quantas são as unidades do tempo. Fica pois claro que a velocidade do movimento uniforme é a relação entre o espaço e o tempo; isto é, a velocidade é igual ao espaço dividido pelo tempo. A *unidade de velocidade* é a d'um corpo que percorre um metro por segundo. Supponhamos que o movel percorre 40 metros em 8 segundos, dividindo 40 por 8, temos para o quociente 5, que é a sua velocidade; quer dizer que o movel percorre 5 metros em um segundo.

§ 46. Fórmulas do movimento uniforme. Designando por  $e$  o espaço percorrido por um movel, animado de um movimento uniforme, por  $t$  o tempo empregado em percorrel-o, e por  $v$  a sua velocidade, teremos

$$e = vt; \quad v = \frac{e}{t}; \quad t = \frac{e}{v}.$$

§ 47. Leis do movimento uniforme. O movimento uniforme está submettido ás seguintes leis:

1.<sup>a</sup> LEI. Os espaços percorridos por um movel são proporcionaes aos tempos. A fórmula do movimento uniforme é  $e = vt$ ; para o tempo  $t'$ , será  $e' = vt'$ ; dividindo uma por outra, temos

$$e : e' :: t : t'.$$

2.<sup>a</sup> LEI. Os espaços percorridos por dois moveis com movimento uniforme são proporcionaes aos productos das velocidades pelos tempos. Sendo a fórmula do movimento uniforme,  $e = vt$ , para um outro corpo será,  $e' = v't'$ ;



dividindo uma por outra, teremos  $e : e' :: vt : v't'$ .

§ 48. **Velocidade no movimento uniformemente variado.** A idéa de velocidade, no movimento uniformemente variado, não é tão simples e clara como no movimento uniforme; n'aquelle, quer acelerado quer retardado, a velocidade também varia successivamente em cada instante: apesar d'isto, póde avaliar-se a velocidade, n'um dado instante, do mesmo modo que no movimento uniforme.

A *velocidade no movimento uniformemente variado*, em um dado instante, é o espaço que o movel uniformemente percorreria na unidade do tempo a partir d'este instante; ou é a velocidade do movimento uniforme que o movel tomaria em um dado instante, se a força constante deixasse rapidamente de actuar sobre elle.

Dá-se o nome de *aceleração*, ou velocidade acceleratriz, ao augmento da velocidade em cada unidade de tempo.

§ 49. **Leis do movimento uniformemente variado.** Todo o movimento uniformemente variado, qualquer que seja o accrescimento da velocidade, está submetido ás duas seguintes leis:

1.<sup>a</sup> LEI. *A velocidade cresce ou decresce proporcionalmente ao tempo.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Os espaços percorridos variam proporcionalmente aos quadrados dos tempos, empregados em os percorrer; quer dizer, que os espaços percorridos em 1, 2, 3, 4... segundos são representados por 1, 4, 9, 16... quadrados dos primeiros numeros.*

§ 50. **Demonstração das leis do movimento uniformemente variado.** Estas leis podem ser demonstradas pelo calculo e pela experiencia. Demonstremol-as pelo calculo.

Supponhamos que o movel parte do repouso. Seja  $\alpha$  a aceleração ou o augmento de velocidade por segundo. A velocidade  $v$  no fim do primeiro segundo será  $\alpha$ ; no fim de 2, 3, 4... segundos será  $2\alpha$ ,  $3\alpha$ ,  $4\alpha$ ..., no fim de  $t$  segundos será

$$v = \alpha t$$

para o tempo  $t'$ ; teremos

$$v' = \alpha t'$$

dividindo uma pela outra, teremos:

$$v : v' :: t : t'.$$

Esta fórmula exprime a primeira lei: as *velocidades são proporcionaes aos tempos*.

Se o movel, em vez de partir do repouso, fosse animado de uma velocidade inicial  $a$ , por ex.; então teriamos

$$v = a + \alpha t.$$

Porém um corpo, que se move com um movimento uniformemente variado, durante  $t$  segundos, com a velocidade final  $\alpha t$ , sendo nulla a velocidade inicial, percorre necessariamente o mesmo espaço que se estivesse animado de um movimento uniforme com uma velocidade média  $\frac{1}{2} \alpha t$ . Ora no movimento uniforme, sendo o espaço igual ao tempo multiplicado pela velocidade, segue-se que, multiplicando a velocidade média  $\frac{1}{2} \alpha t$  por  $t$ , teremos o espaço percorrido pelo corpo com o movimento uniforme; porém este espaço será o mesmo que o corpo percorreria

com o movimento uniformemente variado, sendo nulla a sua velocidade inicial, e sendo  $\alpha t$  a final; portanto teremos

$$e = \frac{1}{2} \alpha t \times t \text{ ou } e = \frac{1}{2} \alpha t^2$$

para o tempo  $t'$ , será

$$e' = \frac{1}{2} \alpha t'^2$$

dividindo estas duas igualdades uma pela outra: teremos

$$e : e' :: t^2 : t'^2$$

fórmula que exprime a segunda lei: os *espaços são proporcionaes aos quadrados dos tempos.*

Se o movel, em vez de partir do repouso, fosse animado de uma velocidade inicial  $a$ , a fórmula viria a ser

$$e = at + \frac{1}{2} \alpha t^2.$$

Se eliminarmos  $t$  entre as equações  $v = \alpha t$  e  $e = \frac{\alpha t^2}{2}$ , teremos

$$v = \sqrt{2\alpha e}$$

para o tempo  $t'$ , virá

$$v' = \sqrt{2\alpha e'}$$

dividindo estas igualdades: teremos

$$v : v' :: \sqrt{e} : \sqrt{e'}$$

logo: as *velocidades são proporcionaes ás raizes quadradas dos espaços percorridos.*



Proporcionalidade entre as forças constantes e as acelerações. Massa. Quantidade de movimento. Medida das forças constantes.

§ 51. Se uma força  $F$  imprimir a um corpo uma aceleração  $\alpha$ , na unidade de tempo; as forças  $2F$ ,  $3F$ ... imprimirão ao mesmo corpo, no mesmo tempo, as acelerações  $2\alpha$ ,  $3\alpha$ ... Se uma segunda força  $F'$  imprimir ao mesmo corpo uma aceleração  $\alpha'$ , na unidade de tempo; as forças  $2F'$ ,  $3F'$ ... imprimirão as acelerações  $2\alpha'$ ,  $3\alpha'$ ...; portanto as acelerações estarão na mesma relação que as forças; isto é

$$F : F' :: \alpha : \alpha'.$$

Logo: as forças são proporcionaes ás acelerações.

§ 52. Massa. Dá-se geralmente o nome de *massa* de um corpo á quantidade de materia que o volume d'este corpo contém; mas este modo de definir é tão vago e confuso que não dá a menor idéa de massa. Nós definiremos do modo seguinte, *massa de um corpo é a relação entre a força constante e a aceleração que esta força imprime ao corpo.*

Sendo as forças proporcionaes ás acelerações, temos

$$\frac{F}{\alpha} = \frac{F'}{\alpha'} = \frac{F''}{\alpha''}$$

representando por  $M$  a relação constante entre a força e a sua aceleração; temos

$$\frac{F}{\alpha} = M.$$

Logo  $M$  é a massa do corpo.

Logo: dois corpos terão massas iguaes, quando, submettidos á acção de forças iguaes, tiverem no mesmo tempo accelerações iguaes.

Se representarmos por  $P$  o peso de um corpo, como força que lhe imprima a acceleração  $g$ ; a sua massa será,

$$\frac{P}{g} = M.$$

N'este caso particular a massa de um corpo será a relação entre o seu peso e a acceleração que elle toma sob a acção da gravidade, visto que o peso é a resultante das acções que a gravidade exerce sobre todas as moleculas de um corpo.

Fazendo  $M = 1$ ; teremos  $P = g$ . Segue-se que a unidade de massa é a massa de um corpo, cujo peso n'um dado lugar é expresso em kilogrammas pelo mesmo numero que exprime em metros a acceleração da quéda livre n'este lugar.

A *unidade de massa* convencionada é a massa de um kilogramma; e a *unidade de acceleração* é o metro.

§ 53. Quantidade de movimento. Força viva. Chama-se *quantidade de movimento* de um corpo ao producto da sua massa pela velocidade de que está animado. Representando por  $q$  a quantidade de movimento, por  $m$  a massa e por  $v$  a velocidade do corpo, a quantidade do movimento será:  $q = mv$ . Dá-se o nome de *força viva* ao producto da massa de um corpo em movimento, pelo quadrado da sua velocidade, isto é, *força viva*  $= mv^2$ .

§ 54. Trabalho mechanico. Kilogrammetro. Chama-se *trabalho mechanico* de uma força, n'um tempo dado, ao producto d'esta força pelo espaço percorrido pelo seu ponto de applicação, no mesmo tempo e no sentido da sua direcção. Representando por  $F$  a força expressa em kilogrammas, e por  $E$  o espaço percorrido pelo seu

ponto de applicação, expresso em metros, o trabalho mechanico,  $T$ , será

$$T = FE.$$

Chama-se *kilogrametro* a unidade do trabalho mechanico. A *unidade do trabalho* mechanico é o trabalho necessario para elevar um kilogramma á altura de um metro.

### Da força centrífuga

§ 55. Chama-se *força centrífuga* aquella que se desenvolve em todo o movimento curvilíneo e que tende a afastar o movel do centro de rotação.

Todo o movimento curvilíneo, que se refere sempre a um certo ponto fixo, é o resultado da combinação de duas forças, uma de *impulsão* ou instantanea ou de projecção, e a outra acceleratriz, que solicita o movel para o ponto fixo, força *centripeta*. Da combinação d'estas duas forças, de projecção e centripeta, gera-se uma outra, a *centrifuga*, que faz constantemente afastar o movel da curva que descreve.

§ 56. Supponhamos um corpo A, preso por uma das extremidades a um fio inextensível e tendo a outra fixa em um ponto O, descrevendo em redor d'este ponto uma circumferencia com um rapido movimento; fig. 7. Se o corpo A não fosse mantido pela resistencia do fio, elle seguiria, sob a acção da força de impulsão, e em virtude da sua inercia, a direcção da tangente AT. Como porém elle não póde tomar esta direcção, visto estar retido pelo fio a uma distancia constante do centro, é preciso que esta força de impulsão, que nós representaremos por AC, se decomponha em duas; uma segundo a direcção do elemento AB da circumferencia, que o movel deve seguir e que o faz caminhar no sentido da curva; e a outra segundo o prolongamento do fio AP. Esta força AP é a força



centrifuga, que tende constantemente a afastar o movel do centro O da circumferencia. Evidentemente esta força é equilibrada pela resistencia do fio. Se em um momento dado se rompesse o fio, a força centrifuga desapareceria, e o movel tomaria um movimento rectilíneo segundo a direcção da tangente á curva no ponto em que se achasse.

§ 57. A força centrifuga é tanto maior, quanto maior é o peso, a velocidade do corpo e a curvatura da trajetoria. Designando por  $m$  a massa do corpo, por  $v$  a velocidade, e por  $R$  o raio do circulo osculador, a força centrifuga  $F$  será representada pela fórmula seguinte:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

quer dizer: que a força centrifuga é igual ao producto da massa pelo quadrado de velocidade, dividido pelo raio.

§ 58. Leis da força centrifuga. As leis da força centrifuga no movimento circular são:

1.<sup>a</sup> LEI. *A força centrifuga é proporcional ao quadrado da velocidade.* Se a velocidade do movel for 2, 3... vezes maior, a força centrifuga será 4, 9... vezes mais intensa.

Com effeito, sendo a expressão analytica da força centrifuga,  $F = \frac{mv^2}{R}$ ; para um outro movel será,  $F' = \frac{m'v'^2}{R'}$ .

Suppondo que os moveis têm a mesma massa e raios de trajetoria iguaes, isto é,  $m = m'$  e  $R = R'$ , dividindo as duas igualdades, uma por outra, temos

$$T : T' :: v^2 : v'^2.$$

2.<sup>a</sup> LEI. *A força centrifuga é proporcional á massa, quando o movel tiver a mesma velocidade e descrever circulos do mesmo raio.*

Fazendo nas fórmulas  $v = v'$  e  $R = R'$ , vem

$$T : T' :: m : m'.$$

3.<sup>a</sup> LEI. A força centrífuga está na razão inversa do circulo descripto, quando a massa e a velocidade forem iguaes. Suppondo  $m = m'$  e  $v = v'$ , as fórmulas dão

$$T : T' :: R' : R.$$

§ 59. Exemplos da força centrífuga. Quando se imprime um movimento de rotação a um vaso cheio de agua, preso por mais de uma corda cujos extremos se seguram na mão; vê-se que a agua não cae para fóra, quando o vaso se acha voltado com a bocca para baixo, porque a força centrífuga que se desenvolve no movimento de rotação, actuando do centro para fóra, faz com que a agua exerça a pressão sobre o fundo do vaso de baixo para cima, e equilibra o peso da agua.

Dando um movimento de rotação a uma barra que fica collocada sobre um eixo vertical, fig. 8, sobre a qual estão collocados dois tubos com certa inclinação, communicando no centro com um reservatorio de agua, e nos extremos com dois balões, observa-se que durante o movimento de rotação o liquido é levado para os balões pela força centrífuga.

Se largarmos um pequeno carro no extremo mais elevado da via ferrea, chamada *caminho de ferro de força centrífuga*, que descreve uma espiral, fig. 9; observa-se que o carro desce com grande velocidade, sobe com a velocidade adquirida a espiral descripta pela via, e não cae, apesar de ficar voltado na parte superior da espiral, porque a força centrífuga o retém sobre esta.

Muitas machinas e aparelhos fundam-se sobre a força centrífuga; como por ex.: as ventoinhas, as bombas rotativas, etc.



## CAPÍTULO III

## Das machinas

§ 60. Chama-se *machina* todo o corpo ou reunião de corpos capaz de transmittir e modificar a acção das forças.

Nas machinas ha a distinguir duas especies de forças: umas, as *forças motoras* ou *potencias*, que produzem o movimento, e que portanto actuam no sentido d'elle, ou fazem com a sua direcção um angulo agudo; outras, as *resistencias*, que se oppõem ao movimento, e que devem ser vencidas pelas potencias, fazem com a direcção do movimento um angulo obtuso.

§ 61. As machinas dividem-se em *simples* e *compostas*. As *simples* são aquellas em que a potencia e a resistencia são applicadas ao mesmo corpo, ou a dois corpos differentes, que actuam directamente um sobre outro. As *compostas* são as que resultam da reunião de duas ou mais simples.

§ 62. O fim das machinas é produzir equilibrio ou movimento: as suas vantagens, nas que produzem o movimento, são poupar a força e ganhar tempo na producção de um effeito; porém nunca se dão simultaneamente estas duas vantagens, porque não se poupa a força senão á custa do tempo, nem se ganha tempo senão á custa da força.

§ 63. Os physicos não estão de accordo sobre o numero de machinas simples. Uns querem que sejam simples só as tres, a *alavanca*, o *plano inclinado* e a *roldana*;



outros fazem entrar no numero das simples as mencionadas e mais a *cunha*, o *parafuso* e o *sarilho*. O parafuso é uma machina composta do plano inclinado e da alavanca.

Para nós o estudo das machinas simples se reduzirá ao das tres; alavanca, plano inclinado e roldana.

### Alavanca

§ 64. **Alavanca.** A alavanca é uma barra inflexivel, recta ou curva, movel em roda de um ponto fixo, chamado *ponto de apoio* ou *fulcro*, sobre a qual obram duas forças, a potencia e a resistencia.

A alavanca é uma machina simples, a mais util aos usos da vida, e é o elemento essencial das machinas compostas.

§ 65. Ha tres generos de alavancas: a *interfixa*, a *interresistente* e a *interpotente*, segundo a posição relativa do ponto de apoio e dos pontos de applicação da potencia e da resistencia.

A *interfixa*, ou do primeiro genero, é aquella em que o ponto de apoio está entre a potencia e a resistencia: fig. 10, em que P representa a potencia, R a resistencia e C o ponto de apoio. As thesouras, as tenazes da forja, as torquezas, as balanças, etc., são exemplos de alavancas do primeiro genero, em que o ponto de apoio está no eixo, entre a potencia e a resistencia.

A *interresistente*, ou do segundo genero, é a que tem a resistencia entre a potencia e o ponto de apoio, fig. 11. Os remos, os alviões dos cavouqueiros, os carros e carrinhos, os quebra-nozes, etc., são os exemplos de alavancas do segundo genero.

A *interpotente*, ou do terceiro genero, é a que tem a potencia entre a resistencia e o ponto de apoio, fig. 12. Os exemplos d'esta especie de alavanca, temol-os nas pinças, nos atiçadores de candieiros, nos pedaes de amoladores, etc.

§ 66. Chamam-se *braços de alavanca* os comprimentos das perpendiculares tiradas do ponto de apoio sobre a direcção das forças, ou sobre o seu prolongamento. Assim na fig. 10 CP, e CR são os braços de alavanca; na fig. 11 CP e CR são os braços; e na fig. 13, que representa uma alavanca curva do primeiro genero, CA' e CB' são os braços.

§ 67. Lei do equilibrio na alavanca. *Duas forças que actuam sobre uma alavanca estarão em equilibrio quando estiverem na razão inversa dos braços da alavanca, a cujas extremidades estão applicadas.* Seja PR, fig. 14, a alavanca do primeiro genero de braços desiguaes e C o ponto de apoio. Sejam F e F' as duas forças applicadas aos extremos P e R, dos braços da alavanca PCR; estas forças estarão em equilibrio quando estiverem na razão inversa d'estes braços; isto é

$$F : F' :: CR : CP$$

se a força F for duas, tres, quatro . . . vezes maior que a força F', o braço CP deverá ser duas, tres, quatro, etc. vezes menor que o braço CR, para que a força F faça equilibrio á força F'.

Segue-se d'este principio que, se os dois braços da alavanca forem iguaes, as forças F e F' deverão ser iguaes.

### Plano inclinado

§ 68. *Plano inclinado.* Chama-se *plano inclinado* todo o plano que faz com o horizonte um angulo agudo; fig. 15. Assim CA é um plano inclinado, que faz com o horizonte AB um angulo agudo, CAB. A perpendicular CB, abaixada de C sobre a horizontal BA, é a altura do plano inclinado, e AC o seu comprimento.

O plano inclinado serve para destruir uma parte da resistencia, deixando a outra para ser vencida pela potencia,

§ 69. Lei do equilibrio no plano inclinado. A lei do equilibrio no plano inclinado varia segundo a direcção em que obra a potencia; se esta obrar parallelamente ao comprimento do plano, então é necessario, para haver equilibrio entre a potencia e a resistencia, que a potencia esteja para a resistencia, assim como a altura do plano para o seu comprimento; isto é

$$P : R :: CB : CA$$

Na verdade. Supponhamos que um movel **M**, de fórma espherica, se acha collocado sobre um corte vertical do plano inclinado. Este movel solicitado pelo seu peso, que se applica verticalmente ao seu centro de gravidade **O**, não póde seguir a direcção da vertical, porque a resistencia do plano se oppõe; mas este peso **P**, que se representa por uma força **PO**, póde ser decomposto em duas, uma, **OR**, perpendicular ao plano, e a outra, **OF**, parallelamente ao mesmo plano. A força **OR** ficará destruída pela resistencia do plano, enquanto que a força **OF**, parallelamente ao plano, será a unica effectiva, em virtude da qual o movel **M** caminhará o comprimento do plano. Construindo o parallelogrammo das forças **ORPF**, teremos dois triangulos rectangulos, **OPF** e **CAB**, semelhantes, visto ser o angulo **OPF** igual a **CAB**, e por conseguinte, teremos

$$OF : OP :: CB : CA.$$

Chamando pois **F**, a força effectiva **OF**, **P** o peso real **OP**, **A** a altura **CB**, e **C** o comprimento **CA**, teremos

$$F : P :: A : C.$$

D'onde se conclue que, se a altura do plano for duas, tres... vezes menor que o seu comprimento a força effectiva será duas, tres... vezes menor que o peso real do movel.



Se a potencia actuar parallelamente ao comprimento da base, então teremos; a *força effectiva está para o peso real, assim como a altura do plano para a sua base.*

### Roldana

§ 70. Roldana. A roldana é uma roda de madeira ou de metal movel em torno do seu eixo, com uma excavação na sua circumferencia, denominada *gargalo* ou *gola*, na qual passa uma corda.

Ha duas especies de roldanas: *fixas* e *moveis*. A roldana fixa é a que tem só um movimento de rotação em torno do seu eixo, que está fixo na chapa; a corda recebe por um lado a potencia e por outro a resistencia, como se observa nas roldanas dos poços. A roldana movel é a que tem dois movimentos, um de rotação em volta do eixo e outro de translação no espaço. N'esta especie de roldanas a corda recebe por um lado a potencia e o outro lado está fixo: a resistencia está applicada ao eixo.

Evidentemente a roldana movel é mais favoravel á potencia, porque a resistencia do ponto fixo obra como uma força sobre a resistencia applicada ao eixo, e por consequente dispensa que a potencia seja tão grande.

§ 71. Lei do equilibrio na roldana. Para haver equilibrio na roldana fixa é necessario que a *potencia seja igual á resistencia*; e na roldana movel é preciso, quando os ramos da corda são parallelos, que a *potencia seja igual á metade da resistencia*. No emprego da roldana fixa não se poupa força, nem se ganha tempo, só a potencia muda convenientemente a sua direcção.

§ 72. Chama-se *cadernal* a reunião de muitas roldanas moveis montadas na mesma chapa.

## CAPÍTULO IV

**Gravidade**

§ 73. **Attracção universal: sua lei.** Chama-se *attracção universal* uma força geral, em virtude da qual a materia tende para a materia. Ella exprime um facto e não uma causa. Não podemos deixar de admittir a hypothese de uma força universal inherente aos corpos para se attrahirem, comquanto seja contraria á lei da inercia da materia, visto que todas as manifestações dos phenomenos se passam como se ella existisse, e a ordem harmonica do universo fosse regulada por essa força. A reciproca attracção dos atomos para se constituirem em moleculas, a d'estas para formar corpos accessiveis aos sentidos, a tendencia d'estes para o centro da terra, e finalmente a das enormes massas, chamadas planetas e cometas, que viajam periodicamente nos espaços celestes, para o sol, são factos sobejamente comprovativos para garantia da attracção universal, a qual, prendendo todas as partes do universo, as subordina a leis constantes e invariaveis.

*Lei da attracção universal.* O facto da tendencia da materia para a materia foi enunciado por Newton pela seguinte lei: *A materia attrahe a materia na razão directa das massas e na razão inversa do quadrado das distancias:* segue-se d'esta lei que uma esphera, composta de camadas concentricas homogeneas, attrahe uma molecula collocada fóra da esphera, como se toda a sua massa estivesse concentrada no seu centro.

§ 74. A attracção universal toma differentes nomes segundo os corpos em que se dá; assim diz-se:

*Gravitação* é a attracção entre os corpos celestes, que mantêm os planetas e os seus satellites, como tambem os cometas, nas suas orbitas.

*Gravidade* é a attracção entre a terra e os corpos que se acham á superficie d'ella; ou, é a força de attracção que faz tender todos os corpos para o centro da terra.

*Attracção molecular* é a attracção entre os atomos ou moleculas para formar corpos.

§ 75. A gravidade é um caso particular da attracção universal. Todos os corpos, em quaesquer condições que se encontrem, estão submettidos á acção da gravidade; se alguns, taes como as nuvens, os balões e o fumo, se elevam na atmosphera parecendo subtrahir-se á sua acção, isso não é mais do que uma excepção apparente, é um effeito de gravidade, que corrobora a lei geral.

§ 76. *Natureza da gravidade.* A gravidade é uma força constante acceleratriz, porque a velocidade do corpo que cae augmenta durante toda a duração da sua queda, e esta acceleração é devida á continuidade da acção da gravidade sobre todos os corpos que ella solicita, e não á sua energia, porque o espaço, percorrido por um corpo que cae de diversas alturas no primeiro segundo, é sensivelmente o mesmo.

Sendo a gravidade uma força, é necessario conhecer qual é o seu ponto de applicação, a sua direcção e a sua intensidade.

§ 77. *Ponto de applicação da gravidade.* O ponto de applicação da gravidade é nos atomos; porque um corpo, reduzido a pó impalpavel, tem exactamente o mesmo peso que se estivesse em massa compacta.

§ 78. *Direcção da gravidade.* A direcção da gravidade é a recta que seguem os corpos quando caem, abandonados a si; ella é *vertical*, quer dizer, perpendicular á superficie das aguas tranquillas; por consequente ella



vem a ser, para cada logar da terra, o prolongamento do raio terrestre que passa por esse lugar.

O *fio de prumo* é o que indica a direcção da gravidade. Chama-se *fio de prumo* um fio ao qual está suspenso uma bola ou um cylindro de chumbo: este, tendendo a cair pelo seu peso, dá ao fio a direcção da gravidade; esta direcção, perpendicular á superficie da terra, chama-se *vertical*. Um plano perpendicular á vertical diz-se *horizontal*.

§ 79. Sendo a terra sensivelmente espherica, todas as verticaes á sua superficie ou ás aguas tranquilladas devem passar pelo seu centro; as verticaes de dois pontos muito afastados formam um angulo maior que o das de dois pontos muito proximos: porém, se as distancias forem infinitamente pequenas, como as que separam as moleculas de um corpo, este angulo será insensivel ou nullo, e as verticaes podem ser consideradas como rigorosamente parallelas, visto a enorme distancia do seu ponto de encontro em relação á que as separa. A gravidade, obrando sobre todas as moleculas de um corpo, representa para cada corpo um systema de forças parallelas.

Devemos advertir que o fio de prumo na vizinhança das montanhas altas soffre um certo desvio, como observaram Bouguer nos flancos do Chimborazo, Maskelini nas montanhas da Escocia e Carlini no Monte-Cenis: o fio de prumo, apesar do desvio da vertical, não deixa de ser perpendicular á superficie das aguas tranquilladas que se avizinham das montanhas, porque a mesma causa que desvia o fio modifica igualmente a horizontalidade das aguas.

§ 80. Intensidade da gravidade. A intensidade da gravidade não é a mesma em todos os pontos da terra; augmenta desde o equador até aos polos. As causas d'esta variação são duas: a primeira é o achatamento dos polos terrestres, a segunda é a força centrifuga gerada do movimento de rotação da terra.

Como a terra é um espheróide, elevado no equador e achatado nos polos, todos os corpos situados no equador ficam mais distantes do centro de attracção que os que ficam nos polos; e como a força de attracção varia na razão inversa do quadrado das distancias, segue-se que todos os corpos que ficam no equador são menos fortemente attrahidos, que os que estão mais proximos dos polos.

O movimento de rotação da terra gera uma força centrífuga, cuja intensidade é maxima no equador e minima nos polos. Esta força centrífuga destroe a acção da gravidade; no equador fica-lhe directamente opposta, e inclina-se cada vez mais em relação á vertical, á medida que se caminha para os polos; por conseguinte a perda da intensidade de gravidade no equador será maior que nos polos.

O calculo mostra que a força centrífuga no equador é

$\frac{1}{298} = \frac{1}{17^2}$  da gravidade; como a força centrífuga cresce

proporcionalmente ao quadrado da velocidade, segue-se que, se a terra girasse 17 vezes mais depressa, a força centrífuga seria  $17^2 = 289$  vezes mais intensa, isto é, seria igual á gravidade, e por conseguinte os corpos no equador não teriam peso. Se a velocidade de rotação fosse ainda maior, os corpos no equador seriam projectados no espaço por effeito da força centrífuga.

### Peso e densidade

§ 81. **Peso.** Chama-se *peso* de um corpo a resultante das acções que a gravidade exerce sobre todas as suas moléculas; ou é a pressão que o corpo exerce no vacuo sobre um plano horizontal que o sustêm. O peso é effeito da gravidade, e esta é uma força constante acce-

leratriz que attrahe todos os corpos para o centro da terra.

O peso de um corpo é proporcional á sua massa. Representando por  $m$  a massa de um corpo, por  $g$  a intensidade da gravidade e por  $P$  o peso do corpo; teremos

$$P = mg.$$

§ 82. **Especies de peso.** Ha tres especies de peso: *peso absoluto*, *peso relativo* e *peso especifico*.

*Peso absoluto* é o que acima definimos; é representado pelo esforço que é preciso empregar para impedir a quêda d'um corpo no vazio.

*Peso relativo* de um corpo é a relação entre o seu peso absoluto e o de um outro corpo determinado, tomado por unidade. A unidade de peso adoptada é o *gramma*, peso de um centimetro cubico da agua distillada no seu maximo da densidade, que é 4 graus centigrados.

*Peso especifico* de um corpo é a relação entre o peso relativo d'este corpo sob um certo volume, e o peso de igual volume de agua distillada no seu maximo da densidade. Obtem-se o peso especifico de um corpo, dividindo o seu peso pelo peso de igual volume de agua a 4°. Supponhamos que o peso de um corpo A, sob um certo volume, parallelipipedo por ex., é 60 grammas, e o peso de igual volume de agua, tambem parallelipipedo, é 12 grammas: dividindo 60 por 12, temos 5 para quociente; logo 5 é o peso especifico, que não representa grammas, visto ser uma relação, mas mostra que A é cinco vezes mais pesado que um igual volume de agua.

No systema metrico, correspondendo a unidade de peso á unidade de volume, póde dizer-se que o peso especifico de um corpo é o *peso da unidade de volume d'este corpo*. Assim o peso de um centimetro cubico de chumbo é 11 grammas, e o de um centimetro cubico de agua distillada a 4° é uma gramma; logo o peso especifico do chumbo



será  $\frac{11}{1} = 11$ , quer dizer que um volume de chumbo pesa 11 vezes mais que um igual volume de agua.

A definição do peso especifico que demos pertence aos corpos solidos e liquidos. Para os gazes é o ar atmosphérico que serve de termo de comparação na medida dos pesos especificos.

O peso especifico de um corpo não é o mesmo ás diferentes temperaturas, porque todos os corpos mudam de volume pela mudança de temperatura, e esta mudança de volume não corresponde a iguaes mudanças do volume de agua nas mesmas circumstancias, e por isso é necessario indicar a temperatura para a determinação dos pesos especificos. A temperatura do corpo, cujo peso especifico se procura, deve ser a do gêlo fundente, e a da agua 4º centigrados: a agua deve ser distillada, porque a ordinaria contém materias salinas que lhe augmentam mais ou menos o peso de um mesmo volume.

§ 83. Densidade. Dá-se o nome de *densidade* de um corpo á quantidade de materia que elle contém sob a unidade de volume: ou a relação entre a sua massa e o seu volume. Como as massas são proporcionaes aos pesos em um mesmo lugar, póde dizer-se que a densidade de um corpo é o peso da unidade do volume d'este corpo. Em physica as palavras densidade e peso especifico são synonymas.

§ 84. Relação entre os pesos, massas, volumes e densidades dos corpos. Representando por P, v, m, d e g o peso, o volume, a massa, a densidade e a gravidade de um corpo, o valor analytic do peso d'este corpo será

$$P = mg$$

para outro corpo será

$$P' = m'g$$

dividindo estas igualdades uma pela outra, teremos

$$P : P' : m : m'$$

isto é, *os pesos são proporcionaes ás massas.*

Sendo a massa igual ao producto do seu volume pela sua densidade, ou  $m = v \times d$ ; teremos

$$P : P' : v \times d : v' \times d'$$

Se as densidades forem iguaes,  $d = d'$ , temos

$$P : P' :: v : v'$$

isto é, quando os corpos têm a mesma densidade, *os pesos são proporcionaes aos volumes.*

Se os volumes forem iguaes,  $v = v'$ , obteremos

$$P : P' :: d : d'$$

quer dizer; *os pesos de corpos do mesmo volume são proporcionaes ás suas densidades.*

### Centro de gravidade. Equilibrio dos corpos

§ 85. Centro de gravidade. O centro de gravidade de um corpo é o ponto fixo por onde passa constantemente a resultante de todas as acções que a gravidade exerce sobre as moléculas d'esse corpo em todas as posições que elle tomar. Com effeito um corpo sob a acção da gravidade representa um systema de forças parallelas e verticaes, visto que ella obra sobre as moléculas de cada corpo; se o corpo muda de posição, estas forças conservam o mutuo parallelismo, os mesmos pontos de applicação, a mesma direcção e as mesmas intensidades,

e a sua resultante passará sempre pelo mesmo ponto. Logo o centro de gravidade nos corpos solidos é invariavel.

§ 86. Determinação do centro de gravidade. Ainda que a determinação do centro de gravidade pertença á *Mechanica*, comtudo em alguns casos pôde determinar-se immediatamente.

Se os corpos forem homogeneos, com fórmulas regulares e geometricas, o centro de gravidade coincidirá com o centro da figura. Assim o centro de gravidade

de uma recta é o meio d'essa recta;

de um circulo é o centro d'esse circulo;

de um polygono regular é o centro d'esse polygono;

de um triangulo é nos  $\frac{2}{3}$  da sua altura;

de um parallelogrammo é na intersecção das suas diagonaes;

de uma esphera é no centro d'esta;

de um ellypsoide é na intersecção dos seus dois eixos;

de um cylindro é no meio do seu eixo;

de um prysma é no meio da recta que une os centros das suas bases.

de um anel é no centro d'este anel.

Vê-se que o centro de gravidade de um corpo pôde ficar fóra d'este corpo.

Para determinar o centro de gravidade de um corpo solido de fórmula irregular, temos o seguinte processo practico. Suspenda-se o corpo por um fio preso a qualquer ponto da sua superficie, e estabelecido o equilibrio, marque-se no corpo a direcção do fio; practique-se o mesmo suspendendo o corpo por um outro ponto da sua superficie, e n'esta posição marque-se a direcção do fio; a intersecção d'estas duas direcções será o centro de gravidade do corpo, porque, devendo o centro de gravidade existir em cada uma das verticaes, necessariamente deve existir na sua intersecção.



§ 87. **Equilibrio dos corpos solidos.** Um corpo ficará em equilibrio quando for solicitado por duas forças iguaes e contrarias. Para obtermos um corpo em equilibrio basta sustentarmos de qualquer modo o seu centro de gravidade, porque a acção da gravidade, sobre um corpo, podendo ser representada por uma resultante unica, vertical, igual ao seu peso, e applicada ao seu centro de gravidade; para o corpo ficar em equilibrio basta oppôr-lhe uma força igual á resultante, na mesma direcção e applicada no mesmo ponto. De tres modos podemos obter este resultado: 1.º sustentando o centro de gravidade por um fio, fixo a um ponto; 2.º fazendo passar um eixo horizontal pelo centro de gravidade; 3.º collocando o corpo n'um plano fixo.

1.º Para que um corpo, suspenso por um fio, fique em equilibrio, é preciso que a direcção do fio seja vertical e que o centro de gravidade do corpo exista n'esta direcção; porque o peso d'este corpo fica destruido pela tensão do fio, apoiado pelo ponto fixo.

2.º Para que um corpo, sustentado por um eixo horizontal á roda do qual elle se move livremente, fique em equilibrio, é preciso que a vertical, que passa pelo seu centro de gravidade, passe pelo eixo. O peso do corpo será destruido pela resistencia do eixo.

3.º Para que um corpo, sustentado por um plano fixo, fique em equilibrio, é preciso que a vertical, abaixada do seu centro de gravidade, caia dentro da *base da sua sustentação*. Chama-se *base de sustentação* a area do polygono formado pelas linhas rectas tiradas entre os pontos extremos de contacto.

§ 88. **Differentes especies de equilibrio.** Ha tres especies de equilibrio: equilibrio *indifferente*, *estavel* e *instavel*. O equilibrio *indifferente* é aquelle em que o corpo fica em equilibrio em qualquer posição que se achar; por ex.: uma esphera. O equilibrio *estavel* é aquelle em que o corpo, sendo desviado da sua posição de equi-

librio, volta de novo a ella depois de uma serie de oscillações, cessando a causa do desvio; por ex.: a balança ordinaria. O equilibrio *instavel* é aquelle em que o corpo, sendo desviado da sua posição de equilibrio, jámais volta a ella; por ex.: o equilibrio de um ellipsoide pelo seu eixo maior.

§ 89. Condições de diferentes especies de equilibrio. As tres especies de equilibrio, indifferente, estavel e instavel, têm logar quando o centro de gravidade de um corpo é sustentado ou por um eixo horizontal, ou por um plano fixo.

Quando o corpo é sustentado por um eixo horizontal, haverá equilibrio *indifferente*, quando o eixo de sustentação passar pelo centro de gravidade do corpo; por ex.: uma roda apoiando-se sobre um eixo que passa pelo centro de gravidade; haverá equilibrio *estavel* quando o eixo de sustentação estiver a cima do centro de gravidade; como por ex.: na balança ordinaria; haverá equilibrio *instavel* quando o eixo de sustentação estiver abaixo do centro de gravidade; como por ex.: o equilibrio que se obtem de um ellipsoide sustentado por um eixo horizontal pelo seu eixo maior.

Quando um corpo é sustentado por um plano fixo, este corpo ficará em equilibrio *indifferente* quando a distancia do centro de gravidade á base da sua sustentação for a mesma, qualquer posição que se dê ao corpo; isto é, quando o seu centro de gravidade nem se eleva nem se abaixa, ainda que o corpo mude de posição; por ex.: uma esphera. Haverá equilibrio *estavel* quando a distancia do centro de gravidade á base de sustentação for menor que em qualquer outra posição, isto é, quando o seu centro de gravidade esteja o mais baixo que é possivel relativamente a todas as outras posições; por ex.: o equilibrio de uma pyramide assente pela sua base. Haverá equilibrio *instavel* quando a distancia do centro de gravidade á base de sustentação for maior que em outra

posição; ou quando o centro de gravidade está mais alto do que estaria se o corpo tomasse outra posição; por ex.: o equilibrio de uma pyramide assente pelo seu vertice. O equilibrio d'um corpo sobre um plano fixo será tanto mais estavel, quanto mais proximo estiver o seu centro de gravidade da sua base de sustentação, e mais larga esta for.

§ 90. Estes principios têm a sua applicação no equilibrio do corpo humano, para explicar as diversas attitudes em diversas circumstancias e as acções de conduzir diversos pesos: assim um homem está mais firme sobre os dois pés do que sobre um, e tanto mais quanto mais afastados os tiver; um homem carregado com um peso inclina o corpo para o lado opposto ao da carga; um homem que sobe ou desce uma encosta ou uma calçada ingreme tende a inclinar-se para deante ou para traz; em todas estas attitudes a vertical do centro de gravidade vai cair dentro da base da sustentação.

Estes mesmos principios tambem têm applicação na architectura, para distribuir com ordem os materiaes; nas construcções de edificios, e na de transportes de cargas, para lhes assegurar maior estabilidade sobre o terreno.



## CAPITULO V

**Leis da quèda dos corpos**

§ 91. Todos os corpos, livres de toda a influencia e até da resistencia dos meios, abandonados só á acção da gravidade, *caem* na superficie da terra com um movimento rectilineo. A quèda dos corpos no vacuo fica submettida ás tres leis seguintes.

**1.<sup>a</sup> LEI.** *Todos os corpos caem no vazio com a mesma velocidade.*

Demonstra-se esta lei pelas duas seguintes experiencias. Tome-se um tubo de tres ou quatro metros de comprimento, fechado n'uma das extremidades e tendo a outra uma torneira e uma rosca para parafuzar o tubo na machina pneumatica. Introduza-se dentro do tubo corpos de diferentes densidades e dimensões, taes como bolas de chumbo, de páu, de cortiça, de papel, de algodão, etc.; fazendo-se o vazio por meio da machina pneumatica e voltando rapidamente o tubo, vê-se que todos os corpos caem ao mesmo tempo, e por conseguinte com igual velocidade. Deixando entrar uma pequena quantidade de ar no tubo, observa-se que os corpos mais densos caem mais depressa do que os menos densos.

Tome-se um disco de cobre, colloque-se sobre elle um outro de papel de um diametro um pouco menor sem o collar, e deixem-se cair estes discos de uma certa altura; vê-se que o disco de cobre e o de papel, que fica subtrahido á resistencia do ar, caem ao mesmo tempo;

se fizessemos cair separadamente estes dois discos, veriamos que o de cobre cahia mais depressa que o de papel.

Vê-se pois que as diferenças que se notam nas velocidades da quédia dos corpos no ar, são provenientes da resistencia mais ou menos forte que o ar atmospherico offerece aos corpos que cahem.

2.<sup>a</sup> LEI, lei dos espaços. *Os espaços percorridos por um corpo, que cae livremente no vazio, crescem proporcionalmente aos quadrados dos tempos empregados em os percorrer, desde o começo do movimento.*

Se um corpo, que cae livremente no vazio, percorrer no fim do primeiro segundo, 4<sup>m</sup>,9; no fim de 2, 3, 4... segundos percorrerá 4,9,16... vezes 4<sup>m</sup>,9.

Na verdade, collocando um corpo sobre o plano inclinado temos, pela lei do equilibrio; que a força effectiva do corpo, está para o seu peso real, assim como a altura do plano, para o seu comprimento; isto é,  $F:P::A:C$ , sendo  $F$  a força effectiva,  $P$  o peso real, e  $A$  e  $C$  a altura e o comprimento do plano.

Se  $A$  for duas, tres... vezes menor que o comprimento  $C$ , a força effectiva será duas tres vezes menor que o peso  $P$ : por conseguinte a velocidade do movel sobre o plano será 2,3... vezes menor que a sua velocidade em quédia vertical. Como a força effectiva é uma parte da gravidade, por conseguinte da mesma natureza, e podendo-se á vontade diminuir a velocidade do movel, diminuindo a altura do plano inclinado: medindo os espaços percorridos durante 1, 2, 3... segundos, achamos que estes espaços estão entre si como os quadrados dos tempos, isto é, estão entre si como 1, 4, 9... quadrados de 1, 2, 3...

3.<sup>a</sup> LEI, lei das velocidades. *As velocidades adquiridas por um corpo, que cae livremente no vazio, crescem proporcionalmente aos tempos decorridos desde o começo da quédia.*

Se a velocidade de um corpo no fim de um segundo

for  $9^m,8$ , no fim de 2, 3, 4... segundos, será duas, tres, quatro... vezes  $9^m,8$ .

Pela fórmula temos

$$V:V'::t:t'.$$

### Machina de Atwood

§ 92. A machina de Atwood fig. 16, tem por fim demonstrar experimentalmente as leis da quèda dos corpos, dos espaços e das velocidades, diminuindo á vontade a intensidade da gravidade, e por conseguinte a rapidez do corpo que cae. A machina de Atwood funda-se na reduçãõ das velocidades, o que torna facil a observação dos espaços percorridos, despresando completamente a resistencia do ar.

Esta machina compõe-se, na sua parte mais importante, de uma roldana A assaz leve e muito movel sobre o seu eixo, que, a fim de soffrer o menor attrito possivel, pousa de uma e outra parte sobre dois systemas de rodas igualmente muito moveis sobre os seus respectivos eixos. Este apparelho está collocado no cimo de uma columna de dois metros de altura, ao longo da qual se acha fixada uma regoa EF, dividida em partes iguaes, em centimetros e millimetros. Sobre o gargalo da roldana A passa um fio de seda muito fino e flexivel, a cujas extremidades estão suspensas duas massas ou pesos iguaes M e M'. Como este fio de seda é extremamente fino, póde, em razão da sua extrema finura, considerar-se sem peso; logo os dois pesos estarão em equilibrio em todas as posições, movendo-se uniformemente, subindo um e descendo outro, percorrendo espaços iguaes em tempos iguaes, quando estiverem sob alguma força de impulsão.

A regua EF parallela á columna, vertical e collocada sobre o trajecto da massa M, tem dois cursores C e D,



munidos de chapas horizontaes, que podem fixar-se na altura que se quizer. O primeiro d'estes cursores C tem no centro uma abertura circular para dar passagem á massa M, impedindo a de outra de fôrma alongada e addiccional á massa M. O cursor D não tem abertura e serve para impedir o movel no seu movimento em tempo dado. Uma pendula adaptada á columna serve para marcar os segundos.

§ 93. Vejamos como por meio d'esta machina se pôde diminuir a velocidade de um corpo que cae sem alterar as leis do seu movimento. Se sobre a massa M collocarmos uma pequena massa addiccional  $m$  todo o systema evidentemente entrará em movimento, a massa M impellida pela massa addiccional descera, enquanto que a massa M' subirá. Evidentemente a pequena massa addiccional  $m$ , na sua quêda pondo em movimento as duas massas M e M', que com ella formam um só systema, terá uma velocidade muito menor que na sua quêda livre.

Determinemos pelo calculo esta diminuição de velocidade da massa  $m$  quando fica addicionada á M.

Seja  $g$  a velocidade adquirida no fim de um segundo, pela massa  $m$  na sua quêda livre; será  $mg$  a quantidade do seu movimento. Seja  $x$  a velocidade adquirida no mesmo tempo pelo systema de duas massas iguaes M e M', postas em movimento pela massa addiccional  $m$ ; a quantidade de movimento d'este systema de massas será  $(2M + m)x$ , que será o mesmo que  $mg$ , visto M e M' estarem em equilibrio e a gravidade não ter acção sobre ellas; portanto teremos  $(2M + m)x = mg$  ou

$$x = \frac{mg}{2M + m}.$$

Esta fórmula mostra bem claramente que a velocidade da quêda do corpo  $m$  estará na razão inversa dos pesos das massas M e M'.

Supponhamos que o peso da massa adicional  $m$  é igual a uma gramma, isto é,  $m = 1^g$ , e o peso de  $M = 7$  grammas; a velocidade do systema será  $x = \frac{g}{15}$ , isto é, quinze vezes menor que a velocidade de  $m$ , se cahisse só. Se o peso de cada massa  $M$  e  $M'$  fosse 12 grammas, sendo

$m = 1^g$ , seria  $x = \frac{g}{25}$ , isto é, vinte e cinco vezes menor que a de  $m$ , se cahisse só.

Vê-se pois que é muito facil retardar, quanto se quizer, a velocidade da quéda do corpo  $m$ , tomando as massas  $M$  e  $M'$  de pesos cada vez maiores.

Vejamos como se pôde observar a lei dos espaços por meio d'esta machina.

Colloque-se a massa  $M$  juncto com a adicional  $m$  no zero da escala; fixe-se n'esta, por tentativas, o cursor  $D$ , que não tem abertura, em uma distancia tal, que o choque do peso de  $M + m$ , quando fica abandonado a si, sobre o cursor e o batimento do primeiro segundo se coincindam, isto é, se façam ouvir ao mesmo tempo. Colloque-se successivamente o mesmo cursor  $D$  a distancias 4, 9, 16... vezes maiores que aquella que tinha percorrido o peso no primeiro segundo; deixando cair o mesmo peso do zero da escala, observa-se que a sua quéda sobre o cursor é no fim de 2'', 3'', 4''... o que demonstra experimentalmente que se a quéda de um corpo dura 1, 2, 3, 4... segundos, os espaços percorridos estarão entre si como 1, 4, 9, 16... quer dizer que *os espaços crescem proporcionalmente aos quadrados dos tempos*.

Para verificar a lei das velocidades serve-se do cursor  $C$ , de abertura circular, que retém, n'um instante dado, o peso adicional  $m$  que tem a fórma alongada.

Colloque-se a massa  $M$  com a adicional  $m$  no zero da escala, e o cursor  $C$  á distancia a que chega o movel

no fim do primeiro segundo; o peso  $m$  fica ahi retido e a massa  $M$  continúa a mover-se com a velocidade adquirida, e por conseguinte com um movimento sensivelmente uniforme, e percorre no immediato segundo um espaço dobro do que tinha percorrido no primeiro segundo. Recomeçando a experiencia e collocando o cursor  $C$  a uma distancia de modo que retenha a massa adicional  $m$  no fim de  $2''$   $3''$   $4''$ ... segundos da sua quéda, observa-se que a velocidade adquirida no fim de cada um d'estes segundos é dupla, tripla, quadrupla e assim em seguida; o que demonstra experimentalmente que *as velocidades são proporcionaes aos tempos, empregados em os percorrer.*



## CAPITULO VI

## Do pendulo

§ 94. Dá-se o nome de *pendulo* a um instrumento, composto de um fio inextensível e sem peso, de que uma extremidade está fixa e a outra suspende um corpo pesado. O pendulo, abandonado a si, toma, sob a acção da gravidade, a posição vertical e permanece em equilibrio, como o fio de prumo: desviando-o d'esta posição, volta a ella depois de uma serie de movimentos de vai-vens, que se denominam *oscillações*.

§ 95. Ha duas especies de pendulos: pendulo simples e pendulo composto. O pendulo simples é aquelle cujo fio é inextensível, inflexível e sem peso, tem n'uma extremidade um ponto material pesado, e a outra fixa a um ponto, em roda do qual póde girar livremente; oscilla no vacuo, não encontra a resistencia do ar, nem attrito no ponto de suspensão; este pendulo é ideal, ficticio, não existe. O pendulo composto é o que é formado d'um fio material, sustentando por uma extremidade um corpo pesado, ficando fixa a outra; as suas oscillações encontram a resistencia do ar e o seu ponto de suspensão fica sujeito a attritos. Os pendulos, que se usam ordinariamente nos gabinetes de Physica, são compostos, de haste metálica terminada por um corpo de fórma lenticular, e têm o nome de *pendulas*.

§ 96. *Pendulo simples*. Seja OA um pendulo simples na posição vertical, e por conseguinte em equilibrio, visto que a acção de gravidade, que solicita o ponto ma-

terial fica destruída pela resistência do fio. Se o levarmos, desviando-o da direcção vertical, para a posição OB, e o abandonarmos a si, elle entrará em oscillações descrevendo constantemente o arco BAB', fig. 17, cuja amplitude é medida pelo angulo BOB'.

O ponto material B na posição OB perde uma parte do seu peso e em virtude da outra parte descreve o arco BB'. Com effeito: o peso do ponto material B, que é a gravidade, que representaremos por BG, póde ser decomposto em duas forças; uma BF, na direcção do fio, e a outra BC, perpendicular ao prolongamento do fio e na direcção do elemento tangencial do arco BB' no ponto B: a primeira d'estas forças BF é destruída pela resistência do fio, e pela do ponto fixo O; e a segunda BC, a unica que actua, sollicita o pendulo a tomar a posição de equilibrio.

Representando por  $g$  a gravidade BG, por  $g'$  a gravidade effectiva BC e por  $\alpha$  o angulo BOA; a resolução trigonometrica do triangulo BCG dá para a gravidade effectiva

$$g' = g \operatorname{sen} \alpha.$$

Vé-se por meio d'esta fórmula que a intensidade da força decresce á medida que o pendulo se aproxima da posição vertical, isto é da posição de equilibrio.

O ponto material B percorre o arco BA com uma velocidade crescente; este movimento acelerado que se produz, é devido a uma força contínua, mas não constante, cuja intensidade diminue para se tornar nulla quando o pendulo for vertical.

Chegado á posição da vertical o pendulo eleva-se, em virtude da velocidade adquirida, até B' com um movimento retardado, d'onde desce até A com a velocidade crescente, para subir até B, com a velocidade decrescente; continúa a descer até A para de novo a subir até B' e assim successivamente, descrevendo uma serie de oscillações.



A gravidade, que obra como força acceleratriz de B para A, obra como força retardatriz de A para B', por conseguinte deve diminuir successivamente a velocidade de A para B' da mesma quantidade que havia augmentado de B para A. Por conseguinte as oscillações devem conservar indefinidamente a *mesma amplitude* e a *mesma direcção*; e como tudo é symetrico de cada lado da vertical, o arco BA será igual ao AB'.

§ 97. O movimento do pendulo de B até B' ou vice-versa chama-se oscillação; o de B até A meia oscillação descendente, e de A até B' meia oscillação ascendente.

Chama-se *amplitude* da oscillação o arco BB' medido em gráus, minutos e segundos. A duração de uma oscillação é o tempo que o pendulo gasta em percorrer o arco BB'. O angulo BOA chama-se *angulo de desvio*. O ponto O é o ponto de suspensão.

O movimento do pendulo deve ser perpetuo; mas na practica oppõe-se duas causas á continuidade d'este movimento; a resistencia do meio e o attrito no ponto de suspensão. Assim fazendo oscillar um pendulo, vê-se logo diminuir pouco a pouco a amplitude das suas oscillações, e depois de um lapso de tempo mais ou menos longo, o pendulo ficar em equilibrio.

§ 98. Leis das oscillações do pendulo. As leis das oscillações do pendulo, chamadas *leis do pendulo*, são quatro. Estas leis são relativas ao isochronismo, á natureza das substancias de que são formados os pendulos, aos seus comprimentos, e ao logar da terra onde oscillam, isto é, a intensidade de gravidade. Demonstraremos as leis do pendulo experimentalmente e pelo calculo.

1.<sup>a</sup> LEI. *As oscillações de um pendulo, no mesmo logar da terra, cuja amplitude não excede de 4 a 5° gráus, são isochronas, quer dizer, são de igual duração, ou executam-se em tempos iguaes.*

Com effeito: Se contarmos por meio de um chronometro o numero de oscillações que executa um pendulo



aproximado do pendulo simples, em 3 minutos por ex. cuja amplitude não exceda de 4 a 5 grãos; observamos que para as amplitudes de 1, 2, 3 e 4<sup>o</sup> grãos o numero de oscillações é constante.

2.<sup>a</sup> LEI. *A duração das oscillações dos pendulos do mesmo comprimento, oscillando no mesmo logar da terra, é a mesma, qualquer que seja a substancia de que os pendulos são formadas.*

Na verdade. Fazendo oscillar muitos pendulos do mesmo comprimento, terminados por esferas do mesmo diametro, mas de substancias differentes, por ex.: de ferro, de cobre, de prata, de platina, de marfim, etc.; observa-se que estes pendulos executam no mesmo tempo o mesmo numero de oscillações.

3.<sup>a</sup> LEI. *As durações das oscillações dos pendulos de differentes comprimentos, oscillando no mesmo logar da terra, são proporcionaes ás raizes quadradas dos comprimentos dos pendulos.*

Demonstra-se esta lei pela seguinte experiencia. Fazemos oscillar no mesmo logar muitos pendulos, cujos comprimentos sejam respectivamente 1, 4, 9, 16, 25... observa-se que, durante o mesmo tempo, os numeros das oscillações, correspondentes aos respectivos pendulos, estão

entre si, como os numeros  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5} \dots$  o que

mostra que as durações das oscillações estão como os numeros 1, 2, 3, 4, 5... que são raizes quadradas dos comprimentos dos pendulos.

4.<sup>a</sup> LEI. *As durações das oscillações dos pendulos do mesmo comprimento, oscillando em differentes logares da terra, são inversamente proporcionaes ás raizes quadradas da intensidade da gravidade, n'esses logares.*

Demonstremos. Se contarmos o numero das oscillações do mesmo pendulo que oscilla em differentes logares da terra, desde o equador até aos polos; observa-se que as

durações das oscillações, que executa este pendulo, durante o mesmo tempo, em cada uma das estações, estão na razão inversa das raizes quadradas das intensidades da gravidade, correspondentes a cada uma das estações.

§ 99. *Demonstração das leis do pendulo pelo calculo.* Pelas considerações geometricas applicadas ao movimento do pendulo, determina-se a verdadeira relação entre a duração das oscillações, o comprimento do pendulo e a intensidade de gravidade, e esta relação representa-se pela seguinte expressão analytica, conhecida pelo nome de *fórmula do pendulo*

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

na qual  $t$  representa a duração de uma oscillação, expressa em segundos sexagesimaes;  $l$  o comprimento do pendulo expresso em metros;  $g$  a intensidade da gravidade, isto é, o numero de metros que exprime a velocidade de um corpo que cae livremente no fim do primeiro-segundo;  $\pi$  a relação da circumferencia para diametro, cujo valor é 3,141593.

Para um outro pendulo, cujo comprimento é  $l'$ , oscillando n'um outro logar, onde a gravidade seja  $g'$ , teremos para a duração da oscillação

$$t' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g'}}$$

Como esta fórmula não contém elemento algum que represente a amplitude da oscillação, que se suppõe ser muito pequena, nem o da densidade da substancia de que é formado o pendulo; segue-se que o valor de  $t$  é independente d'estas quantidades; por conseguinte as oscillações são isochronas, quando os arcos descriptos forem muito pequenos; e a duração das oscillações é a mesma

qualquer que seja a substancia de que é formado o pendulo. Vê-se pois que a primeira e segunda lei do pendulo se deduzem da fórmula d'elle.

§ 100. Dividindo a primeira fórmula pela segunda, temos

$$t:t'::\sqrt{\frac{l}{g}}:\sqrt{\frac{l'}{g'}}$$

ou  $t:t'::\sqrt{l}\times\sqrt{g'}:\sqrt{l'}\times\sqrt{g}$ .

Se os pendulos oscillarem no mesmo lugar, o valor de  $g$  será o mesmo para ambos os pendulos; isto é,  $g=g'$  e por conseguinte teremos

$$t:t'::\sqrt{l}:\sqrt{l'}$$

proporção que demonstra a terceira lei do pendulo; que, no mesmo lugar, as durações das oscillações são proporcionaes ás raizes quadradas dos comprimentos dos pendulos

Se os pendulos tiverem o mesmo comprimento, e oscillarem em diferentes logares, teremos  $l=l'$  e por conseguinte virá

$$t:t'::\sqrt{g'}:\sqrt{g}$$

o que demonstra a quarta lei, em diferentes logares da terra, as durações das oscillações de um mesmo pendulo ou de dous pendulos do mesmo comprimento, estão na razão inversa das raizes quadradas das intensidades da gravidade n'estes diferentes logares.

§ 101. Pendulo composto. O pendulo composto é formado de um corpo pesado de fórmula espherica ou lenticular, suspenso á extremidade de uma haste metalica, cuja outra extremidade é movel em redor de um eixo horizontal: são os pendulos que se empregam para regularisar os movimentos dos relogios.



As leis do pendulo simples, que acabamos de estudar applicam-se igualmente ao pendulo composto, visto este ser formado de tantos pendulos simples quantos são os pontos materiaes que o compõem. No pendulo composto, unico realisavel na practica, convém definir precisamente o que se entende por comprimento do pendulo.

O comprimento do pendulo simples é a distancia do ponto material ao eixo de suspensão; mas no pendulo composto o ponto material é substituido por uma massa mais ou menos volumosa, e o fio de suspensão por uma haste pesada. Em virtude d'esta disposição, os diversos pontos de que é formado o instrumento oscillariam em tempos differentes se estivessem livres; os pontos mais proximos do eixo de suspensão oscillariam mais depressa e os mais affastados com maior demora: mas como estes pontos estão ligados entre si invariavelmente, as suas oscillações devem ter necessariamente a mesma duração; d'onde se segue que os pontos materiaes mais proximos do eixo de suspensão, aceleram o movimento dos pontos mais affastados, enquanto que estes retardam o movimento dos primeiros; entre estes pontos extremos existe um, cujo movimento nem é acelerado, nem retardado, e que por conseguinte oscilla como se estivesse só. Este ponto tem o nome de *centro de oscillação*.

Logo o *centro de oscillação* é o ponto no eixo de que oscilla livre e independente, como se estivesse só. A distancia do centro de oscillação ao eixo de suspensão é o *comprimento do pendulo composto*, ou é o comprimento do pendulo simples que executaria a sua oscillação no mesmo tempo que o pendulo composto.

§ 102. *Pendulo de segundos*. Chama-se pendulo de segundos áquelle que faz uma oscillação infinitamente pequena em um segundo. O comprimento d'este pendulo é, em Paris, 0<sup>m</sup>,9938.

§ 103. *Usos do pendulo*. Este instrumento de tanta simplicidade e precisão, devido a Galileo, tem numerosas

aplicações. Serve para medir com exactidão o tempo, para regularisar a marcha dos relogios, para determinar com rigor a exacta avaliação da intensidade da gravidade em diferentes pontos do globo, para conhecer a figura e a densidade da terra, e por conseguinte a dos corpos planetarios; serve como unidade de comprimento, como os Ingлезes a tem adoptado, mas esta unidade não tem o caracter de fixidez e por isso não convém adoptal-a. O pendulo finalmente serve para demonstrar experimentalmente o movimento de rotação da terra sobre o seu eixo.

§ 104. Determinação da intensidade da gravidade por meio do pendulo. Não nos sendo possível medir rigorosamente o espaço que os corpos percorrem no fim do primeiro segundo, quando obedecem livremente á acção da gravidade, o que dá a medida da intensidade d'esta força; podemos obtel-a com maior simplicidade e precisão por meio do pendulo.

Sabemos que a fórmula do pendulo é

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

elevando ao quadrado, temos

$$t^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$$

tirando o valor de  $g$ , vem

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$$

Se contarmos o numero das oscillações, que o pendulo faz em um tempo dado, teremos o valor de  $t$ , e medindo o comprimento do pendulo achamos o de  $l$ ; com o conhecimento d'estes valores teremos o valor numerico de  $g$  expresso em metros. Fazendo pois  $t=1''$  e  $l=0^m,9938$

virá,  $g = (3,141592)^2 \times 0^m,9938$  ou

$$g = 9^m,808$$

o que mostra que um corpo, caindo livremente no vazio, adquire esta velocidade no fim do primeiro segundo, e durante este segundo percorre um espaço igual a  $4^m,9044$ .

§ 105. Como a intensidade da gravidade não é a mesma em todos os logares da terra, segue-se que fazendo oscillar o mesmo pendulo em um outro lugar da terra, teremos

$$g' = \frac{\pi^2 l}{t'^2}$$

visto que a duração das oscillações tambem será diferente; porque esta augmenta ou diminue, conforme o lugar da observação for mais proximo ou mais affastado do equador.

D'estas duas igualdades deduz-se, dividindo uma pela outra

$$g : g' :: t'^2 : t^2$$

quer dizer, que, em diferentes lugares da terra, *as intensidades da gravidade são proporcionaes aos quadrados das durações das oscillações do mesmo pendulo.*

### Balança

§ 106. A balança é um instrumento destinado a determinar o peso relativo dos corpos; isto é, um instrumento por meio do qual achamos a relação entre o peso absoluto de um corpo e um outro peso determinado, que se toma por unidade.

Ha duas especies de balanças: balanças de *braços iguaes* e balanças de *braços desiguaes*. As balanças de



braços iguaes são a balança commum ou ordinaria e a balança ingleza ou de Roberval; as de braços desiguaes são a balança romana e a balança decimal ou de Quintenz. Ambas estas especies de balanças consistem essencialmente n'uma alavanca do primeiro genero: as da primeira especie são proprias para produzir equilibrio entre forças iguaes; as da segunda equilibram forças desiguaes.

A theoria das balanças funda-se no principio de Archimedes, sobre o equilibrio das forças applicadas ás extremidades dos braços da alavanca.

§ 107. **Balança ordinaria.** Esta balança fig. 18, compõe-se de uma alavanca interfixa, AB, que tem o nome de *travessão*, pelo meio do qual passa um eixo horizontal, *m*, á roda do qual póde girar livremente. Os dois braços da alavanca, *m* A e *m* B, perfeitamente iguaes em comprimento e em peso, sustentam nos seus extremos, por meio de cadêas, dois pratos de igual peso; n'um d'estes, colloca-se o corpo que se quer pesar, e no outro os pesos necessarios para o equilibrar. Um ponteiro, que tem o nome de *fiel*, collocado perpendicularmente sobre o travessão, por cima ou por baixo do eixo de suspensão, oscilla sobre um arco graduado, e a posição horizontal do travessão, circumstancia indispensavel para o equilibrio, é determinada pela correspondencia do fiel com o zero da graduação.

§ 108. Quando a balança estiver vazia, ou tiver em seus pratos pesos iguaes, a horizontalidade do travessão é uma condição indispensavel para o equilibrio dos pesos iguaes; porque considerando estes dois pesos como forças iguaes e parallelas, applicadas aos extremos de uma barra e obrando no mesmo sentido, a resultante d'estas forças que ficará destruida pela fixidez do ponto de apoio que é *m*, passará pelo meio do travessão. Se as forças não forem iguaes, a resultante não poderá passar pelo meio do travessão, e por consequinte fará inclinar este para o lado da resultante.

§ 109. **Condições de uma boa balança.** Para que uma balança seja boa, são precisas duas condições geraes, a primeira é que seja *sensível*, e a segunda que seja *justa*. Diz-se que uma balança é sensível, quando é capaz de oscillar sob a acção do menor peso collocado em um dos seus pratos: diz-se que é justa ou rigorosa, quando equilibra dois pesos iguaes collocados nos seus pratos.

§ 110. **Condições de sensibilidade da balança.** Para que uma balança seja sensível são precisas as tres seguintes condições:

1.<sup>a</sup> *Mobilidade do travessão ao redor do eixo de suspensão:* preenche-se esta condição suspendendo o travessão por um prisma triangular de aço, denominado *cutello*, cujo gume repousa sobre dois planos muito polidos de aço ou de agatha.

2.<sup>a</sup> *Estabilidade do equilibrio:* obtem-se esta condição pondo o centro de gravidade do travessão abaixo do eixo de suspensão; porque se ficasse em cima o equilibrio seria instavel e a balança seria *doida*. Se o centro de gravidade do travessão coincidissem com o eixo de suspensão, o equilibrio seria indifferente, e existiria em todas as posições possiveis do travessão ao redor do seu eixo de suspensão.

3.<sup>a</sup> *Distancia do centro de gravidade ao eixo de suspensão:* devendo ficar o centro de gravidade abaixo do eixo de suspensão, deve ficar muito proximo d'este; porque elevando-se o centro de gravidade em roda do eixo de suspensão e tendendo a descel-o, fará voltar o travessão á posição horizontal por uma serie de oscillações progressivamente decrescentes; n'este caso a balança será tanto mais sensível quanto mais proximos estiverem o centro gravidade do travessão e o eixo de suspensão. Se o centro de gravidade ficasse muito distante do eixo de suspensão a balança oscillaria com extrema lentidão, e n'este caso seria *preguiçosa*.

§ 111. **Condições de justeza da balança.** Uma



balança para ser justa deve satisfazer ás duas seguintes condições :

1.<sup>a</sup> *As distancias dos pontos de suspensão dos pratos ao eixo de suspensão sejam constantes*, qualquer que seja a posição do travessão: isto é, que os braços do travessão sejam iguaes e invariaveis durante as oscillações da balança, para que a resultante dos dois pesos iguaes das bacias passe sempre pelo eixo de suspensão, e para que cada peso actue sempre na extremidade do mesmo braço do travessão durante a pesagem. Obtem-se esta condição dando ao eixo a fórma de cutello, e estabelecendo nas extremidades do travessão dois cutellos annulares de aço em que pousem os ganchos das bacias, sendo estes tambem aguçados em fórma de cutello.

2.<sup>a</sup> *Perfeita igualdade dos braços do travessão*: se os braços forem desiguaes, de certo não haverá equilibrio entre dois pesos iguaes, collocados nos dois pratos da balança: porque sabemos que ao braço menor corresponde força maior, e ao braço maior força menor para haver equilibrio.

§ 112. *Balança horizontal ou de Roberval*. Esta balança, fig. 19, differe da ordinaria em ter os pratos por cima do travessão, e não por baixo como na balança ordinaria. Esta balança é mais commoda para os usos da vida.

§ 113. *Methodo de duplas pesagens*. Ainda que a sensibilidade e a justeza sejam condições indispensaveis de uma boa balança, para termos os pesos exactos dos corpos; comtudo, se não se derem estas duas condições, ou se a balança for falsa, podemos obter pesos exactos dos corpos pelo processo de dupla pesagem, conhecido pelo nome de *methodo de Borda*. Consiste este em collocar o corpo, cujo peso se quer determinar, n'um dos pratos da balança, e no outro prato grãos de chumbo ou arêa necessaria para equilibrar o corpo; depois tirar o corpo e substituil-o por pesos graduados de modo que se restabeleça o equilibrio. O peso do corpõ será represen-



tado pelos pesos graduados: porque o corpo e os pesos graduados, actuando, cada um de per si, sobre o mesmo braço do travessão, equilibram a mesma quantidade de chumbo, collocado no outro prato; logo o peso do corpo é igual ao dos pesos graduados.

Outro methodo consiste em pesar o corpo duas vezes, collocando-o ora n'um, ora n'outro prato da balança: a raiz quadrada do producto dos dois pesos obtidos será o verdadeiro peso do corpo. Na verdade, se designarmos por  $a$  e  $b$  os braços da balança, por  $p$  e  $q$  os pesos que equilibram o corpo, quando está no prato correspondente a  $a$  e a  $b$ , e por  $x$  o verdadeiro peso do corpo; temos pelo principio de Archimedes

$$x \times b = a \times p \quad \text{e} \quad x \times a = q \times b;$$

multiplicando estas igualdades membro a membro, temos

$$x^2 = pq \quad \text{ou} \quad x = \sqrt{pq}.$$

§ 114. Balança romana. Esta balança, fig. 20, é uma alavanca AC do primeiro genero, de braços desiguaes, sustentada n'um ponto B, e movel ao redor d'elle. O braço menor BA tem um cutello, que suspende um gancho, ou um estrado, onde se colloca o corpo que se quer pesar: sobre o braço maior BC, que está graduado, colloca-se um peso constante, que póde escorregar por meio de um cursor ao longo de todo o braço.

Para nos servirmos d'esta balança, suspende-se o corpo, cujo peso se pertende determinar, ao gancho do braço menor, e faz-se correr o peso constante ao longo do braço maior até que o travessão fique horizontal; evidentemente o peso collocado na distancia conveniente fará equilibrio ao corpo: se a distancia do cursor ao eixo de suspensão for dupla, tripla. . . do braço menor, o corpo pesará duas, tres. . . vezes mais que o peso constante. O braço maior está dividido em partes taes, que o peso constante, col-

locado ás differentes distancias, faça equilibrio a 1, 2, 3... kilogrammas, que, por sua vez, devem ser applicados ao braço menor.

§ 115. Balança decimal ou de Quintenz. A balança decimal, fig. 21, compõe-se de uma alavanca MIE, de braços desiguaes, movel em torno de um cutello I; sendo a relação dos braços de 1 para 10, quer dizer, que um braço é dez vezes maior que o outro. Na extremidade do braço maior IM suspende o prato que recebe os pesos padrões. Um largo estrado de páu AB recebe o corpo que se quer pesar; o peso d'este corpo é transmitido integralmente por meio de um systema de alavancas articuladas ao ponto E, extremidade do braço menor. Como o braço IE é a decima parte do braço IM, segue-se, pelo principio de equilibrio das forças applicadas ás extremidades de uma alavanca, que o peso padrão collocado no prato deve ser dez vezes menor para equilibrar o peso do corpo collocado no estrado. Assim um peso de 10, 20, 30 kilogrammas equilibra 100, 200, 300 kilogr.

Serve esta balança para pesar grandes corpos; encontra-se nas estações e casas de retêm dos caminhos de ferro, nas alfandegas, e nos depositos de grandes casas commerciaes.

### Dynamometros

§ 116. Os *dynamometros* são instrumentos que determinam a intensidade das forças e o peso dos corpos independentemente de pesos padrões. A construcção d'estes instrumentos é fundada na elasticidade das molas; e a sua gradação é feita com pesos. Ha varias especies de dynamometros; só descreveremos os principaes.

§ 117. Dynamometro de mola angular. Este instrumento, fig. 22, é formado de uma mola de aço ABC formando um angulo no meio, cujos lados se aproximam mais ou menos segundo a força empregada sobre um



d'elles. Cada um d'estes ramos tem nas suas extremidades arcos de ferro graduados. O arco ED está soldado pela sua extremidade inferior ao ramo BC, e a superior, atravessando livremente o ramo BA, termina por um anel, proprio para suspender o instrumento. O segundo arco ME está soldado pela sua extremidade superior ao ramo BA, e a inferior, atravessando livremente o ramo BC, termina por um gancho, onde se suspende o corpo que se quer pesar. Pela disposição dos arcos em sentido inverso facilmente se comprehende que, suspendendo o instrumento pelo seu anel a um ponto fixo e applicando ao gancho um corpo, o ramo superior, vergando-se, ha de se approximar do inferior. Esta approximação, indicada pela graduação do arco DE, indica o peso do corpo.

§ 118. **Dynamometros de Leroy.** A fig. 23 representa este instrumento, que se compõe de uma mola em helice, fixa em um ponto *s* de um tubo, dentro do qual está introduzida; o outro extremo da mola termina por um disco *n* sustentado por uma haste graduada, que atravessa livremente o topo superior do tubo e sae para fóra, terminando por um anel. A extremidade inferior do tubo tem um gancho *m*, ao qual se applica a força que se quer medir. Estando fixo este dynamometro, a acção da força em *m* faz comprimir a mola e sair para fóra a haste, sobre a qual se acha feita a graduação.

§ 119. **Dynamometro de Poncelet.** Este dynamometro, fig. 24, compõe-se de duas molas parabolicas *L* e *L'*, articuladas a duas hastes, *b* e *b'*, *biellas*. A mola *L* tem na parte média um anel *C*, para fixar o instrumento; *L'* tem um gancho *C'*, onde se applicam as forças. No interior d'estas molas e na sua parte média notam-se duas pequenas regoas, uma graduada e a outra munida d'um nonio. O afastamento das molas pela acção da applicação da força sobre o gancho é marcada pelo deslocamento do nonio sobre a escala. N'este instrumento os deslocamentos das molas são proporcionaes ás forças.



## CAPITULO VII

**Forças moleculares**

120. Temos dicto que os corpos não são substancias contínuas; formam-se pela união de atomos, que, sem se tocarem, ficam simplesmente juxtapostos, deixando entre si espaços intermoleculares chamados *poros*. Pelas uniões dos atomos constituem-se as moleculas de fórma determinada e da mesma natureza do corpo de que fazem parte.

Se um corpo fosse uma substancia contínua, que não se pudesse resolver em elementos incessaveis, a idéa da combinação além de obscura seria absurda, porque exprimiria uma penetração de duas substancias differentes; e as leis das combinações, das proporções multiplas e da fixidez d'estas e a invariabilidade dos equivalentes seriam factos em opposição á constituição dos corpos, na hypothese de elles serem substancias contínuas. Todas as leis, porém, até hoje conhecidas são consequencias logicas da formação dos corpos pela juxtaposição de pequenas massas indivisiveis, os atomos.

Os atomos são mantidos nas suas posições pela acção de duas forças contrarias, que se denominam *forças moleculares*; uma attractiva, a *cohesão*, e a outra repulsiva, a *força expansiva do calor*.

A acção d'estas forças exerce-se a distancias infinitamente pequenas, e a sua intensidade decresce rapidamente pelo augmento das distancias moleculares; as leis d'este decrescimento são ainda desconhecidas.

§ 121. **Cohesão e adhesão.** A cohesão é a força que une entre si moléculas da mesma natureza; a sua intensidade decresce com o augmento da temperatura. As dilatações e contracções dos solidos, a resistencia que estes offerecem á separação das suas moléculas e depois de separadas, dentro de certos limites, retomam as suas posições, provam a cohesão nos solidos. Os phenomenos de congelação dos liquidos, acompanhados da crystallisação, e a união de duas gottas quando se tocam, mostram que as moléculas liquidas estão submettidas a uma reciproca acção attractiva.

A *adhesão* é a attracção molecular que se manifesta entre os corpos em contacto. Dá-se entre os solidos, entre estes e os liquidos, e entre os gazes. A adhesão entre os solidos não é um effeito da pressão atmospherica; ella cresce com o gráu de polimento das superficies e com a duração do contacto.

A adhesão entre os solidos torna-se bem sensivel quando juxtapozermos dois planos de vidro ou de marmore um sobre outro, de modo que entre elles não fique bolha de ar; a adherencia d'estes planos em contacto é tal que é preciso um grande esforço para separal-os.

A adhesão entre os solidos e liquidos observa-se na adherencia das gottas de agua ou de mercurio a um objecto de vidro quando o tiramos para fóra do liquido onde esteve mergulhado. A adhesão entre os solidos e gazes manifesta-se pela adherencia das bolhas de ar ás paredes dos vasos que contém liquidos que desenvolvem gazes, e pela condensação d'estes no interior dos corpos porosos.

§ 122. **Força repulsiva.** Esta força tende constantemente a afastar as moléculas dos corpos; a sua intensidade cresce com o augmento do calor. Reconhece-se a existencia d'esta força quando sujeitamos um corpo á acção do calor; primeiramente as suas moléculas afastam-se umas das outras; se o calor augmenta o corpo

póde passar do estado solido ao liquido e d'este ao gazoso. Se aquecermos duas laminas de vidro bem comprimidas, observa-se que ellas se afastam sensivelmente; se elevarmos a temperatura de um corpo reduzido a pó muito fino, vê-se que as suas moleculas rolam como as da agua; se projectarmos uma gotta de agua n'uma capsula muito quente, esta não só não molha a capsula, mas até é repellida, e toma a fórma globular. Todos estes factos provam que o calor augmenta a força repulsiva, que tem por causa o mesmo calor.

§ 123. *Relações entre os tres estados dos corpos.* Os estados dos corpos são dependentes da relação entre as forças moleculares, attractiva e repulsiva. Como a cohesão é grande nos solidos, fraca nos liquidos e nulla nos gazes, segue-se que nos solidos a força de attracção entre as moleculas é maior que a de repulsão; nos liquidos é igual; e nos gazes é menor. Segue-se pois, pelo menos em theoria, que todos os solidos podem vir a ser liquidos e gazes pelo augmento do calor, ou, vice-versa, que todos os gazes e liquidos podem vir a ser solidos pelo abaixamento da temperatura; porém muitas circumstancias physicas e chimicas impedem o que a theoria proclama.

Ha corpos que, sem mudarem de natureza, passam pelos tres estados; como por ex.: a agua, o enxofre, o mercurio, que passam do estado solido ao liquido e d'este ao gazoso, e vice-versa, pelo augmento e diminuição do calor. Ha outros que se encontram sempre no estado solido, como o carbonio, o manganez e a cal; outros no estado liquido ou gazoso, como o alcool, outros finalmente no estado gazoso, taes como o oxigenio, o hydrogenio e o azote.

Quando dizemos que um corpo é solido, liquido ou gazoso, é que o seu estado nas circumstancias physicas ordinarias de temperatura e de pressão affectam um d'estes estados.



### Propriedades particulares dos solidos

§ 124. Os corpos solidos possuem propriedades particulares que convém muito estudar por serem proprias ás artes e uteis á industria. Estas propriedades são: a elasticidade de *tracção*, de *torção* e de *flexão*; a *tenacidade*, a *ductilidade*, a *dureza* e a *fragilidade*.

§ 125. Chama-se *elasticidade de tracção* aquella que se manifesta no alongamento de uma barra, uma extremidade da qual está presa e a outra sustenta pesos, e a barra volta ao seu primitivo comprimento quando cessa o esforço dos pesos: o esforço que os pesos fazem para augmentar o comprimento da barra chama-se *tracção*. Esta elasticidade está submettida ás seguintes leis: 1.<sup>a</sup> o *alongamento da barra metallica á temperatura ordinaria*, é *proporcional ao seu comprimento*; 2.<sup>a</sup> o *alongamento está na razão inversa do quadrado do seu diametro*; 3.<sup>a</sup> é *proporcional ao peso*.

A *elasticidade de flexão* é aquella que se observa quando a barra, que estava em flexão, volta ao seu primitivo estado. Uma barra fica em flexão quando tem uma das extremidades presa, e a outra sustenta um peso sufficiente para vergal-a. Os corpos sujeitos além dos limites d'esta elasticidade quebram-se. As leis da elasticidade de flexão applicadas ás laminas metallicas são: 1.<sup>a</sup> a *flexão é proporcional á largura da lamina*; 2.<sup>a</sup> *proporcional ao cubo da sua espessura*; 3.<sup>a</sup> *está na razão inversa do cubo do seu comprimento*.

A *elasticidade de torção* é a que se manifesta pela destorção de uma barra que depois de torcida volta á sua primitiva posição. A lei d'esta elasticidade é que a *força de torção e destorção é proporcional ao angulo de torção*.

126. *Tenacidade* é a propriedade que só os solidos

têm de resistir á rotura pela tracção. Estuda-se esta propriedade sobre hastes metallicas, cylindricas ou prismaticas, do mesmo comprimento e diametro, prendendo-as por uma das extremidades e submettendo-as pela outra a uma tracção, medida em kilogrammas, sufficiente para determinar a ruptura. O corpo mais tenaz é aquelle que supporta maior peso antes de se romper. A tenacidade varia com a fórma do corpo, e diminue com a duração da tracção.

§ 127. *Ductilidade* é a propriedade que certos corpos têm de se reduzirem a fios passando pela fieira. Chama-se *fieira* a uma grossa lamina de ferro crivada de orificios de differentes grandezas. Alguns physicos dão o nome de *ductilidade* á propriedade que os corpos têm de poderem tomar diversas fórmas quando ficam sujeitos a esforços mais ou menos prolongados.

A *malleabilidade* é a propriedade que os corpos têm de se reduzirem a laminas pela acção do martello ou do laminador. A *flexibilidade* é a propriedade que os corpos têm de se deixarem curvar.

§ 128. *Dureza* é a propriedade que os corpos têm de offerecerem resistencia a serem riscados por outros. Esta propriedade é relativa; um corpo póde ser duro em relação a um outro e molle em relação a um terceiro. O corpo mais duro é o diamante; após este vem a saphira, o rubim, o crystal de rocha, o sillex. As ligas são mais duras que os metaes de que são formados.

§ 129. *Fragilidade* é a propriedade que os corpos têm de se reduzirem a fragmentos, de se fracturarem, pelas acções mechanicas. Um corpo é tanto mais fragil quanto mais duro fór, e vice-versa.

§ 130. *Tempera*. *Recozimento*. A tempera é o rapido esfriamento de um corpo de elevada temperatura pela immersão em agua fria. *Recozimento* é o resfriamento lento de um corpo de temperatura muito alta.

Pela tempera a dureza e a fragilidade de certos

corpos augmentam, taes como o aço, o ferro fundido ; pelo recozimento diminuem.

Em geral o effeito da tempera é tornar o metal mais duro e mais quebradiço ; porém casos ha em que a tempera produz um effeito contrario ; assim o bronze temperado é muito malleavel, e recozido torna-se duro e friavel.

---



## CAPITULO VIII

**Hydrostatica**

§ 131. Temos dicto que a *hydrostatica* estuda as condições de equilibrio dos liquidos, e as pressões que elles exercem sobre as paredes dos vasos que os contêm.

Sabemos que as moleculas dos liquidos gosam uma grande mobilidade, escorregam umas sobre outras com extrema facilidade, e deslocam-se ao mais leve esforço. Os liquidos não têm fórma propria, tomam a dos vasos que os contêm; a sua fluidez não é perfeita, existe sempre uma adherencia entre as suas moleculas, que produz uma certa viscosidade; a compressibilidade dos liquidos é muito fraca. O que distingue os liquidos dos gazes é que estes são eminentemente fluidos, compressiveis e expansivos.

§ 132. Principio de igualdade de pressão nos liquidos. Este principio, conhecido pelo nome de principio de Pascal, ou principio de igualdade de pressão, considerando os liquidos como incompressiveis, dotados de perfeita fluidez e privados da gravidade, enuncia-se do seguinte modo: «Os liquidos transmittem integralmente, em todos os sentidos, as pressões exercidas em qualquer ponto da sua massa, e estas pressões são proporcionaes á extensão da superficie comprimida.

Com effeito: supponhamos um vaso de fórma qualquer, com orificios fechados por embolos moveis A, B, C, D...; fig. 25; se exercermos sobre um d'elles, A por ex., uma

pressão de fóra para dentro de 30 kilogrammas, esta pressão se transmittirá integralmente a toda a massa liquida, e a face interna de cada um dos embolos B, C, D. Estes embolos, recebendo perpendicularmente á sua superficie, de dentro para fóra, a pressão exercida pelo embolo A, elevar-se-hão com igual força de 30 kilogrammas. Se as superficies dos embolos forem duas, tres, quatro vezes maiores que a superficie do embolo A, as pressões recebidas por esses embolos serão duas, tres, quatro vezes maiores que a pressão exercida pelo embolo A; isto é, *proporcionaes á extensão da superficie comprimida.*

§ 133. O principio de egualdade de pressão nos liquidos é applicavel aos gazes. Se o vaso, em vez de conter o liquido, estivesse cheio de ar ou de qualquer outro gaz, a pressão exercida no embolo A transmittir-se-hia integralmente á superficie interna de cada um dos embolos, e estes elevar-se-hiam com egual força. Se um dos embolos tivesse uma superficie dupla, tripla, receberia tambem uma pressão dupla, tripla; isto é, as pressões seriam proporcionaes á extensão da superficie premda.

§ 134. Condições de equilibrio dos liquidos. Duas são as condições para que um liquido contido em um vaso de fórmula qualquer, e submettido á acção de gravidade, fique em equilibrio.

1.<sup>a</sup> CONDIÇÃO: *Para que um liquido fique em equilibrio é preciso que a sua superficie livre seja horizontal; isto é, que cada ponto da superficie livre do liquido seja perpendicular á direcção da gravidade.*

Com effeito: supponhamos a superficie livre da massa liquida ABCD, fig. 26, tendo uma direcção inclinada AB. Uma molecula *m* d'esta superficie sob a acção da gravidade deverá tomar a direcção de *mp*; isto é, *mp* representa a acção de gravidade. Esta força póde ser decomposta em duas, uma *mq*, perpendicular á superficie liquida, e a outra *mo*, tangente á superficie: a primeira *mq* é destruida pela resistencia do plano, e a segunda *mo* fará

escorregar a molécula  $m$  na direcção de  $mB$ ; após esta a mais proxima tambem escorregará, a esta seguir-se-ha uma outra, e assim continuadamente; por conseguinte todas as moléculas entrarão em movimento, e a massa liquida não poderá ficar em equilibrio. Logo: *um liquido estará em equilibrio quando a sua superficie livre for horizontal.*

2.<sup>a</sup> CONDIÇÃO: *Para que um liquido esteja em equilibrio é preciso que cada molecula da massa liquida receba pressões eguaes e contrarias em todos os sentidos.*

Na verdade: se uma molecula recebesse em um sentido uma pressão maior que no sentido opposto, evidentemente ella, obedecendo á acção da pressão maior, seguiria o sentido d'esta e entraria em movimento, e por conseguinte não haveria equilibrio no liquido.

### Pressões dos liquidos sobre as paredes dos vasos

§ 135. Todo o liquido em equilibrio n'um vaso póde ser considerado como composto de camadas horizontaes sobrepostas, de igual espessura. A superficie livre do liquido recebe só a pressão que provém do peso do ar, as camadas inferiores recebem não só o peso do ar, mas tambem o peso das camadas que lhes ficam superiores, e por conseguinte recebem pressões variaveis; estas pressões estão submettidas ás duas leis seguintes:

*As pressões sobre cada uma das camadas, são proporcionaes ás suas alturas.*

*A pressão é a mesma sobre todos os pontos da mesma camada horizontal.*

§ 136. Como as pressões se transmittem em todos os sentidos e com igual intensidade, podemos dividir as pressões que os liquidos exercem sobre as paredes dos



vasos que os contêm em tres ordens, segundo a sua direcção: 1.º *pressões verticaes de cima para baixo*; 2.º *pressões verticaes de baixo para cima*; 3.º *pressões lateraes*. Estas ultimas pressões consideram-se como normaes á parede.

§ 137. *Pressões verticaes de cima para baixo*. A pressão, exercida por um liquido, em equilibrio, sobre o fundo horizontal de um vaso, é igual ao peso de uma columna vertical do liquido, que tem por base o fundo do vaso e por altura a distancia d'este fundo ao nivel do liquido; segue-se pois, que esta pressão é independente da fórma do vaso, depende só da extensão da parede premida e da altura do liquido, que é a distancia entre o fundo do vaso e a superficie livre do liquido, que é o seu nivel. Chamando por  $P$  esta pressão, por  $s$  a superficie do fundo do vaso, por  $h$  a altura do liquido, por  $d$  a sua densidade e por  $g$  a intensidade de gravidade, teremos

$$P = sh \times dg.$$

Demonstra-se este principio pelo apparelho de Haldat. Este apparelho, fig. 27, compõe-se de um tubo de vidro ABCD duplamente recurvado, formando dois ramos em angulos rectos, AB e CD, tendo o ramo AB uma virola metallica, a que se pódem parafusar successivamente differentes vasos  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , com fórmãs e capacidades differentes, mas de igual fundo e da mesma altura. Para fazer a experiencia enche-se o tubo de mercurio até que o seu nivel atinja a virola do ramo AB; marque-se no ramo CD um ponto  $k$  correspondente ao seu nivel; estes dois niveis devem estar no mesmo plano. Collocando e atarrachando successivamente os differentes vasos  $a$ ,  $b$  e  $c$  no topo do ramo AB e enchendó-os de agua até á mesma altura, indicada por um estilete  $c$ , vê-se, em consequencia da pressão da agua sobre o nivel I, que constitue o fundo dos dif-

ferentes vasos, o mercurio elevar-se no outro ramo CD á mesma altura, que se marca por um anel *o*; o que demonstra que a pressão é a mesma, independente da fórma e capacidade do vaso, e depende só da superficie do seu fundo e da altura do liquido.

§ 138. *Pressões verticaes de baixo para cima.* A pressão exercida por um liquido de baixo para cima, sobre a parede superior de um vaso, *é igual a uma columna do liquido, que tem por base a superficie annular premida, e por altura a distancia d'esta superficie ao nivel do liquido.*

Este facto, comquanto seja a consequencia do principio de egualdade de pressão, demonstra-se pela experiencia seguinte :

Tome-se um cylindro de vidro, A, aberto pelas extremidades; adapte-se á extremidade inferior um disco O, sustentado por um fio C, fig. 28. Mergulhe-se este cylindro n'um vaso cheio de agua, e abandone-se o fio. Vé-se que o disco não cae, fica applicado contra a extremidade do tubo; o que prova que existe uma pressão do liquido debaixo para cima contra o disco, e esta é maior que o seu peso.

Se porém formos deitando agua com cuidado no interior do tubo, observa-se que o disco cae, quando o nivel da agua no tubo coincide com o nivel exterior. Vé-se pois que a pressão do liquido contra o disco era igual ao peso de uma columna liquida que tem por base a superficie premida e por altura a distancia d'esta superficie ao nivel do liquido.

§ 139. *Pressões lateraes.* A pressão, exercida por um liquido sobre a superficie lateral de um vaso, *é igual ao peso de uma columna liquida que tem por base essa superficie e por altura a distancia do seu centro de gravidade á superficie livre do liquido.* O ponto de applicação d'esta pressão chama-se *centro de pressão*, e fica sempre abaixo do centro de gravidade da superficie pre-



mida, visto que as pressões parciaes, que formam a pressão total, augmentam com a profundidade.

A mesma experiencia do § antecedente, feita com um tubo recurvado, cuja abertura inferior seja vertical ou obliqua, demonstra o principio enunciado.

Para provar a existencia das pressões lateraes, colloque-se um cylindro de vidro, cheio de agua, munido de um tubo com torneira sobre um fluctuador, fig. 29. Quando o tubo estiver fechado as duas pequenas superficies, *a* e *a'*, oppostas e de igual extensão, recebem pressões eguaes e contrarias, que são destruidas pela resistencia das paredes; quando se abre a torneira, estas duas forças de acção e reacção exercem o seu effeito; uma faz correr o liquido e a outra faz recuar o cylindro.

O principio de pressões lateraes torna-se evidente pelo *torniquete hydraulico*.

§ 140. *Torniquete hydraulico*. Este instrumento compõe-se de um vaso de vidro, fig. 30, em fórma de peão, movel em torno de um eixo vertical, communicando inferiormente com um tubo horizontal, aberto e recurvado em ambas as extremidades em sentidos contrarios. Enchendo o vaso com agua, este esgota-se pelas duas aberturas do tubo horizontal, imprimindo ao aparelho o movimento de rotação em sentido contrario ao do esgoto. Este movimento é tanto mais rapido quanto maior for a altura do nivel do liquido e a secção dos orificios pelos quaes a agua sahe. A causa d'este movimento são as pressões que o liquido exerce sobre as paredes lateraes, oppostas ás aberturas, e que não são equilibradas.

§ 141. *Paradoxo hydrostatico*. Comparando o peso real do liquido, contido em um vaso, com a pressão que este liquido exerce sobre o fundo do mesmo vaso, achamos que esta pressão é, em alguns casos, maior, egual ou menor que o peso real do liquido, visto que a pressão exercida pelo liquido sobre o fundo do vaso não depende da fórma do vaso, nem da quantidade do liquido n'elle contido,



mas sómente do fundo-do vaso e da altura do nivel do liquido acima do fundo. Na verdade: supponhamos um vaso ABCD, fig. 31, de fôrma rectangular, cheio de agua. Evidentemente este liquido terá um certo peso, que representaremos por P. A pressão que o liquido exerce sobre o fundo CD, será igual ao peso de uma columna liquida que tem por base a superficie do fundo do vaso e por altura a distancia d'este fundo ao nivel do liquido. Chamando  $s$  á superficie do fundo do vaso, e  $h$  á altura d'este fundo á superficie livre do liquido,  $d$  á sua densidade e  $g$  á gravidade, a pressão do liquido será  $sh \times dg$ .

Se porém tirarmos o liquido contido nos compartimentos AEFH e LBGI, evidentemente o peso do liquido contido em EFHCDGIL será menor que o peso do liquido contido no vaso ABCD, quando estava cheio, mas a pressão ficará a mesma; se formos tirando successivamente a agua, conservando uma pequena camada liquida em todo o fundo do vaso e a mesma altura, veremos que o peso real do liquido será cada vez menor, e a pressão ficará sendo a mesma. Este facto na apparencia paradoxal, recebeu o nome de *paradoxo hydrostatico*.

Segue-se, pois, que nos vasos de bocca larga e fundo estreito a pressão sobre o fundo é menor, que o peso do liquido n'elles contido; nos vasos de bocca estreita e de fundo largo a pressão é maior, que o peso do liquido que elles contêm; nos vasos rectangulares de bocca e fundo iguaes a pressão é igual ao peso de todo o liquido.

Uma experiencia bem simples dá uma idéa precisa das altas pressões ás quaes se podem submeter as paredes dos vasos cheios de liquido. Supponhamos uma pipa cheia de agua, fig. 32. Adapte-se verticalmente á sua parte superior um tubo de vidro, muito longo e estreito, por ex. de 5 metros de altura e 2 centimetros quadrados de base e encha-se este tubo de agua; vê-se que a pipa re-

benta, sob a influencia da enorme pressão, que a columna contida no tubo exerce nas suas paredes.

§ 142. Equilibrio dos liquidos heterogeneos contidos em um vaso. Quando se contêm n'um vaso muitos liquidos de diferentes densidades, que não têm entre si acção chimica, nem se misturam; é preciso para que haja equilibrio, *que estes liquidos fiquem sobrepostos pela ordem das suas densidades decrescentes, de baixo para cima; e que as superficies de separação sejam horizontaes.*

Demonstra-se este principio, lançando em um vaso quatro liquidos, mercurio, agua, alcool e azeite; agitando o vaso, os liquidos misturam-se momentaneamente; mas depois de algum tempo de repouso, separam-se em camadas horizontaes sobrepondo-se de baixo para cima pela ordem decrescente das suas densidades: o mais denso, o mercurio vai para o fundo, sobre este fica a agua, sobre esta o alcool, e sobre este o azeite, o mais leve de todos.

### Prensa hydraulica. Vasos communicantes

§ 143. A *prensa hydraulica* é um apparelho que serve para exercer grandes pressões com o auxilio de uma força relativamente muito pequena. Funda-se sobre o principio de egualdade de pressão; póde dizer-se que é a applicação d'este principio.

Vejamos como se podem exercer enormes pressões com o auxilio de uma pequena força.

Supponhamos, fig. 33, dois cylindros, ou, para melhor dizer, dois corpos de bomba, AB e CD, de diametros desiguaes, mas que estão entre si n'uma certa relação, por ex. de 1 para 100; estes cylindros communicam-se por um tubo T; em cada um d'elles move-se o seu respectivo embolo e o apparelho está cheio de agua. Se exercermos por meio de uma alavanca LI uma pressão



de 8 kilogrammas sobre o embolo menor,  $p$ , esta pressão transmittir-se-ha integralmente a toda a massa liquida e a cada porção da superficie do embolo maior  $P$ , egual á superficie do embolo menor; como a superficie do embolo  $P$  é 100 vezes maior que a do embolo  $p$ ; segue-se que o embolo maior receberá, debaixo para cima, uma pressão 100 vezes maior; isto é, receberá a pressão de 8 kilogrammas 100 vezes; quer dizer, que o embolo maior receberá de baixo para cima, uma pressão de 800 kilogrammas.

Posto isso exponhamos os principaes detalhes d'este apparelho.

A prensa hydraulica compõe-se de dois cylindros, ou corpos de bomba,  $A$  e  $D$ , fig. 34, de paredes muito espessas e resistentes, de diametros desiguaes, que têm entre si uma certa relação, e se communicam por um tubo  $T$ , muito forte. Em cada um dos corpos de bomba move-se o seu respectivo embolo,  $P$  e  $p$ .

O embolo  $p$  move-se por meio de uma alavanca  $H$ , de cima para baixo com doce attrito; o embolo  $P$  move-se, sem tocar as paredes do cylindro, de baixo para cima; tem na sua parte superior uma platafórma, onde se collocam os corpos que se pretende comprimir, contra um plano  $N$ , muito forte e resistente, fixo a quatro columnas metallicas. Estes dois cylindros estão munidos de valvulas  $B$  e  $B'$ , e de um reservatorio  $R$ , proprio para tornar a compressão contínua, fornecendo a quantidade de agua necessaria para os encher.

Quando o embolo  $p$  sobe, forma-se o vazio e a agua contida no reservatorio  $R$  é aspirada pelo tubo munido de valvula; a agua entra no corpo de bomba  $D$ , e reflue pelo tubo  $T$  para o corpo de bomba  $A$ . Uma torneira  $k$  serve para esgotar a agua e cessar a compressão.

Para conhecer a pressão, que se póde exercer por meio da prensa hydraulica, é necessario conhecer a relação entre os dois cylindros,  $A$  e  $D$ ; supponhamos que esta



relação é de 1 para 100. Se exercermos sobre o embolo  $p$  uma pressão de 10 kilogrammas, esta pressão transmittindo-se com a mesma intensidade e integralmente a toda a massa liquida e á face interna do embolo  $P$ , será proporcional á superficie comprimida; e como a superficie do embolo  $P$  é 100 vezes maior que a do embolo  $p$ , segue-se que o embolo  $P$  receberá uma pressão, de baixo para cima, 100 vezes maior. Sendo de 10 kilogrammas a pressão exercida sobre o embolo  $p$ , o embolo  $P$  receberá  $100 \times 10$  kilogrammas ou 1000 kilogrammas; pressão enorme comparativamente a 10 kilogrammas.

A prensa hydraulica presta relevantes serviços ás artes e ás industrias. Serve para reduzir a menores volumes os grandes fardos de papel, de pannos, por meio de grandes compressões; serve para a extracção do assucar das beterrabas, e da canna de assucar, de oleos; para separar a oleina da estearina no fabrico das velas; para provas das caldeiras de vapor, finalmente serve para tudo em que são necessarias grandes pressões.

§ 144. Equilibrio dos liquidos em vasos communicantes. No equilibrio dos liquidos em vasos communicantes temos a considerar dois casos; ou estes vasos contêm um só liquido homogeneo, ou contêm liquidos de differentes densidades

1.º CASO. Se os vasos communicantes, de qualquer fórma e grandeza contiverem um liquido homogeneo, a condição de equilibrio d'este liquido é *que os niveis d'este liquido, nos differentes vasos estejam á mesma altura, quer dizer, sobre um mesmo plano horizontal.*

Supponhamos, fig. 35, tres vasos  $A$ ,  $B$  e  $C$ , communicantes, com um liquido homogeneo. Tomemos no tubo de communicacção uma camada liquida  $mn$ ; para que as suas moleculas estejam em equilibrio é preciso que as pressões que ellas supportam sejam iguaes, e para isso é necessario que a superficie livre do liquido tenha a mes ma

altura em cada vaso, para que as pressões sejam iguaes de cada lado.

É sobre este principio que se funda a explicação das fontes, dos repuxos, dos poços artesianos, etc.

2.<sup>o</sup> CASO. Se os vasos communicantes contiverem liquidos de differentes densidades, sem acção chimica, para que haja equilibrio, é preciso *que as alturas das columnas liquidas estejam na razão inversa das suas densidades.*

Sejam, fig. 36, dois vasos communicantes A e B. Deitemos-lhe primeiramente mercurio; evidentemente este liquido ganhará em ambos os vasos o mesmo nivel; depois deitemos no vaso B agua; é claro que o nivel do mercurio em B se abaixará pelo peso da columna da agua, e se elevará no vaso A, até M. Fazendo passar um plano horizontal NO pela superficie de separação da agua e do mercurio, vê-se que a columna mercurial OM equilibra a columna liquida NC. Medindo estas columnas, acha-se, que a columna de agua é treze vezes e meia maior que a do mercurio; isto é, está na razão inversa das suas densidades, visto que a densidade do mercurio é 13,5 e a da agua é 1.

§ 145. *Aplicações.* O principio dos vasos communicantes dá logar a um grande numero de applicações, e dá cabal explicação de alguns phenomenos naturaes.

Sabemos que os liquidos tendem sempre a ganhar o mesmo nivel em vasos communicantes, ou quaesquer outros canaes por onde passem; se a altura de um dos vasos communicantes ou a da abertura de um canal for menor que aquelle d'onde vem o liquido, este tenderá a subir, isto é, repuxará; esta força ascensional aproveita-se para estabelecer repuxos.

*Repuxo.* O repuxo é um jacto vertical de agua, que sae de um tubo em communicação com um reservatorio da agua collocado n'uma certa altura, fig. 37. Este jacto de agua tende a elevar-se á altura do reservatorio; porém, não ganha esta altura, porque a agua durante o trajecto



perde parte da velocidade ou movimento, no canal de conducção e no orificio de sahida; além d'isto a gravidade obra em sentido contrario.

*Poços artezianos.* Dá-se o nome de *poços artezianos* aos furos muito estreitos abertos verticalmente no solo por meio de uma sonda, pelos quaes a agua sobe a uma altura mais ou menos consideravel. O principio dos vasos communicantes explica este phenomeno. As aguas pluviaes e as da fusão das neves, infiltrando-se pelos terrenos moveis e permeaveis, seguem differentes direcções, descendo a grandes profundidades e percorrendo grandes distancias, formam depositos aquosos quando encontram camadas impermeaveis, que obstam á continuacão da infiltração. Se perfurarmos a terra por meio de uma sonda n'um terreno mais baixo que aquelle d'onde a agua proveio, o liquido repuxará pelo orificio da sonda subindo a uma altura quasi igual áquella d'onde proveio.

Os poços artezianos são muito fundos e a agua que elles fornecem têm uma temperatura muito elevada, tanto no verão como no inverno.

O poço de Grenelle em Paris tem 574 metros de profundidade e dá por um minuto 2400 litros de agua a 28°, o de Passy tem 586 e dá muito mais agua.

Os poços tubulares ou de Norton têm a mesma explicação. Na nossa provincia do Alemtejo existe um grande numero de poços tubulares, muitos d'elles destinados ao serviço dos caminhos de ferro.

*Correntes de agua.* Os mares, os rios, as ribeiras e as fontes não são mais que canaes communicantes onde correm as aguas, que tendem incessantemente a ganhar o seu verdadeiro nivel. A origem das fontes e ribeiras funda-se no mesmo principio dos vasos communicantes. As aguas pluviaes, que caem sobre os platós muito elevados, que ficam em communicação com as camadas permeaveis e impermeaveis, correm pelos canaes subterraneos, e sahem pelas aberturas d'estes; se o volume da



agua que sae é muito pequeno então toma o nome de *fonte*, se for grande toma o de *ribeira* ou *rio*.

§ 146. Nível de agua. Este instrumento, fig. 38, compõe-se de um tubo metallico AB, do comprimento de um metro, recurvado perpendicularmente nos seus extremos, aos quaes estão fixos dois tubos de vidro *c* e *d*, muito curtos e sem fundo. Este tubo colloca-se horizontalmente sobre um tripé cujos ramos se podem desviar á vontade.

Este instrumento que é uma applicação do principio dos vasos communicantes, serve para determinar a differença de nivel entre dois pontos.

Supponhamos que queremos determinar a differença de nivel entre dois pontos, *x* e *y* situados no terreno. Colloquem-se n'estes pontos as *miras* M e M', reguas verticaes graduadas, ao longo das quaes se pôde fazer correr um rectangulo de folha metallica, cujo centro é o ponto de *referencia*. Colloque-se entre os pontos *x* e *y* o nivel, deite-se-lhe agua até que suba um pouco além do meio dos tubos de vidro. É claro que as duas superficies livres da agua estarão no mesmo plano horizontal; portanto olhando tangencialmente a ellas determina-se a *linha do nivel* *k k'*.

Dirija-se pelo ponto *k* o raio visual, e faça-se signal ao individuo que acompanha as miras para que leva o ponto de referencia á linha horizontal *k k'*; marque-se a altura indicada pela mira M', e seja esta *h*; dirija-se pelo ponto *k'* o raio visual, repita-se a mesma operação, e seja *h'* a altura marcada pela mira M. A differença destas alturas,  $h-h'$ , chamada *cota*, será a differença do nivel entre *x* e *y*.

§ 147. Nível de bolha de ar. Este instrumento mais sensível que o precedente serve principalmente para verificar a horizontalidade dos planos.

Compõe-se de um tubo de vidro, fechado nos extremos, levemente curvado, cheio de agua, contendo uma bolha de ar, fig. 39. Este tubo está contido dentro de um outro

de metal, com uma abertura elliptica na sua parte média e superior, que deixa ver o movimento da bolha de ar, e assenta sobre uma placa do mesmo metal.

Para conhecer a horizontalidade de um plano, basta assentar o instrumento, depois de estar bem nivellado, em muitas direcções, differentes e não parallelas, e se se reconhecer que a bolha vem collocar-se ao meio do tubo, concluímos que o plano está horizontal.

§ 148. Nivel dos mares. O nivel dos mares não é o mesmo em toda a extensão da sua superficie. A força centrifuga gerada pelo movimento de rotação da terra, as attracções do Sol e da Lua, e as das altas montanhas, fazem com que o nivel dos mares seja mais elevado em algumas partes de que nas outras. Á excepção do mar Caspio, todos os mares communicam entre si; os seus niveis ás mesmas latitudes devem ter sensivelmente a mesma altura. É falso o que se dizia, que o Mediterraneo tinha o nivel mais baixo que o mar Vermelho; estes dois mares têm o mesmo nivel, assim como o Pacifico e o mar das Antilhas. Só o nivel do mar Caspio é mais baixo que o do mar Negro vinte e seis metros.

§ 149. Pressão sobre um corpo mergulhado em um liquido. Um corpo immerso em um liquido recebe em cada ponto da sua superficie pressões perpendiculares que crescem com a profundidade. Estas reduzem-se a pressões horizontaes e verticaes; as primeiras são iguaes e contrarias e por isso equilibram-se; as segundas são desiguaes; como a que actua de baixo para cima na face inferior do corpo, é maior do que a que actua na face superior, segue-se que o corpo tende a ser impellido de baixo para cima por uma pressão igual á differença d'estas pressões.

Supponhamos, para maior simplicidade, um cubo immerso verticalmente no meio da massa liquida, fig. 40. As faces verticaes d'este solido recebem pressões iguaes e contrarias que se destroem. A face horizontal A recebe

uma pressão de cima para baixo menor que a pressão que recebe a face B de baixo para cima, por conseguinte o cubo elevar-se-ha de baixo para cima com um impulso igual á differença das pressões verticaes, a qual differença é igual ao peso de uma columna liquida que tem por base e altura a base e altura do cubo; por conseguinte esta pressão equivale ao peso do volume do liquido deslocado pela immersão do cubo.

Chama-se *impulsão do liquido* o peso do liquido deslocado por um corpo n'elle immerso. *Centro de impulsão* é o centro de gravidade do liquido deslocado.



## CAPITULO IX

**Principio de Archimedes**

§ 150. Principio de Archimedes. *Um corpo mergulhado em um liquido perde uma parte do seu peso igual ao peso do volume do liquido deslocado; o que equivale a dizer, em rigor, um corpo mergulhado em um liquido recebe da parte d'este um pulso vertical de baixo para cima igual ao peso do liquido deslocado.*

Este principio, que tambem se applica aos gazes, serve de base á theoria dos corpos immersos e fluctuantes. Demonstra-se pela experiencia e pelo raciocinio.

DEMONSTRAÇÃO PELA EXPERIENCIA. Tomem-se dois cylindros metallicos, um ôco e outro massiço, C e C'; a capacidade do cylindro ôco C seja precisamente igual ao volume do cylindro massiço C', de modo que este se possa ajustar perfeitamente n'aquelle: suspendem-se estes cylindros, ficando o massiço por baixo do ôco, ao prato da *balança hydrostatica*, fig. 41. Esta balança differe da ordinaria em ter o travessão movel, podendo elevar-se ou abaixar-se por meio de um mecanismo proprio, e terem os pratos na sua parte inferior um gancho para suspender os corpos.

Depois da suspensão dos cylindros ao gancho do prato, ficando o ôco C por cima do massiço C', estabeleça-se o equilibrio collocando no outro pesos padrões. Abaixar-se o travessão até que o cylindro massiço C' mergulhe completamente em um liquido contido n'um vaso. Vê-se que, logo depois da immersão do cylindro massiço, o equilibrio se rompe, e o travessão inclina-se para a parte do prato

que tem os pesos: evidentemente o cylindro massiço perdeu uma parte do seu peso: enchendo o cylindro ôco com o mesmo liquido, observa-se que o travessão volta de novo á posição horizontal, isto é, restabelece-se o equilibrio: o que mostra que o peso perdido pelo cylindro massiço é igual ao peso do liquido que enche o cylindro ôco; portanto é igual ao peso do volume do liquido deslocado pelo cylindro massiço, porisso que o volume d'este é igual á capacidade do cylindro ôco.

A demonstração pelo raciocinio é a mesma que se deu no paragrapho das pressões sobre um corpo mergulhado em um liquido.

§ 151. Determinação do volume de um corpo. O principio de Archimedes permite determinar com precisão o volume de um corpo de fórma qualquer. Para isso suspenda-se o corpo por meio de um fio delgado a um dos pratos da balança hydrostatica, e peze-se no ar, e depois na agua distillada a 4°. A perda do peso é o peso do volume de agua deslocado. Do peso d'esta agua deduz-se o seu volume e por conseguinte o do corpo immerso, que é o mesmo.

Supponhamos que o corpo pesa no ar 135 grammas e na agua 80 grammas; a perda de peso será  $135 - 80 = 55$  grammas, o que mostra que a agua deslocada pesa 55 grammas. Como uma gramma é o peso do um centimetro cubico de agua distillada a 4°; o volume da agua deslocada e por conseguinte o do corpo immerso será 55 centimetros cubicos.

§ 152. Casos na immersão dos corpos. Um corpo immerso em um liquido fica sujeito á acção de duas forças, uma, o seu peso, que actua de cima para baixo, applicada ao seu centro de gravidade; a outra, a impulsão do liquido, que é o peso do liquido deslocado, actuando de baixo para cima, applicada ao centro de impulsão. A posição do corpo immerso depende da relação d'estas forças.



Se o corpo immerso for mais denso que o liquido, isto é, se o peso do corpo for maior que o peso do liquido deslocado, sob o mesmo volume, não póde haver equilibrio, e irá para o fundo do vaso com uma força igual á differença entre o seu peso e a impulsão do liquido.

Se o corpo tiver a mesma densidade, isto é, se o peso do corpo for igual ao peso do liquido deslocado, ficará em equilibrio na massa liquida, não se elevará nem se abaixará.

Se o corpo immerso for menos denso que o liquido, isto é, se o peso do corpo for menor que o peso do liquido deslocado, elle virá á superficie do liquido, de baixo para cima, com uma força igual á differença entre o peso do liquido deslocado e o peso do corpo, e *fluctuará*. Uma parte do corpo elevar-se-ha acima do liquido, até que o peso do liquido deslocado seja igual ao peso do corpo: segue-se pois *que todo o corpo fluctuante desloca um volume de liquido cujo peso é igual ao seu*.

Não devemos pois admirar-nos de que um corpo que fluctua em um liquido vá ao fundo em outro. O chumbo que fluctua no mercurio vai ao fundo na agua. O ovo que fluctua na agua salgada vai ao fundo na agua doce, e fica em equilibrio no meio do liquido composto em partes iguaes de agua salgada e doce.

§ 153. Equilibrio dos corpos immersos e fluctuantes. Para que um corpo immerso ou fluctuante fique em equilibrio é preciso que satisfaça ás duas seguintes condições:

1.<sup>a</sup> CONDIÇÃO: *o peso do corpo deve ser igual ao do volume do liquido deslocado.*

2.<sup>a</sup> CONDIÇÃO: *o centro de gravidade do corpo e o da impulsão devem estar na mesma vertical.*

Se o corpo immerso for homogeneo e o seu peso for igual ao do volume do liquido deslocado, o corpo estará em equilibrio *indifferente*; visto que o seu centro de gravidade coincide com o centro de impulsão em qualquer



posição. Se o corpo não for homogêneo, o equilíbrio ainda terá lugar se o centro de gravidade do corpo e o de impulsão estiverem na mesma vertical; o equilíbrio será *estavel* ou *instavel*, conforme este estiver acima ou abaixo d'aquelle.

Se o corpo for fluctuante, o equilíbrio terá lugar se o centro de gravidade e o de impulsão estiverem na mesma vertical: haverá porém equilíbrio estavel quando o centro de impulsão estiver acima do centro de gravidade; porém o equilíbrio pôde ainda ser estavel quando o centro de gravidade estiver acima do de impulsão, comtanto que esteja abaixo de um ponto chamado *metacentro*.

O conhecimento d'estes pontos é de alta importancia nas construcções dos navios, porque da posição relativa d'elles é que depende a estabilidade. É para tornar estavel o equilibrio dos navios que se emprega o *lastro* no porão.

§ 154. *Ludion*. O *ludion* é um pequeno aparelho que serve para verificar os differentes casos que se dão na immersão dos corpos, fig. 42. Compõe-se de um tubo de vidro quasi cheio de agua, fechado hermeticamente na parte superior por uma membrana, ou por um tubo muni- do do embolo: na agua fluctua uma esphera ôca de vidro contendo ar e alguma agua, e tem na sua parte inferior um orificio; d'esta esphera está suspensa uma figura de porcelana. Fazendo pressão com o dedo na membrana ou no embolo, o ar é comprimido, exerce sobre a agua, uma pressão que, transmittindo-se atravez de todo o liquido obriga a entrar uma parte d'este para dentro da esphera; esta adquire maior peso e desce com a figura para o fundo. Tirando o dedo a agua, que tinha entrado na esphera, sáe, esta fica mais leve e sobe. Assim segundo a pressão exercida superiormente pôde produzir-se a immersão, o equilibrio e a fluctuação da figura suspensa á esphera.

A bexiga natatoria dos peixes produz analogos effeitos. Sobre a *natação* vide zoologia.

## Determinação do peso específico dos corpos

§ 155. Já vimos que o peso específico de um corpo, solido ou liquido, é a relação entre o seu peso relativo sob um certo volume, e o peso de igual volume de agua distillada no seu maximo de densidade. Tambem vimos que o peso específico ou a densidade de um corpo se obtêm dividindo o seu peso pelo peso de igual volume de agua a 4°.

Na medida dos pesos especificos dos solidos e liquidos, toma-se para unidade o peso específico da agua, para os gazes, geralmente, o do ar.

A unidade de peso é o gramma, correspondente á unidade de volume, que é o centimetro cubico de agua distillada no maximo da sua densidade; segue-se pois, que, o numero que exprime o volume de um corpo em metros cubicos é o mesmo numero que exprime em grammas o peso de um igual volume de agua.

§ 156. Para determinar os pesos especificos dos solidos e liquidos temos tres methodos. *Methodo da balança hydrostatica; methodo do frasco e methodo dos areometros;* todos elles consistem em conhecer o peso do corpo e o de igual volume de agua, e dividir aquelle por este, o quociente será o peso específico ou densidade do corpo.

A determinação do peso específico ou da densidade dos corpos, funda-se no seguinte principio: *os pesos especificos ou densidades de dois corpos de volumes iguaes são proporcionaes aos seus pesos.*

§ 157. *Methodo da balança hydrostatica.* Por meio d'esta balança podemos conhecer com extrema facilidade o peso específico dos solidos e liquidos.

1.º *Corpos solidos.* Supponhamos que queremos conhecer a densidade do corpo A. Suspende-se este corpo por um fio a um dos pratos da balança, determina-se o seu peso no ar e seja P, este peso; depois determine-se o seu

peso dentro d'agua, e seja  $p$  este peso;  $P - p$  será o peso do volume d'agua igual ao do corpo; dividindo aquelle por este, temos o peso especifico ou a densidade  $d$  do corpo,

$$d = \frac{P}{P - p}$$

Exemplo. Seja 70 grammas o peso do corpo A no ar, e 60 grammas na agua;  $70 - 60 = 10$  será o peso do volume de agua igual ao do corpo; logo o peso especifico de A será,

$$x = \frac{70}{10} = 7.$$

2.º *Corpos liquidos.* Suspende-se a um dos pratos da balança um corpo solido, uma esphera de vidro, por ex., e estabelece-se o equilibrio por meio de tara. Pese-se esta esphera no liquido cuja densidade se pretende conhecer, e seja  $P$  o seu peso; depois pese-se a mesma esphera em agua distillada e seja  $p$  o seu peso; como estes pesos representam os pesos de volumes eguaes do liquido, e de agua, segue-se que a densidade  $d$  do liquido será,

$$d = \frac{P}{p}$$

Exemplo. Seja 27 grammas o peso de um corpo mergulhado em um liquido, oleo por ex.; e 9 grammas o peso do mesmo corpo mergulhado em agua distillada: a densidade do oleo será,

$$x = \frac{27}{9} = 3$$

§ 158. Methodo do frasco. O frasco que se emprega na determinação das densidades dos corpos solidos



e liquidos é o frasco de *volume constante*, como o representa a fig. 43, tem a bocca larga, que se fecha exactamente com uma rolha esmerillada, ôca, prolongada por um tubo delgado e infundibiliforme.

1.º *Corpos solidos*. Para conhecer por este methodo o peso especifico de um corpo solido A, pese-se este corpo no ar, e seja P o seu peso; encha-se de agua o frasco sem rolha, depois rolhe-se; uma parte da agua sãe pela abertura do tubo e a capacidade interior fica completamente cheia. Pese-se o frasco assim cheio de agua juncto com o corpo, e estabeleça-se o equilibrio por meio de tara. Depois introduza-se o corpo dentro do frasco; é claro que o corpo faz sahir do frasco um volume de agua igual ao seu, e o equilibrio rompe-se; addicione-se o peso necessario para de novo voltar ao equilibrio, e seja  $p$  este peso, que representa o peso de um volume de agua igual ao do corpo; por conseguinte a densidade do corpo A será,

$$d = \frac{P}{p},$$

Exemplo. Seja 40 grammas o peso do corpo no ar e 8 grammas o peso da agua expulsa do frasco; a densidade do corpo será,

$$x = \frac{40}{8} = 5.$$

2.º *Corpos liquidos*. O peso dos liquidos determina-se do modo seguinte. Peze-se o frasco de volume constante cheio do liquido cuja densidade se pretende determinar, e seja P o seu peso; esgote-se este liquido e limpe-se o frasco. Torne-se a pesar este cheio de agua e seja  $p$  o seu peso, a densidade  $d$  do liquido será,

$$d = \frac{P}{p}.$$

Exemplo. Seja 360 grammas o peso do liquido contido no frasco, e 120 grammas o da agua contida no mesmo frasco, a densidade do liquido será

$$x = \frac{360}{120} = 3.$$

### Areometros

§ 159. Os *areometros* são instrumentos fluctuantes destinados a determinar os pesos especificos dos corpos solidos e liquidos, e a indicar as variações das densidades que os liquidos soffrem pela mistura com outros corpos.

Ha duas especies de areometros. *Areometros de volume constante e peso variavel*; e *areometros de volume variavel e peso constante*. Os primeiros servem para determinar as densidades dos solidos e liquidos, e os segundos para indicar as variantes da densidade dos liquidos, quando estes entram em mistura com outros corpos, ou a concentração das dissoluções.

Os areometros, como corpos fluctuantes, immergem tanto mais n'um liquido, quanto menos denso este é.

§ 160. *Areometros de volume constante*. Estes areometros são construidos de tal modo, que, sendo immersos em liquidos diferentes com pesos variaveis, alcançam o mesmo nivel e deslocam sempre um volume constante. São em numero dois: o primeiro é o areometro de Nicholson, que serve para determinar as densidades dos solidos; o segundo é o de Fahrenheit, que serve para os liquidos.

1.º *Areometro de Nicholson*. Este instrumento compõe-se de um cylindro ôco A de latão, terminado por dois cones ôcos, fig. 44. O cone superior tem uma haste que termina por um prato D para receber os pesos. N'esta haste está marcado, n'uma certa altura, um traço O, cha-

mado *ponto de nivelamento*; porque em todas as experiencias o instrumento deve ficar mergulhado até este ponto, para deslocar um volume constante do liquido. O cone inferior tem um gancho, que sustenta um cestinho F, proprio para receber os corpos, e por baixo do cestinho está uma bola B, que serve para lastrar o instrumento, de modo que, ficando elle immerso na agua distillada, se mantenha verticalmente, ficando uma parte dentro da agua.

O areometro de Nicholson é uma balança muito precisa, usa-se na Mineralogia por causa da sua simplicidade e facilidade no emprego.

Vejamus como este aparelho nos póde dar a densidade de um corpo solido. Mergulhe-se este aparelho na agua distillada, colloque-se o corpo K, cuja densidade pretendemos conhecer, sobre o prato D, juncto com os grãos de chumbo necessarios para fazer chegar o areometro ao seu ponto de *nivelamento*. Tire-se o corpo e substitua-se por pesos padrões para o instrumento chegar de novo ao ponto de nivelamento, e seja P o peso dos padrões; este peso P será evidentemente o peso do corpo K, obtido pela dupla pesagem.

Tirem-se os pesos padrões, e colloque-se o corpo K no cestinho; como este corpo está na agua, perde uma parte do seu peso egual ao peso do volume da agua deslocada, e em consequencia d'esta perda de peso do corpo o areometro sobe; ponham-se os pesos precisos para o areometro voltar de novo ao nivelamento, estes pesos representam o peso de um volume de agua igual ao do corpo, e seja  $p$  este peso: logo a densidade do corpo será,

$$d = \frac{P}{p} .$$

Exemplo. Seja, 90 grammas o peso preciso para nivelar o areometro, quando se tira o corpo do prato superior





que com os grãos de chumbo immergeia o areometro até o ponto de nivelamento. Seja 15 grammas o novo peso, necessario para restabelecer o nivelamento, quando o corpo fica dentro do cesto; a densidade do corpo será

$$x = \frac{90}{15} = 6.$$

2.º *Areometro de Fahrenheit.* Este aparelho é inteiramente semelhante ao precedente; a unica differença é que a bola de lastro está fixa. Compõe-se de um cylindro de vidro A, terminado na sua parte inferior por uma bola B, pesante e fixa; a superior tem uma haste muito delgada, terminada por um prato C, para receber pesos: sobre esta haste está marcado o ponto de nivelamento, *l*, fig. 45. Para nos servirmos d'este aparelho pesa-se este para conhecer o seu peso, e seja *K* este peso: depois mergulhe-se successivamente no liquido, cuja densidade pretendemos conhecer, e na agua distillada, collocando em cada immersão sobre o prato os pesos necesarios para chegar ao nivelamento. Sejam *P* e *p* os pesos precisos para chegar o areometro ao nivelamento no liquido e na agua distillada. O peso do volume do liquido deslocado será *K+P*, e o da agua *K+p*; e como estes volumes são iguaes, a densidade do liquido será

$$d = \frac{K+P}{K+p}.$$

Exemplo. Seja 90 grammas o peso do areometro de Fahrenheit; seja 30 grammas o peso necessario para nivelar o instrumento no liquido, cuja densidade se pretende conhecer; e seja 40 grammas o peso para o nivelar na agua, logo o peso dos volumes iguaes do liquido e da agua será 120 e 130 grammas; a densidade do liquido

será,

$$x = \frac{120}{130} = 0,923.$$

§ 161. **Areometro de volume variavel.** Estes instrumentos não têm o ponto de nivelamento fixo e conservam sempre o mesmo peso, servem para indicar as variações das densidades dos liquidos, que entram em mistura com outros, e o gráu de concentração das dissoluções. Compõem-se todos elles de um cylindro de vidro C, ôco, que continúa pelo extremo superior com uma haste AB e lastrado por uma pequena esphera D, contendo mercurio ou chumbo, fig. 46. Os areometros de volume variavel e peso constante, que se empregam mais frequentemente são o areometro de *Baumé* e o areometro *centesimal*; o primeiro tem varios nomes, taes como; *pesa-acidos* ou *pesa-saes*, *pesa-licores*, *pesa-xaropes*, *pesa-leites*, conforme a sua graduação e applicação.

Para fazer uso d'estes instrumentos é necessario gradual-os, para cada liquido cuja densidade relativa se procura, procurando dois pontos, o de maxima e o de minima concentração do liquido, e dividir este intervallo em um certo numero de partes eguaes. Como os liquidos são de diversas especies, podemos subordinar a graduação dos areometros de volume variavel a liquidos mais densos que a agua, e a menos densos que ella.

Supponhamos que os liquidos são mais densos que a agua: A graduação dos areometros consiste em dar-lhes um lastro tal, que na agua pura se mergulhem até o vertice da haste, onde se marca *zero*. Depois mergulham-se n'uma dissolução de sal commum contendo 85 partes de agua e 15 de sal, e marca-se 15 no seu nivelamento; divide-se este intervallo em 15 partes eguaes ou gráus, e continúa-se a divisão abaixo do nivelamento. Os areometros graduados d'esta maneira são os *pesa-saes* e *pesa-xaropes*.

Se os liquidos forem menos densos que a agua, dispõe-se o lastro de modo que em uma dissolução composta de 90 partes de agua e 10 de sal commum, o areometro mergulhe só até ao principio da haste, onde se marca *zero*; depois mergulha-se na agua pura e marca-se 10 no ponto de nivelamento; depois divide-se este intervallo em 10 partes iguaes ou gráus e prolonga-se a divisão até ao vertice da haste. Os areometros assim graduados são os *pesa-licores* ou *pesa-espíritos*.

§ 162. Alcoolometro de Gay-Lussac ou alcoolometro centesimal. Este instrumento tem a mesma fórma dos outros areometros de volume variavel e peso constante, com a differença de ter a haste ou tubo muito comprido e de menor diametro. Serve para avaliar a quantidade de alcool absoluto que contém uma mistura *aquo-alcoolica*.

Gay-Lussac graduou-o do modo seguinte: mergulhou o instrumento no alcool, absoluto e puro, e no ponto correspondente ao nivel marcou 100°, depois mergulhou-o successivamente em misturas compostas de 5, 10, 15, 20... partes de agua e de 95, 90, 85, 80... de alcool absoluto, e nos pontos correspondentes aos respectivos niveis, marcou 95, 90, 85, 80... e dividiu os intervallos entre duas divisões consecutivas em cinco partes eguaes. Em consequencia d'esta divisão tomou o nome de *areometro centesimal*.

Introduzindo este instrumento n'uma mistura de alcool e de agua, se o ponto de nivelamento marcar 38° por ex., é certo que n'esta mistura alcoolica entram 38 de alcool e 62 de agua.

Como as densidades variam com as temperaturas, é preciso attender a estas. O instrumento está graduado para a temperatura de 15°.



## Capillaridade. Endosmose, exosmose

§ 163. A capillaridade é a parte da Physica que estuda os phenomenos *capillares*. Chamam-se *phenomenos capillares* a certos phenomenos que se dão entre os liquidos em contacto com os solidos, principalmente os que se observam entre os liquidos em contacto com os tubos de diametros muito pequenos, isto é, tubos cujos diametros interiores são comparaveis á grossura do cabello.

Estes phenomenos são os seguintes. Se introduzirmos um tubo de vidro de diametro muito pequeno dentro de um liquido que o molha, observa-se que o liquido sobe no interior do tubo a uma altura superior á da superficie externa, e esta altura é tanto maior, quanto mais estreito for o diametro interior do tubo; a superficie terminal do liquido fórma um *menisco concavo*, fig. 47. Se introduzirmos o mesmo tubo em mercurio ou outro liquido que não molhe o vidro, observa-se um phenomeno inverso; o liquido fica no interior do tubo mais baixo que o nivel exterior, e a sua superficie fórma um *menisco convexo*.

§ 164. Os phenomenos capillares, que na apparencia estão em opposição com a lei da egualdade dos niveis, são o resultado das attracções dos solidos sobre os liquidos e das attracções das moleculas d'estes entre si.

Quando os liquidos não molham os solidos, a força de attracção d'estes para os liquidos é maior que a attracção mutua das moleculas liquidas, combinada com a acção da gravidade; quando os liquidos molham os solidos, a força de attracção d'estes é menor que a attracção mutua das moleculas liquidas, combinada com a acção da gravidade. A causa dos phenomenos capillares reside pois na relação que existe entre a attracção dos solidos para os liquidos, e nas attracções mutuas das moleculas liquidas entre si,

§ 165. Leis dos phenomenos capillares. Estas leis são quatro :

1.<sup>a</sup> Quando o liquido molha os tubos, ha ascensão; quando não molha, ha depressão.

2.<sup>a</sup> A ascensão e a depressão dos liquidos nos tubos capillares estão, para cada liquido, na razão inversa dos diametros d'estes tubos.

3.<sup>a</sup> A intensidade da ascensão e da depressão varia com a natureza dos liquidos e com a materia dos tubos; mas é independente da espessura das paredes dos mesmos tubos.

Devemos notar que os phenomenos capillares dão-se quer no vazio, quer no ar comprimido.

§ 166. Effeitos devidos á capillaridade. A capillaridade dá cabal explicação de um certo numero de phenomenos, que quotidianamente observamos. É pela força da capillaridade que o azeite, a cera, a stearina derretidos sobem pelas torcidas dos candieiros e das velas, porque os poros dos tecidos representam tubos capillares. É pela mesma razão que a agua penetra no páu, na esponja, no papel, no torrão de assucar ou de barro quando alguns dos seus pontos ficam em contacto com ella. A ascensão dos liquidos no interior dos animaes e vegetaes é devido á força da capillaridade.

Certos corpos, que vão ao fundo na agua, podem ser fluctuantes por effeito da capillaridade; assim uma agulha de aço, que vai ao fundo na agua, fluctua n'ella sendo revestida de azeite ou de materia gordurosa; porque a agua, não molhando a agulha, fórma em roda d'ella uma depressão tal, que o peso do volume do liquido deslocado vem a ser maior ou igual ao da agulha. É por um effeito analogo que certos insectos correm sobre a superficie da agua sem se molharem.

Os jardineiros tiram um grande partido dos effeitos da capillaridade, trazendo agua de distancia para regar as plantas.



§ 167. *Endosmose e exosmose.* As correntes que se estabelecem em sentidos contrarios do exterior para o interior, e do interior para o exterior, entre dois liquidos de densidades differentes, misturaveis, separados por uma membrana organica, tem o nome de *endosmose*, corrente para dentro, e *exosmose*, corrente para fóra; denominações que Dutrochet, descobridor d'este phenomeno, lhe deu. Estuda-se este phenomeno n'um apparelho chamado *endosmometro*. Compõe-se este de uma bolsa membranosa, por ex. uma bexiga A, fig. 48, munida de um tubo de vidro T, que lhe fica ligado hermeticamente por meio de uma ligadura. Enchendo esta bolsa de um liquido, como por ex. de agua assucarada, gommada ou albuminosa, se a mergulharmos n'um vaso cheio de agua pura, observa-se que o nivel do liquido no tubo se eleva pouco a pouco, e o do vaso exterior se abaixa; d'onde se conclue que uma parte da agua pura, atravessando a bolsa membranosa, penetrou no interior do tubo e misturou-se com o liquido n'elle contido; depois de um lapso de tempo mais ou menos longo, a agua do vaso não conserva a sua pureza, contém uma parte da substancia que se continha no liquido da bolsa, como o assucar, a gomma e a albumina que estava em dissolução.

Vê-se pois evidentemente que se estabeleceu uma dupla corrente, uma do exterior para o interior, do liquido menos denso para o mais denso; a outra do interior para o exterior, do liquido mais denso para o menos denso; a primeira é mais intensa que a segunda. A troca dos liquidos da bolsa e do vaso produz um phenomeno identico, o liquido em vez de se elevar no tubo se abaixa, enquanto o do vaso exterior se eleva.

§ 168. *Osmose.* Dá-se o nome de *osmose* á força que produz a endosmose e a exosmose. A intensidade da força osmosica varia segundo a natureza das substancias em dissolução; entre as substancias organicas o assucar e a albumina possuem-na em subido gráu; o alcool e os



etheres fazem excepção relativamente á agua. A causa da osmose está até ao presente desconhecida, a pesar de muitas hypotheses propostas para explicar o phenomeno.

Muitos phenomenos da physiologia animal e vegetal, principalmente os de absorpção e de nutrição, têm a sua explicação na endosmose e exosmose.

§ 169. Diffusão e dialyse. Chama-se *diffusão* a mistura intima de dois liquidos differentes justa-postos, ainda mesmo que o mais denso esteja na parte inferior. Observa-se a diffusão entre os liquidos, entre os gazes e entre estes e aquelles. A diffusão tem por causa a attracção molecular.

*Dialyse*. A dialyse é uma operação que tem por fim separar as substancias misturadas n'uma dissolução. O apparelho que se emprega n'esta operação denomina-se *dialysador*; é uma especie de peneiro de vidro fechado por uma membrana porosa e se assenta sobre um vaso maior contendo agua distillada. Deitando no peneiro uma dissolução contendo uma mistura de certas substancias, aquellas que têm maior poder diffusivo atravessam a membrana mais depressa e concentram-se na agua. É por este meio que se purifica o melaço e varios liquidos.

---

## CAPITULO X

**Pneumostatica**

§ 170. A *Pneumostatica* estuda as leis do equilibrio dos gazes, e as pressões que estes exercem sobre os corpos que estão em contacto com elles.

Os gazes são eminentemente compressiveis e elasticos; as suas moleculas escorregam umas sobre as outras com mais facilidade do que as dos liquidos: podemos portanto consideral-os como formados de moleculas isoladas, mantidas em distancias eguaes, e podendo approximar-se ou afastar-se pelo augmento ou diminuição da pressão exterior, ou repellir-se mutua e egualmente em todos os sentidos, reagindo sobre as paredes dos vasos que os contêm, como as moleculas dos liquidos; segue-se pois que a constituição dos gazes e dos liquidos, por suas numerosas analogias, é a mesma e as suas propriedades geraes são identicas. Da identidade da constituição d'estas duas especies de corpos decorrem para os gazes as mesmas propriedades e as mesmas consequencias que nos liquidos.

§ 171. O que distingue estas duas classes de corpos é que as moleculas dos gazes são privadas de cohesão e estão n'um estado permanente de repulsão, que tende a separal-as umas das outras. Nos liquidos não existe este estado de repulsão, de modo que um liquido, tomando a fôrma do vaso que o contém, não occupa necessariamente a totalidade da capacidade do vaso. Se vasarmos meio litro de um liquido em um vaso de capacidade de um litro, só a metade d'este fica occupado pelo liquido: se porém deitarmos no mesmo vaso meio litro de ar, este não só encherá toda a capacidade do vaso, mas até tenderá

a augmentar constantemente o seu volume; esta tendencia traduz-se pela força exercida pelo ar sobre as paredes do vaso, força, que se designa em physica pelo nome de *pressão ou força elastica do gaz*.

§ 172. **Gazes permanentes e não permanentes.** Chamavam-se, outr'ora, *gazes permanentes* os que permaneciam sempre no estado gazoso, e que não se tinham podido passar ao estado liquido, quer pela pressão, quer pelo abaixamento de temperatura, como era por ex.: o oxigenio, o hydrogenio, o azote; *não permanentes* os que podiam passar ao estado liquido e mesmo ao solido pelos mesmos meios; como por ex.: o acido carbonico, o acido sulphurico. Esta permanencia no estado gazoso era talvez devida á insufficiencia das pressões e do resfriamento, ás quaes se podiam submeter. Hoje todos os gazes liquefazem-se.

§ 173. **Tensão ou força elastica dos gazes.** Uma massa gazosa tende, em virtude da sua expansibilidade, a occupar o espaço que se lhe offerece, por maior que seja; por conseguinte os gazes não têm fórmãs proprias, tomam as das capacidades que os contêm, e porisso premem de dentro para fóra as paredes com uma força mais ou menos grande; esta força denomina-se *tensão ou força elastica dos gazes*. Para pôr em evidencia esta força basta a seguinte experiencia. Tome-se uma bexiga, completamente fechada, com uma pequena porção de ar ou de qualquer gaz no seu interior, fig. 49, colloque-se esta dentro do recipiente da machina pneumática; desde que se começa a fazer o vazio ou a rarefazer o ar, vê-se a bexiga dilatar-se cada vez mais á medida que diminue a pressão do ar do recipiente que no principio era igual á da atmosphaera. Deixando entrar o ar para o recipiente, a bexiga retoma o seu primitivo volume.

Os gazes apezar da sua expansibilidade têm peso, e por isso exercem duas especies de pressões, uma devida á gravidade e a outra á sua expansibilidade,



## Atmosfera. Pressão do ar

§ 174. A *atmosfera*, esphera de vapores, é um involucro gazoso de ar que cerca a terra e a acompanha em todos os seus movimentos. É constituída principalmente pela mistura dos dois gazes, oxigenio e azote, contendo pequenissimas porções de acido carbonico, uma quantidade variavel de vapor aquoso e traços de outros gazes. Compõe-se, segundo a analyse volumetrica, de 20,8 de oxigenio, 79,2 de azote, 3 a 6 decimas millesimas de acido carbonico, e 6 a 9 decimas millesimas de vapor da agua, quantidade variavel dependente da temperatura, do clima e da direcção dos ventos. O *ar* é o gaz resultante da mistura de todos estes gazes, tendo em suspensão diferentes principios volateis que emittem differentes corpos existentes á superficie da terra.

A *atmosfera* é limitada: ainda que á primeira vista pareça que as suas moleculas, em virtude da sua expansibilidade, devem espalhar-se indefinidamente nos espaços planetarios; comtudo, se a imaginarmos dividida em camadas horizontaes, evidentemente as superiores serão tanto mais rarefeitas, quanto mais altas estiverem; por conseguinte a força expansiva das moleculas aereas deve decrescer cada vez mais, á medida que a altura for maior; além d'isto deve ser muito fraca para a baixa temperatura das altas regiões da *atmosfera*. Deve pois existir uma região, onde se estabelece o equilibrio entre a força expansiva das moleculas do ar e a acção da gravidade, que as solícita para o centro da terra. A camada *atmosphérica*, cujas moleculas satisfizerem a esta condição, será a *camada limite* da *atmosfera*.

A altura da *atmosfera* ainda não está bem determinada. Alguns physicos, fundando-se nas observações me-

teorologicas e crepusculares e no decrescimento da densidade do ar, acharam que a sua altura era de 50 a 60 kilometros; outros, tendo por base o theorema de Lambert sobre as duplas refrações, obtiveram que a altura da atmosphaera era de 340 kilometros.

A notavel differença entre estas duas avaliações mostra que a determinação da altura atmospherica é uma questão problematica.

§ 175. Pressão do ar. A pressão do ar ou a pressão atmospherica é a consequencia da gravidade do ar. O ar tem peso; se pesarmos primeiramente um balão de vidro vazio e depois cheio de ar, achamos que o primeiro peso é menor do que o segundo; se pesarmos um balão cheio de ar ordinario, e depois de ar comprimido, tambem achamos que no primeiro caso o peso é menor que no segundo. Tem-se determinado que um litro de ar puro á temperatura de 0° e sob a pressão atmospherica de 0,76 pesa aproximadamente 1<sup>gr</sup>,3.

A pressão atmospherica, como nos liquidos, exerce-se em todos os sentidos, e transmite-se com igual intensidade sobre uma superficie plana em qualquer posição. Ella póde ser de cima para baixo, de baixo para cima, lateral e em todos os sentidos.

§ 176. Experiencias demonstrativas da existencia da pressão atmospherica. Muitas são as experiencias que demonstram a existencia da pressão do ar; exporemos só a do *rebenta-bexiga*, a dos *hemispherios de Magdebourg* e a da *garrafa*.

1.<sup>a</sup> *Rebenta-bexiga*. Este aparelho compõe-se de uma manga de vidro, hermeticamente tapada na parte superior com uma bexiga bem tensa, e assente pela sua parte inferior sobre a platina da machina pneumatica, fig. 50. Ao passo que se vai extrahindo o ar, a bexiga vai-se deprimindo sob a pressão do ar que supporta, até que, não podendo com mais peso, se rompe com grande estrondo.



Antes da extracção do ar do interior da manga, a pressão exterior do ar de cima para baixo sobre a bexiga era contrabalançada pela do ar interior de baixo para cima, e por isso a bexiga conservava toda a sua tensão; porém, diminuindo a pressão interior á medida que se vai rarefazendo o ar, a exterior não póde ser equilibrada, e a bexiga rompe-se por não poder supportar um enorme peso. O estrondo que se sente no acto da rotura é devido á rapida entrada do ar dentro da manga.

2.<sup>a</sup> *Hemispherios de Magdebourg*. Este aparelho serve para demonstrar a pressão do ar em todos os sentidos. Compõe-se de dois hemispherios de cobre, ôcos, de bordos planos, que se podem applicar exactamente um sobre outro, fig. 51. Um d'estes está munido de um tubo com torneira, que se póde ajustar á machina pneumática; o outro termina por um anel. Estes hemispherios, postos em contacto pelos seus bordos, separam-se facilmente emquanto tiverem ar; mas, logo que se faça o vazio, é necessario um enorme esforço, e sempre o mesmo em qualquer dos sentidos, para que se opere a separação, porque é necessario vencer a enorme pressão do ar que se exerce em todos os sentidos e que comprime fortemente os hemispherios um contra outro. Nas experiencias de Magdebourg vinte cavallos foram insufficientes para effectuar a separação.

3.<sup>a</sup> *Experiencia da garrafa*. Se enchermos de agua uma garrafa até os bordos, e applicarmos com precaução uma folha de papel sobre a superficie do liquido e a virarmos de bocca para baixo, a agua não cae, porque a pressão, exercida pelo ar exterior de baixo para cima sobre o papel, e portanto sobre a agua, não o permite.

§ 177. Demonstradá a existencia da pressão atmospherica, é facil dar a razão da ascensão da agua ou de qualquer outro liquido nos tubos privados de ar, quando estão n'elle immersos; mas a altura da ascensão liquida não é illimitada; o liquido eleva-se n'um tubo, onde o



ar é aspirado, até o momento em que o peso da columna liquida elevada faz equilibrio á pressão atmospherica, que se exerce sobre a superficie exterior do liquido, contido no reservatorio em que se mergulha o tubo.

§ 178. **Experiencia de Torricelli.** A experiencia de Torricelli teve por fim medir o peso ou a pressão atmospherica. Tome-se um tubo de vidro CD de  $0^m,85$  de comprimento, fechado por um dos seus extremos e aberto no outro: encha-se de mercurio completamente, de modo que não fique ar dentro; tape-se com o dedo a extremidade aberta e inverta-se o tubo; mergulhe-se a extremidade tapada dentro de uma cuba cheia de mercurio, e tire-se o dedo que fechava a extremidade aberta, fig. 52; observa-se que a columna mercurial se abaixa pouco a pouco e conserva uma altura AB de  $0^m,76$ . Não havendo ar dentro do tubo, é claro que o peso da columna de mercurio equilibra a pressão do ar exercida sobre o nivel exterior do mercurio contido na cuba, isto é, a pressão atmospherica no nivel do mercurio da cuba sustenta a columna mercurial AB no interior do tubo; d'onde se conclue que a pressão atmospherica equivale ao peso de uma columna de mercurio que tem  $0^m,76$  de altura. Se o peso da atmosphaera augmentasse ou diminuísse, a columna mercurial seria maior ou menor.

D'esta experiencia conclue-se que a pressão exercida por uma columna de ar da altura da atmosphaera e de uma certa base, é igual ao peso de uma columna de mercurio da mesma base e de  $0^m,76$  de altura.

Se a base for um centimetro quadrado, o peso da columna mercurial será  $1^k,033$ ; tal é a *pressão atmospherica*, que é o peso de um cylindro de ar que tem por altura a da atmosphaera e por base um centimetro quadrado.

Se a base for um decimetro quadrado, a pressão será  $103^k,3$ ; se for um metro quadrado, a pressão será  $10330$  kilogrammas.

Nas applicações despreza-se a fracção e considera-se a pressão atmospherica igual a um kilogramma. Se a experiencia de Torricelli fosse feita com agua em lugar de mercurio, a altura da columna de agua, capaz de equilibrar a pressão do ar, seria  $10^m,336$ , visto que a densidade da agua é 13,6 vezes menor que a do mercurio.

§ 179. *Unidade atmospherica.* Na medida das pressões ou da força elastica dos gazes é necessario um termo de comparação. Este termo é a *unidade atmospherica*, que é o peso de um cylindro de ar da altura da atmospherica e da base de um centimetro quadrado, cujo valor é  $1^k,033$ : assim, quando se diz que a pressão é de seis atmosphericas, quer dizer que exerce por centimetro quadrado uma pressão de  $6 \times 1^k,033 = 6^k,198$ .

§ 180. *Pressão do ar sobre o corpo humano.* A superficie do corpo humano de mediana estatura é approximadamente de 17500 centimetros quadrados, por conseguinte recebe uma pressão de 17500 kilogrammas. Apesar d'esta enorme pressão, capaz de nos esmagar, não sentimos o seu peso, nem nos causa embaraços nos nossos movimentos; é porque esta pressão está equilibrada pelos fluidos contidos nas cavidades do corpo humano; é por identico motivo que uma meza não se parte com a pressão do ar, porque é contrabalançada pelas pressões que recebe em sentido contrario.

§ 181. *Applicações da pressão atmospherica.* As principaes applicações da pressão atmospherica são a *pipeta*, a *bomba das adegas*, o *funil magico*, a *tina-hydro-pneumatica*, etc.

*Pipeta.* A pipeta é um tubo de vidro muito adelgado n'uma extremidade e largo na outra; emprega-se quando queremos aproveitar algumas gottas de um liquido perigoso. Introduz-se este instrumento pela extremidade adelgada no liquido, e depois de estar quasi cheio, tapa-se com o dedo a outra extremidade, e tira-se do liquido para fóra. Em virtude da pressão atmospherica o liquido não



cae; porém levantando um pouco o dedo sae uma gotta; de modo que, abrindo e fechando rapidamente a abertura superior do tubo, fazem-se sahir pela abertura inferior as gottas do liquido que quizermos.

*Bomba das adegas.* Esta bomba é quasi analoga á pipeta e é fundada nos mesmos principios; é um tubo com um orificio muito estreito na parte inferior e outro maior na superior; introduz-se pelo lado do orificio estreito dentro dos toneis, para tirar amostras de vinho.

*Funil magico.* Este funil tem um só tubo, crivado de orificios capillares no seu extremo, com dois involucros conicos, que fazem sequencia ao tubo, comprehendendo um espaço, que communica com o ar exterior por um orificio aberto na aza. Introduz-se agua no espaço comprehendido entre os dois involucros, e tapa-se o orificio da aza com o dedo; a agua não sae, mas levantando o dedo a agua escapa pelos orificios capillares, que parecia não conter liquido algum.

*Tina-hydro-pneumatica.* Este apparelho compõe-se de uma tina com agua, onde se collocam frascos cheios de agua com a bocca para baixo, que devem recolher os gazes que se desenvolvem em uma retorta. Á extremidade do collo d'esta está adaptado um tubo abductor, recurvado, cujo extremo livre se abre dentro do frasco. Quando o gaz tiver uma força elastica superior á pressão atmospherica, expulsa a agua contida no frasco e occupa a parte superior d'este até se encher.

## Barometros

§ 182. Barometros. Os *barometros* são instrumentos destinados a medir a pressão atmospherica. Esta pôde ser medida pelo peso de uma columna de mercurio ou pela elasticidade de molas metallicas. D'aqui nascem as duas



especies de barometros: *barometros de mercurio* e *barometros metallicos*.

Os barometros de mercurio podem ser de *cuba* ou *tina* e de *syphão*. Os barometros de cuba ou tina são o barometro de *cuba ordinaria* ou de *Torricelli* e o de *Fortin*; os de syphão são o barometro de *Gay-Lussac* e o barometro de *quadrante* ou de *mostrador*. Os barometros metallicos são o barometro *metallico de Pourdon* e o barometro *aneroide*.

Além d'estes barometros, geralmente conhecidos, ha um novo barometro de Negretti e Zambra, chamado *barometro chimico*, que accusa e prevê as alterações do tempo, particularmente as chuvas, os ventos fortes, as tempestades, os furacões, etc.

§ 183. *Barometro de cuba ordinaria*. Este instrumento, fig. 53, consiste essencialmente em um tubo de vidro de 85 a 90 centimetros de comprido, fechado superiormente, contendo mercurio; a extremidade inferior está mergulhada n'uma cuba tambem cheia de mercurio. O tubo e a cuba estão ligados a uma prancha de madeira, sobre a qual está marcada a escala de centimetros e milimetros, munida d'um nonio. O zero da escala corresponde ao nivel do mercurio na cuba, o qual varia com a pressão atmospherica; para evitar os erros que d'aqui resultariam basta empregar uma cuba ou tina bastante larga.

O tubo barometrico, que occupa a posição vertical, não está cheio de mercurio; o espaço vazio que fica na parte superior do tubo, acima do nivel do mercurio, chama-se *camara barometrica*; a differença de nivel entre as superficies do mercurio na cuba e no tubo, ou, para melhor dizer, a distancia vertical comprehendida entre os dois niveis do mercurio na cuba e no tubo, chama-se *altura barometrica*.

§ 184. *Construcção do barometro*. Para que o barometro seja um instrumento perfeito e indique a verdadeira pressão atmospherica, representada pela columna

barometrica, deve satisfazer ás seguintes condições: 1.<sup>a</sup> que a camara barometrica seja um vazio perfeito, porque qualquer porção de ar ou vapor aquoso n'este espaço impediria, em virtude da sua força elastica, a elevação da columna mercurial, e por conseguinte não indicaria o verdadeiro ponto do seu nivel; 2.<sup>a</sup> é preciso que o mercurio seja perfeitamente puro, para que tenha a sua exacta densidade; 3.<sup>a</sup> que quando a columna barometrica sobe ou desce no interior do tubo, a superficie exterior do mercurio na cuba se abaixe ou se eleve, para que, em cada momento, se tenha a verdadeira altura do barometro. Para obter estas condições é necessario attender muito á sua construcção.

Faz-se esta operação em muitos tempos. Enche-se o tubo de mercurio até 20 centimetros, leva-se, inclinando-o, sobre carvões accesos; aquece-se o tubo em toda a extensão abaixo do nivel, até que o mercurio entre em ebullicão. Enche-se de novo com igual porção de mercurio, depois de ter deixado resfriar o tubo, torne-se a levar o mercurio á ebullicão, e continue-se a operação até que o tubo fique completamente cheio. Tape-se com o dedo a abertura e vire-se o tubo; mergulhe-se a extremidade tapada n'uma cuba cheia de mercurio, secco pela ebullicão, e tire-se o dedo; o mercurio desce e, depois de algumas oscillações, fica estacionario á altura de 76 centimetros acima do nivel exterior.

O ar e a humidade são expulsos pela ebullicão do mercurio, e obtem-se um vazio completo na camara barometrica.

Apesar de preenchidas estas condições, ha em geral duas correccões a fazer, para ter a verdadeira altura barometrica, uma é relativa á *temperatura* e a outra á *capillaridade*.

§ 185. Barometro de Fortin ou de fundo movel. Este barometro differe do de cuba ordinaria pela disposição do fundo da cuba, que é de camurça ou de pelle



de gamo AB, fig. 54, movel em consequencia de um parafuso C, que se apoia na sua face inferior, e que póde fazer elevar ou abaixar o fundo da cuba á vontade; de modo que em todas as observações podemos conseguir que o nivel na cuba seja constante. Este nivel é indicado pela ponta de um indicador de marfim F, fixo na parte superior da cuba, á extremidade do qual corresponde o zero da escala. Quando se quer observar a altura barometrica, eleva-se ou abaixa-se o fundo da cuba até que o nivel do mercurio seja tangente á extremidade da ponta do indicador de marfim. A altura barometrica indicada por este instrumento é de todo o rigor.

O tubo e a cuba estão abrigados por um involucro metallico com fendas que permittem ver o nivel do mercurio no tubo e na cuba; n'este involucro está traçada a escala com o respectivo nonio.

§ 186. Barometro de Gay-Lussac. Este barometro é de syphão; compõe-se de dois ramos desiguaes AB e CD de diâmetros eguaes, unidos entre si por um tubo capillar recurvado, fig. 55. O ramo maior AB é fechado na sua parte superior e tem a *camara barometrica*; o ramo menor é fechado superiormente, tendo uma abertura lateral conica muito estreita em o, por onde entra o ar exterior, para exercer a pressão sobre o mercurio: o tubo capillar é destinado a impedir a entrada do ar na camara barometrica, quando se volta o instrumento.

A altura da columna mercurial que faz equilibrio á pressão atmospherica é a distancia vertical dos dois niveis. Mede-se esta altura pelo auxilio de uma dupla escala, com os seus nonios, cujo zero é commum e fica ao meio, uma sobe e a outra desce. Evidentemente a altura barometrica é igual á somma das leituras feitas nas escalas correspondentes aos dois niveis do mercurio nos dois ramos.

Mr. Buten aperfeiçoou este instrumento, dando-lhe uma engenhosa disposição; adelgaçou a parte inferior do ramo



maior, e soldou-o a um reservatorio, ao qual ligou o tubo capillar; com esta disposição, ainda que entre alguma bolha de ar, não passa á camara barometrica; fica na parte superior do reservatorio em torno da parte adelgada.

O barometro de Gay-Lussac, apesar de simples, portatil, exacto e sem precisar da correcção da capillaridade, tem comtudo a sua fragilidade, e a impossibilidade de substituir o tubo em viagem, porque as soldaduras requerem um artista exercitado e uma lampada de esmaltador, e além d'isso tem menos sensibilidade que o barometro de nivel constante, o que tem decidido os viajantes em favor do barometro de nivel constante.

§ 187. Barometro de quadrante ou de mostrador. Este instrumento é um barometro de syphão ordinario, fig. 56, cujos dois ramos têm o mesmo diametro. O ramo menor A, que é aberto, tem um fluctuador, que repousa sobre o mercurio e ségue os movimentos do seu nivel. Este fluctuador está preso a um fio, que, enrolando-se ao collo de uma roldana B, muito movel, sustenta pela outra extremidade um pequeno contra-peso C, mais leve que o fluctuador. Ao eixo da roldana está fixa uma agulha, que segue todos os movimentos e percorre todas as divisões do quadrante; collocado entre a agulha e a roldana, este occulta o tubo barometrico e o mecanismo de que fallámos. Quando o barometro sobe, o mercurio abaixa-se no ramo menor, e o fluctuador, pelo seu peso, faz elevar o contra-peso; n'este movimento a roldana e a agulha gyram da esquerda para a direita; quando o barometro desce, o contra-peso desce e a agulha gyra da direita para a esquerda. Sobre o quadrante E estão escriptas as palavras *bom tempo, variavel, chuva, etc.*, que correspondem a diversas alturas barometricas, que a agulha indica. As indicações d'este barometro são pouco exactas.

§ 188. Causas de erro nas observações barometricas. A indicações dadas pelos barometros de mer-

curio estão sujeitas a duas causas de erro: uma relativa á *temperatura* e a outra á *capillaridade*. As variações da temperatura, dilatando ou condensando o mercurio, tornam a columna barometrica, para uma dada pressão, maior ou menor, e por conseguinte não póde indicar a verdadeira altura. A acção capillar abaixa sempre o mercurio n'uma quantidade tanto maior, quanto menor for o diametro do tubo. É necessario pois corrigir estas duas causas de erro.

*Correcção relativa á temperatura.* Para obtermos a verdadeira altura barometrica apesar das variações da temperatura, convencionou-se referir todas as observações á temperatura *zero*, o que se consegue pela seguinte correcção:

Seja  $H$  a altura do barometro á temperatura  $t^\circ$ , e  $x$  a altura que teria o barometro, sob a mesma pressão, a temperatura  $0^\circ$ ; sejam  $d$  e  $D$  as densidades do mercurio a  $0^\circ$  e  $t^\circ$ .

Como as alturas, que medem as pressões, estão na razão inversa das suas densidades, temos

$$H : x :: d : D.$$

As densidades estão na razão inversa dos volumes de uma mesma massa. Se designarmos por  $a$  o augmento da unidade de volume, quando passa de  $0^\circ$  a  $1^\circ$ , o augmento da unidade de volume a  $t^\circ$ , será  $1 + at$ ; por tanto teremos,

$$d : D :: 1 + at : 1$$

ou

$$H : x :: 1 + at : 1$$

logo

$$x = \frac{H}{1 + at} = H - H \frac{at}{1 + at}$$

como a quantidade  $a$  é igual a  $\frac{1}{5550}$ , temos

$$x = H - \frac{Ht}{5550 + t}$$

*Correcção relativa á capillaridade.* A força capillar deprime a columna mercurial; o erro que provém d'esta depressão é tanto maior, quanto menor for o diametro do tubo. Para corrigir os resultados observados basta addicionar-lhes a quantidade de mercurio deprimida. Têm-se construido taboas proprias, que dão as depressões capillares nos tubos de differentes diametros. No barometro de Gay-Lussac o erro relativo á capillaridade fica naturalmente destruido, porque as depressões capillares nos dois ramos se compensam exactamente.

§ 189. **Barometro metallico de Bourdon.** Este barometro, fig. 57, compõe-se de um tubo de latão TT' de paredes delgadas, sem ar, curvado em arco de circulo, fixo pelo meio A no interior de uma caixa. Os extremos d'este tubo são hermeticamente fechados e articulam-se por meio de duas pequenas bielles  $b$  e  $b'$  com um sector, movel em  $o$ , cujo arco dentado engrena com o carrete P; ao eixo d'este está fixa uma agulha movel sobre o quadrante graduado.

Como o tubo é vazio e hermeticamente fechado, a pressão atmospherica equilibra a elasticidade das paredes do tubo. Se a pressão augmenta, o tubo curva-se mais, as suas extremidades approximam-se e a agulha gyra da esquerda para a direita; se a pressão diminue, as extremidades do tubo afastam-se e a agulha gyra da direita para a esquerda.

Gradúa-se este instrumento pela comparação com um barometro de mercurio. Este barometro é muito exacto, sensivel e portatil, mas susceptivel de frequentes desarranjos.



§ 190. **Barometro aneroides.** Este barometro é analogo ao precedente emquanto ao principio. Compõe-se de uma caixa de cobre, de paredes muito delgadas, onde fez o vazio, e a base inferior é cannelada. As duas faces, superior e inferior, são mantidas a uma certa distancia por uma mola. Gradúa-se a força elastica d'esta mola por meio de um parafuso, que permite enrolal-a mais ou menos. Quando a pressão augmenta, as bases da caixa approximam-se, quando diminue, afastam-se; os movimentos da face superior são transmittidos á agulha por um systema de alavancas. Gradúa-se este barometro comparando-o com o barometro de mercurio.

§ 191. **Variações barometricas.** A observação mostra que a columna barometrica varia continuamente no mesmo logar entre certos limites. As variações barometricas não são as mesmas em toda a parte; nullas na crista das altas montanhas e nas regiões equatoriaes, vem a ser cada vez maiores á medida que se avança para os polos, onde attingem a sua maxima amplitude. As maiores variações no equador são de 6 millimetros, no tropico de Cancer de 30 millimetros, em Paris de 50 millimetros. Estas variações são muito lentas, a média d'ella é sensivelmente a mesma, quer se observe de segundo em segundo, de minuto em minuto, ou de hora em hora.

Chama-se *media do dia* o quociente que resulta da divisão da somma das vinte e quatro observações, feitas de hora em hora, por 24. Mr. Ramond deduziu por numerosas experiencias que uma só observação feita ao meio dia dá sensivelmente nos nossos climas a media do dia. A *media do mez* é o quociente da somma das medias dos trinta dias, dividida por 30. A media de um anno é o quociente da somma das medias dos doze mezes, dividida por 12.

As variações barometricas são de duas especies: variações *irregulares* ou *accidentaes*, e variações *regulares* ou *periodicas*; as primeiras não seguem lei alguma co-

nhecida; as segundas, que tambem se denominam variações *diurnas* ou *horarias*, observam-se dentro de um intervallo de um dia, e parecem depender da marcha do sol. No equador observam-se facilmente, mas nas outras latitudes confundem-se com as variações accidentaes.

As variações diurnas apresentam cada dia dois *maximos* e dois *minimos*; os dois maximos são ás 9 horas da manhã e ás 11 horas da noite; os dois minimos ás 4 horas da tarde e 5 horas de manhã. A regularidade d'estas variações é perfeita e a sua amplitude não excede a 2 millimetros.

§ 192. Medida das alturas por meio do barometro. A pressão atmospherica diminue ao passo que se eleva na atmosphaera, porque a altura da columna do ar vem a ser cada vez menor; e tem-se observado que quando se sobe com o barometro a altas montanhas, a columna mercurial desce gradualmente no tubo barometrico. Se conhecermos a relação que existe entre a altura vertical de um logar e o abaixamento da columna barometrica, é facil determinar toda e qualquer altura de um logar a cima do nivel do mar. Sabendo que a densidade do mercurio é 10464 maior que a do ar, suppondo que a densidade da atmosphaera é uniforme, até o limite superior; cada depressão de um millimetro da columna barometrica corresponde a 10<sup>m</sup>,464; logo para saber a altura vertical de um logar basta multiplicar 10,464 pelo numero de millimetros que a depressão da columna barometrica tiver indicado, sendo transportado o barometro a este lugar. Mas como a densidade da atmosphaera vai decrescendo rapidamente nas altas regiões, a medida das alturas pelo barometro repousa sobre fórmulas analyticas muito complicadas, que não podemos expor. Existem porém taboas que indicam as alturas acima do nivel do mar, pelas alturas barometricas e temperaturas correspondentes.



§ 193. Usos do barometro. O barometro é necessario em um grande numero de experiencias em que é indispensavel conhecer o valor da pressão atmospherica; para as observações meteorologicas; para medir a differença do nivel de dois lugares, e para as alturas.

Este instrumento serve para indicar as mudanças provaveis do tempo. Quando o barometro sobe, lentamente, acima da sua altura media de 76 centimetros, o tempo deve ser bom e secco; se elle desce abaixo d'esta media, o tempo deve ser chuvoso e com vento. Fundando-se na relação constante que existe entre a altura barometrica e o estado da atmosphera, construiu-se uma escala que indica immediatamente o estado da atmosphera. As indicações do barometro são muito provaveis, quando sobe ou desce lentamente; no primeiro caso indica bom tempo e no segundo chuva; as subidas e descidas rapidas annunciam máu tempo.

§ 194. Barometro chimico. O barometro chimico, devido a Negretti e Zambra, não indica a pressão atmospherica, mas accusa e prevê as variações do tempo, como os ventos, as chuvas, as tempestades, o frio, a neve, etc.

Funda-se na maior ou menor solubilidade de certas substancias, e nas suas reacções em diversos liquidos a temperaturas differentes.

Consta de um tubo cylindrico de vidro, fechado n'um dos extremos e aberto no outro; tem de diametro um centimetro e de comprimento 21 centimetros.

Está cheio de agua distillada contendo uma dissolução alcoolica de camphora, hydrato de potassa e azotato de ammoniaco até á altura de 14 centimetros, o resto do tubo contém ar. Uma rolha de cortiça tapa a extremidade aberta, e uma capsula metallica cobre o lado direito do tubo. Fixa-se este tubo a uma prancheta de páu, fixando tambem ao lado esquerdo do tubo um thermometro centigrado.

Para fazer com este instrumento as observações é



preciso collocar, depois de estar bem limpo, em quietação, ao norte, tendo o cuidado de evitar sobre elle raios directos do sol.

O resultado das observações mostra que :

1.º Quando o liquido estiver limpo, claro e os saes no fundo sem se dissolverem, é signal de bom tempo.

2.º A formação de pequenos crystaes sobre os saes, e a sua ascensão lenta, é signal evidente de mudança de tempo.

3.º A formação de crystaes em fôrma de barbas de penna, a sua ascensão á superficie do liquido, ficando este em agitação, com apparencia de fermentação, é signal evidente de que, 24 horas depois, ha de haver uma grande tempestade ou vendaval; a direcção d'este fica dependente da elevação dos crystaes para aquelle lado.

4.º Na epocha invernosa o liquido toma maior volume; formam-se pequenos crystaes estrellados, que sobem á superficie do liquido; se houver neve e o frio for augmentando, os mesmos crystaes tendem a augmentar e descem para o fundo.

5.º No verão o liquido diminue de volume; se o liquido for limpo e claro, é signal evidente do bom tempo.

## CAPITULO XI

**Força elastica dos gazes****Lei de Mariote**

§ 195. **Lei de Mariote.** A lei da compressibilidade dos gazes foi enunciada por Mariote do seguinte modo: *Os volumes dos gazes, a uma temperatura constante, estão na razão inversa das pressões que supportam*; assim, se tivermos um volume de gaz a uma pressão determinada, este volume será duas, tres, quatro vezes menor, se receber uma pressão duas, tres, quatro vezes maior.

Para demonstrar esta lei para as pressões maiores que a atmosphaera, tome-se um tubo de vidro, cylindrico, recurvado em fórma de syphão CABD, de braços desiguaes, fixo a uma prancha de madeira, fig. 58. O ramo menor BD é fechado, o maior AC aberto; a partir do traço commum AB o ramo menor está dividido em partes de equal capacidade, e o maior em centimetros.

Deite-se um pouco de mercurio pelo ramo aberto até que os niveis dos dois ramos estejam sobre o mesmo plano horizontal: evidentemente o ar contido no ramo menor possui uma força elastica equal á pressão atmospherica. Notando o numero das divisões que occupa o ar contido em BD, deite-se mais mercurio até que o volume do ar fique reduzido a metade; medindo pois a altura da columna mercurial, comprehendida entre os dois niveis, acha-se que ella é equal a 76 centimetros; fica claro pois que o ar no ramo menor recebe duas pressões, uma a do mercurio e outra a do ar que se exerce no vertice da columna C. Logo o volume de ar fica reduzido a metade, porque

supporta duas pressões; o volume de ar ficaria reduzido a um terço, a um quarto, se recebesse tres, quatro pressões, isto é, se o tubo tivesse sufficientes dimensões para receber quantidades de mercurio eguaes a  $2 \times 76$ ,  $3 \times 76$  centímetros.

A lei de Mariote tambem se demônstra para as pressões menores que a atmosphaera. Tome-se um longo tubo, fig. 59, fechado, n'um dos extremos, aberto n'outro, e dividido em partes de igual capacidade. Encha-se de mercurio até certa altura deixando o resto do tubo cheio de ar; tape-se a extremidade aberta com o dedo, vire-se o tubo e mergulhe-se n'uma eprovetta muito funda, tambem cheia de mercurio; abaixe-se o tubo até que o nivel do mercurio no tubo e na eprovetta coincidam. É claro que a força elastica do ar no interior do tubo é igual á pressão atmospherica. Se elevamos o tubo até que o volume primitivo do ar AB seja duplo, o mercurio elevar-se-ha no tubo em columna CD, cuja altura será precisamente igual á metade da altura barometrica; o que prova que a pressão que recebe o ar interior do tubo é de meia atmosphaera; se elevarmos o tubo até que o volume do ar seja triplo, a columna do mercurio no tubo será um terço de 76 centímetros.

A lei de Mariote não é absolutamente verdadeira para todos os gazes e para todas as pressões; está hoje provado, por experiencias rigorosas, que quando os gazes soffrem pressões que se approximam muito da sua liquefacção, ella deixa de ser verdadeira.

### Manometros.

§ 196. **Manometros.** Os *manometros* são instrumentos destinados a medir a força elastica dos gazes, ou a tensão dos gazes fortemente comprimidos, ou as pressões que os gazes exercem nas machinas de vapor. Para medir



a tensão dos gazes toma-se para unidade a *atmosfera* que equivale ao peso de  $1^k,033$  por centimetro quadrado de superficie.

§ 197. Ha tres especies de manometros: 1.º *manometro de ar livre*; 2.º *manometro de ar comprimido*; 3.º *manometro metallico de Bourdon*.

1.º *Manometro de ar livre*. Este instrumento, fig. 60, compõe-se de uma cuba de ferro, C, cheia de mercurio, na qual mergulha um longo tubo, A, de crystal, aberto nas suas extremidades. A cuba e o tubo estão solidamente ligados entre si, e fixos a uma prancha de madeira, onde está marcada a gradação. Um outro tubo de ferro, B, communica com a cuba e serve para transmittir ao mercurio a pressão do gaz ou do vapor comprimido.

Gradúa-se este instrumento marcando 1, quer dizer, uma *atmosfera*, no ponto onde o mercurio está no mesmo nivel no tubo e na cuba, e a partir d'este ponto, de 76 a 76 centimetros, 2, 3, 4, 5... que indicam o numero de *atmospheras*. Os espaços comprehendidos entre estes numeros dividem-se em 10 partes eguaes, que representam decimas de *atmosfera*.

Quando a pressão actúa sobre o mercurio da cuba, este eleva-se no tubo e indica a sua força elastica pelo numero de *atmospheras*.

2.º *Manometro de ar comprimido*. Consiste este manometro, fig. 61, n'um tubo recurvado ABC, cujo extremo A é fechado e outro C aberto e em communicação com uma caldeira de vapor ou com um recipiente de gaz comprimido, cuja força elastica se pretende determinar. Este tubo contém mercurio até certa altura, e os dois niveis *n* e *n'* estão no mesmo plano *nn'*; o ramo fechado contém ar secco; a pressão nos dois ramos é igual á pressão *atmosphérica*. Se a pressão do gaz da caldeira augmentar, o nivel *n'* abaixar-se-ha e o *n* elevar-se-ha e comprimirá o ar secco contido no ramo fechado; a pressão é pois medida pela redução do volume do ar contido no ramo

fechado, que está graduado por comparação com um manometro de ar livre.

3.º *Manometro metallico de Bourdon*. Este manometro, muito conhecido e geralmente empregado nas locomotivas, funda-se no seguinte principio: *Qualquer tubo metallico de paredes flexiveis, enrolado em helice, quando recebe pressões no seu interior, tende a desenrolar-se, e reciprocamente quando recebe pressões no seu exterior tende a enrolar-se*. O manometro metallico de Bourdon consiste em um tubo T de latão, fig. 62, de 80 centimetros de comprido, de paredes delgadas, flexiveis e levemente achatado, enrolado em helice e fixo a um quadrante elliptico. A extremidade A do tubo está em communicação, por intermedio de um pequeno canal munido de uma torneira, com uma caldeira de vapor, e a outra extremidade b, que é fechada, é livre, prolongada em fórma do ponteiro, move-se sobre um arco graduado em atmospheras pela comparação com o manometro de mercurio. Quando o ponteiro da agulha toma a posição de 1, 2, 3, . . . . mostra que a força elastica do gaz comprimido é igual a uma, duas, tres atmospheras.

### Machina pneumatica

§ 198. A *machina pneumatica* é um instrumento que tem por fim rarefazer o ar de um espaço determinado. Por maior que seja o gráu de rarefacção, nunca podemos conseguir um vazio completo. A *machina pneumatica* póde ser *simples*, ou de um só corpo de bomba, e *composta* ou de dois corpos de bomba. Descreveremos primeiramente a *simples* e depois a *composta*.

§ 199. *Machina pneumatica simples*. Compõe-se esta *machina*, fig. 63, de um corpo de bomba de crystal ou de cobre, em que se move um embolo P, que tem na sua face inferior uma valvula I, que abre de dentro



para fóra. Na base inferior do corpo de bomba ha uma abertura conica F, munida de valvula, que communica com um canal DE, chamado *canal de aspiração* que se abre em um disco CD, chamado *platina*, sobre a qual assenta uma campanula de vidro A, chamada *recipiente*, onde se quer rarefazer o ar. A abertura conica F do canal de aspiração fecha-se por meio de uma haste de ferro F, que atravessa o embolo; esta haste tem na sua parte superior um botão *y* destinado a detel-a, quando o embolo se eleva alguns millimetros acima da abertura conica. Uma torneira O serve para estabelecer ou interceptar a comunicação do recipiente com o corpo da bomba.

§ 200. Vejamos como funciona a machina pneumática. Supponhamos que o embolo está assente na base inferior do corpo da bomba, isto é, entre esta e o embolo existe um intimo contacto; desde que o embolo se eleva, levanta comsigo a haste de ferro que fechava a abertura conica, munida de valvula, do canal de aspiração, até á altura de alguns millimetros; esta haste é detida na sua ascensão pelo botão *y* e o embolo continúa a subir só, escorregando sobre ella com doce attrito. A valvula I do embolo está fechada em virtude do seu proprio peso e da pressão atmospherica. A elevação do embolo produz o vazio no corpo da bomba, e o ar do recipiente em virtude da sua força elastica, que não fica contrabalançada, abre a valvula do canal de aspiração, precipita-se no interior do corpo da bomba, e espalha-se uniformemente em todo o espaço que encontra. Quando o embolo desce, a haste de ferro tambem desce, e fecha completamente a abertura conica F do canal de aspiração, de tal modo que o ar existente no corpo da bomba jámais póde voltar para o recipiente pelo canal de aspiração; continuando a descer o embolo, o ar que fica por baixo d'elle comprime-se cada vez mais e ganha uma força elastica, superior á pressão exterior atmospherica augmentada com o peso



da valvula I do embolo. Esta valvula I em virtude da força elastica do ar comprimido abre-se, e este escapa-se para fóra pelas aberturas praticadas na parte superior do corpo da bomba. Quando o embolo chega ao baixo do seu curso, todo o ar que existia no corpo da bomba, e que tinha sido extrahido do recipiente, é expulso. Uma segunda elevação do embolo produz uma renovação da mesma serie de phenomenos, e assim por deante.

O jogo da machina pneumatica reduz-se ás duas seguintes condições; *Quando o embolo se eleva a sua valvula fica fechada, emquanto que a do canal de aspiração se abre; quando o embolo desce a sua valvula, abre-se e a do canal de aspiração fica fechada.*

A machina pneumatica de um só corpo de bomba é muito difficil de manobrar; á medida que se opéra, a rarefacção do ar torna-se cada vez maior e difficulta e embarça o movimento ascensional do embolo. Felizmente M. Bianchi fez desapparecer este inconveniente pela construcção de uma machina que tem o seu nome.

§ 201. *Machina pneumatica composta.* Esta machina, que tem o nome de *machina pneumatica ordinaria*, compõe-se de dois corpos de bomba, cylindricos, de crystal ou de cobre, fig. 64, em que se movem dois embolos P e P', de hastes dentadas, que engrenam com uma roda dentada, munida de uma dupla alavanca M, de modo que, dando movimento alternado a esta, os embolos tomam movimento de vai-vem, subindo um e descendo o outro. Os embolos são formados de rodellas de couro, comprimidas entre duas laminas metallicas, e ajustam contra as paredes dos cylindros; revestem-se de substancias oleosas, para bem escorregarem ao longo d'estas paredes; cada embolo tem uma valvula que se abre de dentro para fóra. Na base dos dois corpos de bomba ha duas aberturas conicas, munidas de valvulas, que communicam por dois canaes com o canal de aspiração, que vem abrir-se no centro de um disco C de cobre, revestido de outro de

vidro que tem o nome de *platina*, sobre a qual se colloca a campanula, em que se quer fazer o vazio, que tem o nome de *recipiente*. Cada uma d'estas aberturas, situadas na base dos corpos de bomba, é fechada por uma haste de ferro que atravessa o embolo: quando estes sobem, ellas elevam-se um pouco e abrem as valvulas; quando os embolos descem, as hastes tambem descem e fecham as valvulas.

O jogo d'esta machina é perfeitamente o mesmo que o da machina pneumática simples; quando um embolo sobe, abre a comunicação inferior e permite que o ar do recipiente se espalhe no espaço que deixa debaixo de si; pelo contrario, quando o outro desce, fecha a abertura inferior, e por conseguinte o ar, não podendo ir para o recipiente, é fortemente comprimido, levanta a valvula do embolo e escapa-se para a atmospherá.

Dando um movimento em sentido contrario á alavanca, o embolo que subia desce, e o que descia sobe; passam-se os mesmos phenomenos em corpos de bomba differentes. O embolo que sobe recebe o ar do recipiente, e o que desce expulsa para a atmospherá o ar que tinha recebido.

Vê-se pois que, no fim de algum tempo, o ar tem sido bastante rarefeito.

§ 202. Para conhecer a grande rarefacção do ar no recipiente, adapta-se á machina uma eprovetá de crystal em comunicação com o canal de aspiração, contendo um pequeno barometro de syphão truncado de 15 a 20 centímetros de altura. Quando o recipiente está cheio de ar, o ramo fechado do barometro está cheio de mercurio, cujo nivel está n'um ponto muito baixo no ramo aberto. Ao passo que o ar do recipiente se vai rarefazendo, o mercurio desce no ramo fechado e sobe no ramo aberto. Se o vazio fosse completo, evidentemente o mercurio chegaria á mesma altura em ambos os ramos; mas como isso não é possível, ha sempre uma differença para mais na



altura do mercurio no ramo fechado, differença tanto maior, quanto menor for a rarefacção do ar.

Mr. Babinet introduziu n'esta machina um notavel aperfeçoamento; por uma disposição da torneira, conhecida pela *torneira de Babinet*, conseguiu obter uma rarefacção inferior a um millimetro de pressão.

§ 203. Lei da rarefacção do ar. Dissemos que não podemos conseguir, por meio da rarefacção, fazer um vazio completo. Suppondo que a capacidade do corpo da bomba seja a quinta parte da capacidade do recipiente juncto com a do canal de aspiração, a quantidade de ar que sahe

ao primeiro golpe do embolo é  $\frac{1}{6}$  da massa total do ar contido; e ao segundo golpe  $\frac{1}{6}$  do resto, ao terceiro  $\frac{1}{6}$

do resto, e assim continuamente segundo uma progressão geometrica de crescente.

§ 204. Machina de Bianchi. A difficuldade na manobra da machina pneumatica, de um só corpo de bomba, fel-a desapparecer Mr. Bianchi, por meio de um tubo exterior de aspiração e de um systema de valvulas, que permittem a entrada do ar por cima e por baixo do embolo. Este physico construiu uma machina pneumatica de um só corpo de bomba de duplo effeito, que tem o seu nome e que hoje se emprega nos gabinetes de physica.

Esta machina é toda de ferro fundido, e póde ter grandes dimensões. Compõe-se de um só corpo de bomba, em que se move um embolo, cuja haste articula com uma manivella, em cujo eixo está montado um grande volante, que se move á mão por meio de uma manivella correspondendo a cada volta completa um movimento de vaivem do embolo. Este tem uma valvula que se abre de baixo para cima; a sua haste é ôca e tem um tubo de cobre, por onde sáe o ar que entra pela valvula. A haste de ferro que atravessa o embolo fecha as duas aberturas



conicas, uma superior e a outra inferior, das bases do corpo de bomba, munidas de valvulas, pelas quaes entra o ar do recipiente por meio de um tubo de gutta-perche. Uma valvula que se abre de dentro para fóra na parte superior do corpo de bomba, dá passagem para a atmosphaera ao ar que fica pela parte superior do embolo.

Quando o embolo desce, fecha-se a abertura inferior, e o ar comprimido por baixo do embolo abre a valvula e sae pelo tubo para a atmosphaera; quando o embolo sobe, fecha-se a abertura superior, e o ar comprimido por cima do embolo sae para atmosphaera pela valvula que fica na parte superior do corpo da bomba.

Esta machina rarefaz o ar em pouco tempo.

§ 205. Usos da machina pneumatica. Numerosos são os usos d'esta machina. Em um grande numero de experiencias a machina pneumatica é indispensavel; é com o auxilio d'ella que demonstramos a porosidade dos corpos, a primeira lei da quêda dos corpos, o peso do ar pelo rebenta-bexiga e pelos hemispherios de Magdeburgo.

A machina pneumatica serve para mostrar que o ar, pelo oxigenio que contém, é o principal elemento da respiração e combustão: se collocarmos no recipiente da machina um animal e começarmos a rarefazer o ar, o animal asphixia-se e morre; se collocarmos uma vela accesa, esta apaga-se e o fumo, em vez de subir, desce.

O *repuxo no vazio* obtem-se collocando dentro do recipiente da machina um vaso com agua, sendo a sua bocca rolhada e atravessada por um tubo que mergulha no liquido. Fazendo a rarefacção do ar, a agua sae pelo tubo e fórma um repuxo, fig. 65.

Uma das principaes applicações da machina pneumatica é nos caminhos de ferro chamados *atmosphericos*.

Machina de compressão. Fonte de compressão.  
Fonte de Heron. Vaso de Tanlalo. Espingarda  
de vento.

§ 206. Machina de compressão. Chama-se *machina de compressão* o apparelho que tem por fim comprimir o ar ou qualquer outro gaz n'um recipiente. Ella differe da machina pneumatica no jogo das valvulas, as quaes, em vez de se abrirem de baixo para cima, abrem-se de cima para baixo, e no recipiente, que, em logar de ser simplesmente posto sobre platina, está solidamente para-fusado ao canal.

A machina de compressão na sua maior simplicidade consiste em um corpo de bomba C, no qual se move um embolo P, que tem uma valvula S', que se abre de cima para baixo. Na base do corpo da bomba ha uma valvula S, que tambem se abre de cima para baixo e intercepta a communicação do canal do recipiente com o corpo da bomba, fig. 66.

Quando o embolo sobe, o ar que lhe fica por baixo fica rarefeito, e a valvula inferior S fica fechada em razão da elasticidade do ar do recipiente, emquanto que a valvula do embolo S' se abre em virtude da pressão atmospherica, e deixa penetrar o ar no corpo de bomba. No descenso do embolo o jogo das valvulas é em sentido contrario; o ar que fica por baixo do embolo comprime-se, a valvula S' fecha-se, e a S abre-se e dá passagem ao ar comprimido para o recipiente R. Em cada golpe o ar do corpo de bomba penetra no recipiente e ahi fica comprimido; esta compressão tem limite.

§ 207. Em logar d'este apparelho, que pouco se emprega por ser muito perigoso, emprega-se de preferencia a *bomba de compressão*, denominada *bomba de mão*. Consta de um corpo de bomba de metal, em que se move um

embolo sem valvula. Na base do corpo de bomba ha duas valvulas que se abrem em sentidos contrarios, uma de cima para baixo, e a outra de baixo para cima, e communicam com dois tubos, um que se abre na atmosphaera ou no recipiente onde se desenvolve o gaz, e o outro no recipiente que ha de comprimir o ar ou outro qualquer gaz. A bomba de mão é de facil manobra, emprega-se na industria, na preparação das aguas artificiaes gazosas.

§ 208. **Fonte de compressão.** Consiste esta fonte n'um vaso de metal AB de paredes muito resistentes, dentro do qual está um tubo CD munido de uma torneira R, fig. 67. Enche-se de agua o vaso até os dois terços, e por uma machina de compressão comprima-se o ar que fica por cima de agua; abrindo-se a torneira R, sáe um jacto de agua pelo orificio do tubo a uma altura dependente da força do ar comprimido. Os syphões que usamos nas nossas mezas são fontes de compressão.

§ 209. **Fonte de Heron.** Esta fonte consiste em uma larga bacia C de cobre, dois balões de vidro B e D e tres tubos M, T e O, fig. 68. O primeiro tubo M de cobre faz communicar a bacia C com a parte superior do balão D; o segundo tubo T põe em communicação os dois balões abrindo-se na parte superior de ambos, e o terceiro tubo O, mais pequeno, collocado no eixo do aparelho, parte do fundo do balão B, atravessa a bacia e abre-se acima d'esta a uma certa altura.

Para que a fonte funcione encha-se de agua o balão B quasi até ao meio, e deite-se agua na bacia. Esta agua desce immediatamente pelo tubo M e cáe no balão D comprimindo o ar contido n'este balão; este ar comprimido vai pelo tubo T actuar sobre a agua contida no balão B e fal-a repuxar pelo tubo O. Esta agua, cahindo na bacia, desce para o balão D, comprime o ar, o qual actua sobre a agua do balão B e faz repuxar pelo tubo O, e assim successivamente; a fonte funciona emquanto houver agua no balão B.



§ 210. **Fonte intermittente.** Esta fonte, fig. 69, consta de um balão de vidro M, fechado por uma rolha, e tem na sua parte inferior duas tubuladuras muito estreitas E e F, pelas quaes sáe a agua contida no balão. Um tubo *ab* de crystal atravessando a rolha abre-se na parte superior do balão acima do nivel de agua; a extremidade inferior *b* d'este tubo, egualmente aberta, fica muito proxima d'uma bacia H de cobre, que tem no seu centro um pequeno orificio; abaixo d'este orificio, que é muito menor que os orificios das tubuladuras, está um vaso G de vidro ou de metal.

A agua sáe em virtude do seu proprio peso pelas tubuladuras E e F, cáe na bacia H, e esgota-se para o vaso G; mas como o orificio central da bacia é de um diametro muito menor que os diametros dos orificios E e F, segue-se que a agua da bacia sáe em menos quantidade do que a que recebe pelas tubuladuras; por conseguinte o nivel da agua na bacia H elevar-se-ha e tepará a abertura inferior *b* do tubo, interceptando a communição entre o ar exterior e o que contém o balão M. A fluxão continuará alguns instantes; mas desde que o ar interior se rarefaz, diminue a sua força elastica, e o ar exterior não deixa sahir o liquido pelos orificios de E e T; o esgoto pára, isto é, a fonte deixa de correr; mas continuando a sahir a agua da bacia H pelo orificio central, a extremidade inferior *b* do tubo fica a descoberto, e então de novo penetra o ar pelo tubo, e vai para a parte superior do balão M restabelecer a pressão; estabelecida esta, recomeça a fluxão pelas tubuladuras E e T, e assim continuadamente emquanto houver agua no balão.

Ha certos paizes onde existem fontes intermittentes naturaes; estas intermittencias duram muitos dias ou mezes. A explicação d'este phenomeno é identico ao da fonte intermittente.

§ 211. **Vaso de Tantaló.** Este apparelho, fig. 70, permite obter um esgotamento intermittente. Consta de

um vaso M, com um syphão  $abc$ , cujo ramo menor  $ab$  se abre perto do fundo do vaso, e o maior  $bc$  atravessando o fundo abre-se para fóra. Um tubo D, munido de torneira, alimenta continuamente de agua o vaso, e esta se introduz ao mesmo tempo no ramo menor  $ab$  do syphão. Quando o nivel da agua excede a curvatura  $b$  do syphão, este fica cheio e o liquido esgota-se pelo ramo maior. O apparelho está disposto de tal modo, que a agua que sáe pelo ramo maior do syphão é em quantidade superior á que entra pelo tubo D; segue-se, pois, que, passado certo lapso de tempo, a agua não poderá encher o syphão, isto é, o nivel da agua descerá abaixo do ramo menor, e o esgoto parará; depois de certo intervallo tornará a recommençar quando o nivel se elevar e cubrir o syphão.

§ 212. Espingarda de vento. Esta espingarda tem por fim lançar os projectis do cano pela força elastica do ar comprimido. Compõe-se essencialmente da coronha ôca de ferro, munida de porca, sobre que se pôde parafusar o cano ou uma machina de compressão. Dentro da coronha e perto da porca está uma valvula que se abre de fóra para dentro e que está fechada por uma mola. Para usar d'esta espingarda, comprima-se o ar por meio da machina de compressão de 10 a 12 atmospheras; depois d'isto tire-se a machina, substitua-se pelo cano, e introduza-se n'este o projectil com a competente buxa. Um movimento da mola faz abrir a valvula n'um instante, o ar comprimido sáe com muita força e expelle o projectil ao longe. Podem dar-se muitos tiros sem carregar de novo a coronha, porque a valvula não deixa sahir em cada tiro senão uma pequena quantidade de ar. Em cada tiro não se ouve senão um pequeno ruido, e cada vez os tiros são mais fracos.

## CAPITULO XII

Bombas. Syphão. Baroscopio.  
Aerostatos

§ 213. **Bombas.** As *bombas* são machinas destinadas a elevar agua ou qualquer outro liquido pela aspiração, pela pressão, ou por estas duas acções combinadas. Ha por isso tres especies de bombas: *bomba aspirante*, *bomba premente* e *bomba aspiro-premente*.

§ 214. **Bomba aspirante.** Esta machina, fig. 71, compõe-se de um corpo de bomba ABEF, ao qual segue pela sua base um longo tubo CD, chamado *tubo de aspiração*, cuja extremidade inferior está mergulhada em um reservatorio com agua, e a superior tem uma valvula S, que se abre de baixo para cima. No corpo de bomba move-se um embolo P por meio de uma alavanca; no centro d'elle ha uma valvula S' que tambem se abre de baixo para cima; na parte superior do corpo de bomba, está adaptado um canal lateral, F, chamado *canal de esgoto* ou de distribuição da agua.

O mecanismo da elevação da agua por aspiração é muito simples. Supponhamos o embolo no baixo do seu ponto de descida: quando este sobe, forma-se por baixo o vazio, a valvula S' fica fechada em virtude do seu proprio peso e do da pressão do ar exterior; mas o ar interior, contido no tubo de aspiração, em virtude da sua força elastica abre a valvula S, penetra no corpo de bomba e ahi se espalha; diminuida a pressão que este ar, no interior do tubo, exercia sobre a agua do reservatorio, uma columna de agua sobe pelo tubo acima,



a *agua é aspirada*, e sobe até que se estabeleça o equilibrio entre a pressão exterior do ar e a pressão da columna liquida elevada, juncto com a pressão do ar rarefeito que fica no aparelho. Quando o embolo desce, a valvula *S'* abre-se sob o esforço do ar comprimido sobre o embolo; e o ar escapa pelo canal *G* para a atmosphaera; a valvula *S* fica fechada pelo seu proprio peso. Ao segundo golpe reproduzem-se os mesmos phenomenos e assim successivamente, até que a agua penetra no corpo da bomba e passa para cima do embolo. Em cada ascensão do embolo a agua que fica por cima d'este vai até o canal de esgoto e d'este são para fóra; uma outra porção de agua passa do reservatorio para o canal de aspiração, d'este para o corpo de bomba e d'este para o tubo lateral *G*, para correr pela mesma via.

Como a pressão atmospherica é que faz subir a agua do reservatorio para o corpo de bomba, segue-se que o tubo de aspiração não póde exceder a  $10^m,3$ .

§ 215. *Bomba premente*. Esta bomba, fig. 72, differe da antecedente em não ter tubo de aspiração e o embolo não ter valvula. Compõe-se de um corpo de bomba *AB*, que quasi inteiramente mergulha na agua do reservatorio, e no qual se move o embolo *P*, bem justo, cheio e sem valvula. Este corpo de bomba communica lateralmente com um tubo *CD*, chamado *tubo de ascensão*, por meio de uma valvula *S'*, que se abre de dentro para fóra. Uma outra valvula *s*, que se abre de baixo para cima e está collocada na base do corpo de bomba, serve para estabelecer ou interromper a comunicação d'este com o reservatorio.

Vejamos qual é o machinismo d'esta bomba. Supponhamos que o embolo, que se achava no baixo do seu curso, se eleva: forma-se por baixo d'elle vazio; a agua do reservatorio entra para o corpo de bomba abrindo a valvula *s*. Na descida do embolo a agua comprime-se, fecha-se a valvula *s*, e abre-se a valvula *s'* para dar passa-

gem á agua pelo canal de ascensão, a qual, atravessando-o, é projectada mais ou menos longe segundo a força empregada no tubo de ascensão. Elevando-se de novo o embolo, a valvula *s'* fecha-se sob o peso da columna de agua que contém o tubo de ascensão; ao mesmo tempo a valvula *s* abre-se e uma outra columna de agua se eleva no corpo de bomba devido á pressão atmospherica. Quando se abaixa o embolo, a valvula *s* fica fechada, a *s'* abre-se e a agua é projectada pelo canal de ascensão. Em cada golpe reproduzem-se identicos phenomenos.

§ 216. Bomba aspiro-premente. Esta bomba é um mixto das duas que acabamos de descrever, fig. 73. É formada de um corpo de bomba AB, munido de um embolo sem valvula, communica pela sua base com o tubo de aspiração CD por meio da valvula S, e lateralmente com o tubo de ascensão pela valvula S'.

O mechanismo d'esta bomba é muito simples. O tubo de aspiração está mergulhado na agua do reservatorio. Quando o embolo sobe, a valvula S' fecha-se e a S abre-se; a agua, elevando-se no tubo de aspiração em virtude da pressão exterior do ar, abre a valvula S e penetra no corpo da bomba; quando o embolo desce, a valvula S fecha-se, e a S' abre-se para dar passagem pelo tubo de ascensão á agua que enchia o corpo de bomba, d'onde é lançada para fóra com uma velocidade maior ou menor, segundo a força empregada para abaixar o embolo.

Quando o embolo se eleva, a bomba aspiro-premente obra só como bomba aspirante; quando desce, funciona como bomba premente.

§ 217. Bomba dos incendios. A bomba dos incendios, fig. 74, consta de duas bombas prementes, cujos embolos P e P' são postos em movimento por um balanceteiro L e L' manobrado por quatro bombeiros. Estas duas bombas ficam dentro de uma caixa que contém agua e que se tem o cuidado de manter cheia durante toda a manobra. Quando um dos embolos sobe, a agua é



aspirada, o outro desce e impelle-a para um reservatorio R, que contém ar, e ao fundo do qual vem abrir-se um tubo de ascensão T. Este tubo é de coiro ou de lona, tem o nome de *mangueira*, e termina por um outro de cobre de diametro muito pequeno, que tem o nome de *lança* ou *agulheta*, o que faz augmentar a velocidade do jacto.

O ar do reservatorio, comprimido pela contínua entrada da agua, reage pela sua força elastica sobre o liquido aspirado e obriga-o a sahir pela mangueira. Sendo contínua a injeccão da agua no reservatorio de ar, continuo tambem será o jacto liquido que sáe com grande força pela extremidade da mangueira.

§ 218. **Syphão.** Syphão é um pequeno apparelho que serve para trasvasar liquidos de um vaso para outro. Este trasvasamento póde ser pela fluxão contínua ou intermittente.

O syphão é formado de um tubo recurvado ABC de ramos AB e BC desiguaes, fig. 75. Para usarmos d'este instrumento, mergulhe-se o ramo menor AB no liquido que se quer vasar, e o outro abra-se no vaso para onde se quer passar o liquido; o orificio d'este ramo deve ser inferior ao nivel do liquido que se quer trasvasar.

Aspirando com a bocca pelo orificio do ramo maior C, rarefaz-se o ar no interior do tubo, e a pressão atmospherica, actuando no liquido em que mergulha o ramo AB, fal-o sahir pelo ramo maior BC. A fluxão no syphão tem lugar em virtude da differença das pressões inversas, que se exercem á superficie O do liquido e no orificio do ramo maior. A pressão em O, que obriga o liquido a correr na direcção de OBC, é igual á pressão atmospherica  $p$ , menos o peso da columna liquida, cuja altura é OM; a pressão que se oppõe á sahida do liquido em C e o obriga a correr na direcção CBO é igual á pressão atmospherica  $p$ , menos o peso da columna liquida, cuja altura é CF; como esta columna CF é maior que



a OM, segue-se que a força  $p$ —OM é maior que a força  $p$ —CF; logo o liquido correrá no sentido da força maior  $p$ —OM, e com tanto maior velocidade quanto maior for a differença entre as alturas OM e CF.

A velocidade de fluxão diminue á medida que o liquido se esgota, porque vai diminuindo a differença entre as alturas OM e CF; porém pôde conseguir-se que a fluxão seja constante, fazendo que esta differença não varie; o que se obtém ligando o syphão a um fluctuador de cortiça e equilibrando-o com um peso. D'esta maneira o syphão desce com o liquido á medida que este se esgota.

Se o liquido que tivermos a trasvasar for corrosivo, então não deve haver aspiração; basta encher o syphão com liquido da mesma natureza e depois mergulhar o ramo menor no liquido dado.

O syphão não funciona no vazio, nem quando a altura OM for maior que a altura da columna liquida que equilibra a pressão atmospherica.

§ 219. *Baroscopio.* O principio de Archimedes relativo aos liquidos é extensivo aos gazes. *Todo o corpo mergulhado em um gaz perde uma parte do seu peso equal ao peso do volume de gaz deslocado;* o que equivale a dizer: *todo o corpo mergulhado em um gaz recebe d'este um impulso vertical de baixo para cima, equal ao peso do volume do gaz deslocado.* Demonstra-se este principio pelo baroscopio.

O *baroscopio*, fig. 76, é uma balança cujo travessão tem n'uma das extremidades uma pequena massa de chumbo e na outra uma esphera ôca de volume consideravel. Estes dois corpos estão em equilibrio no ar, mas se levarmos o baroscopio ao recipiente da machina pneumática e começarmos a rarefazer o ar, vê-se que o equilibrio se rompe e o travessão inclina-se para o lado da esphera; o que prova evidentemente que a esphera é mais pesada que a pequena massa de chumbo, mas que o equilibrio entre estes dois corpos era devido á perda

de parte do peso da esphera por estar mergulhada no ar. Para provar que esta perda do peso é igual ao peso de volume do ar deslocado, basta junctar á massa de chumbo o peso de um volume de ar igual ao da esphera; immediatamente se estabelece o equilibrio.

Segue-se d'este principio que, quando pesamos um corpo no ar, não obtemos o seu peso real, mas sim a differença entre este peso e o peso do volume do ar deslocado.

§ 220. **Aerostatos.** Sabemos que muitos gazes, taes como o hydrogenio e o ar dilatado pelo calor, pesam sob o mesmo volume menos que o ar atmospherico. Se encher-mos com um d'estes gazes um involucro de pouco peso, como o papel ou tafetá, o peso d'este involucro, juncto com o do gaz que o contém, póde ser menor que o peso do ar deslocado, e n'este caso este involucro deve elevar-se na atmosphaera, porque a força que tende a fazel-o descer é menor que a força que tende a fazel-o subir. É este o principio dos aerostatos ou balões.

Os *aerostatos ou balões* são uns involucros, geralmente de fórma espheroidal, de papel, de tafetá ou de qualquer outro tecido fino, impermeavel aos gazes, cheios de ar quente, de hydrogenio ou de gaz de illuminação, que sobem na atmosphaera, porque pesam menos que o volume de ar deslocado por elles, e por conseguinte recebem um impulso maior que o seu peso.

São construidos os balões de tiras de tafetá, cosidas umas ás outras e untadas com um verniz especial, para conseguir a impermeabilidade do tecido. Uma rede de cordas reveste exteriormente o balão; esta rede sustenta, pela parte inferior do balão, por meio de cordas, um cesto ou uma barquinha onde vão os aereonautas, levando consigo os instrumentos de observação, e pequenos saccos de area que formam o lastro. Na parte superior e interna do balão ha uma valvula, que se póde abrir e fechar por meio de uma corda, que o aereonauta tem na mão.

O balão deve ser sempre acompanhado de um *para-*

*quedas*, que serve ao aereonauta para descer lentamente, quando houver necessidade de abandonar o balão. O *para-quêdas* é uma especie de guarda-chuva, de estofa muito resistente, de 4 a 5 metros de diametro, ligado á barquinha por meio de cordas; no centro tem uma abertura, pela qual se escapa o ar comprimido por effeito da descida, o que evita as grandes oscillações, a que ficaria sujeita a barquinha, e tornaria perigosa a descida do aereonauta.

Enche-se o balão de gaz hydrogenio ou de gaz de illuminação; hoje emprega-se geralmente este, a pesar de ser mais denso do que aquelle, porque fica mais em conta e obtem-se com facilidade.

Para encher o balão suspende-se entre dois mastros, põe-se em communicação, pela sua parte inferior, com o gazometro, por meio de um tubo, para receber o gaz hydrogenio carbonado, sustentando-o por meio de cordas, que no fim da operação se soltam.

Não se enche o balão completamente no momento da partida, porque á medida que se eleva na atmospherá a pressão do ar diminue e o gaz toma uma expansão que poderia rompê-lo. Quando o aereonauta quer descer, abre a valvula, uma parte do gaz sáe, a força ascencional diminue e o balão desce; se pelo contrario quer elevar-se atira para fóra com saccos de area dos que formavam o lastro. A força ascencional, no momento da partida, não deve exceder a 4 ou 5 kilogrammas.

Dar direcção aos balões é uma questão que ainda está por resolver.



## CAPITULO XIII

**Acustica**

§ 221. A *acustica* é a parte da *physica* que estuda o *som*; isto é, estuda a sua causa, as suas propriedades, a sua propagação e as condições em que se produz.

A *musica* estuda os sons em relação aos sentimentos e paixões que podem excitar no homem.

O *som* é a percepção da sensação, produzida no órgão auditivo pelo movimento vibratorio da materia ponderavel. Os sons não são todos identicos; apresentam diferenças sensiveis, pelas quaes podem distinguir-se, comparando e determinando as suas relações.

§ 222. **Som e ruido.** O som propriamente dicto, ou som musical, é o que produz uma sensação continua, de que se póde apreciar o valor musical; o *ruido* é uma mistura confusa de sons discordantes, ou um som de curta duração; como por ex. uma martellada, o ribombar do trovão. Ha porém ouvidos tão bem organizados, que podem determinar o valor musical de um ruido.

Savart demonstrou que nos ruidos existem as mesmas relações de altura que nas notas de musica; Pythagoras havia observado uma perfeita harmonia, entre quatro martellos de grandeza determinada e diferentes, quando percutiam a bigorna.

§ 223. **Produção do som.** O som é sempre um resultado do movimento vibratorio da materia ponderavel; este movimento produz-se, quando se desviam da sua posição de equilibrio, por meio da percussão, attrito ou

choque, as moleculas dos corpos elasticos, que, abandonadas a si, executam de uma e outra parte da sua posição primitiva, um certo numero de pequenos movimentos de vai-vem ou oscillações muito rapidas. Estas oscillações, quando têm uma certa iatensidade e duração, denominam-se *vibrações*.

Para demonstrar que o som é produzido pelos corpos em vibração, temos as experiencias seguintes: Se percutirmos as cordas tensas de uma guitarra, harpa, violão, ou friccionarmos com um arco as cordas de uma rebeca ou de violoncello, observamos que existe o som em quanto durarem as vibrações, que são bem visiveis; se o não forem, reconhece-se a sua existencia applicando a mão á corda vibrante ou collocando sobre ella um pequeno fragmento de papel, que é projectado ao longe. Se percutirmos com um martello um sino ou uma campanula de vidro e aproximarmos d'elles uma bola de marfim, suspensa por um fio, vê-se que esta resalta; se os tocarmos com a mão, extingue-se o movimento vibratorio e não se ouve mais o som.

As vibrações, para darem som, devem ter um certo gráu de velocidade; se fixarmos a um torno uma lamina metallica de um certo comprimento, e a desviarmos da sua posição de equilibrio, esta lamina executará uma serie de vibrações muito lentas, visiveis, mas não produzirá som, fig. 77; se formos diminuindo o comprimento da parte livre da lamina, a velocidade do movimento vibratorio se tornará cada vez maior, deixando ouvir um som cada vez mais agudo.

§ 224. *Vibrações dos corpos*. Todos os corpos solidos, liquidos e gazes entram em vibração. As experiencias precedentes provam o movimento vibratorio dos solidos.

A vibração dos liquidos manifesta-se quando se esgotam pelo orificio de um vaso ou percutem o solo; ouve-se um som fraco, tanto mais agudo, quanto mais estreito for o

orificio e maior a velocidade do esgotamento; é por isso que os jactos liquidos apresentam ondulações formando nós de vibração e ventres. O choque dos liquidos entre si ou contra os solidos produz o som. Os gazes tambem entram em vibração; póde-se fazer vibrar uma columna de ar por meio de tubos com embocadura de flauta ou por meio de palheta.

### Propagação do som

§ 225. Para haver a percepção do som é necessario um corpo em vibração, um meio ponderavel, elastico, para transmittir esta vibração, e um órgão proprio, ouvido, para receber e perceber esta vibração.

O som não se propaga no vazio; se collocarmos sob o recipiente de uma machina pneumatica, assente sobre uma almofada, um timbre metallico, continuamente percutido por um martello, movido por um systema de relojoaria, ouvimos o som; ao passo que formos rarefazendo o ar, o som vai enfraquecendo; extingue-se completamente, quando tivermos feito o vazio. Se tocarmos uma campainha suspensa dentro de um balão de vidro por um fio de seda, de que se tenha extrahido o ar, não se ouve o som; mas, se introduzirmos ar, começa-se a perceber o som, e este torna-se cada vez mais forte na razão da quantidade do ar introduzido. Se em lugar de ar introduzissemos qualquer outro gaz, reproduzir-se-hia identico phenomeno.

§ 226. Vehiculos do som. Todos os corpos ponderaveis, em qualquer estado, transmittem o som. Os solidos são os melhores transmissores do som; se applicarmos o ouvido ao extremo de uma vara muito comprida, ouviremos distinctamente o som de uma leve fricção, exercida na outra extremidade pela ponta de um alfinete, o que de certo não teria logar no ar.



Sabe-se que, applicado o ouvido sobre o solo, se ouve distinctamente o som das descargas de artilheria, da marcha da tropa, do trotar da cavallaria e do rodar de trens que fiquem a grandes distancias. Todos sabem que, applicado o ouvido sobre um rail do caminho de ferro, se sente a marcha da locomotiva a alguns kilometros de distancia. Os liquidos transmittem o som; se tocarmos uma campainha dentro da agua, ouvimos-a; tambem ouvimos o choque de pedras, umas contra outras, dentro da agua: sentimos distinctamente o trabalho de percussão dos mergulhadores dentro de agua, e estes tambem ouvem claramente a voz das pessoas que estão fóra da agua. Os gazes transmittem o som; o ar é o transmissor ordinario dos sons, as experiencias precedentes o provam; se tocarmos uma campainha n'uma atmosphaera de hydrogenio, ou de azote, ouve-se o som.

§ 227. Modo de propagação do som. Ondas sonoras. O som propaga-se por meio de *ondas condensadas e dilatadas*. As moleculas do corpo sonoro, desviando-se da sua posição de equilibrio, impellem deante de si a camada de ar que as cerca; esta comprime-se, a sua força elastica augmenta e reage sobre a camada seguinte, que, comprimindo-se tambem por sua vez, comunica o seu movimento á terceira e assim seguidamente; quando as moleculas do corpo voltam á sua posição de equilibrio, um movimento em sentido contrario se produz no ar; a camada do ar, em contacto com as moleculas vibrantes, retoma o seu primitivo logar, diminue a força elastica; a segunda tambem vem por seu turno occupar a posição de que foi deslocada e assim seguidamente; este movimento da dilatação do ar tem lugar immediatamente ao da condensação, e as camadas aereas acham-se alternativamente animadas de velocidades em sentido contrario.

A compressão da camada do ar pelas vibrações fórma uma *onda condensada*, a sua dilatação uma *onda dilatada*.

Simplifiquemos a theoria da propagação do som no caso de elle se propagar n'um cylindro indefinido. Seja XY, fig. 78, um tubo cylindrico indefinido, cheio de ar a uma pressão e temperatura constantes. Supponhamos que um embolo PM se move com grande velocidade de  $a'b'$  para  $ab$  e reciprocamente; quando este passa de  $a'b'$  para  $ab$  impelle deante de si uma camada de ar, comprime-a, esta impelle a seguinte, esta a immediata e assim successivamente; a condensação não se opera em todo o tubo, mas até uma certa distancia  $mn$ , que se chama *onda condensada*; esta primeira onda condensada  $abmn$  communica o seu movimento a uma segunda  $mnpq$ , esta a uma terceira, e assim continuadamente, de modo que este movimento de condensação se propaga no cylindro por uma serie de meias ondas sonoras condensadas, que representam todos os grãos de velocidade do embolo PM.

Quando o embolo volta de  $ab$  para  $a'b'$ , opera-se na primeira camada condensada uma rarefacção egual em comprimento á condensação, forma-se uma onda dilatada, que toma todos os grãos de velocidade do embolo; a segunda condensada  $pqmn$  dilata-se por seu turno, após esta a terceira e assim continuadamente.

Cada oscillação completa do embolo, ida e volta, dá origem a uma *onda sonora*, composta de duas meias, meia *onda condensada* e meia *onda dilatada*.

O comprimento de uma onda sonora é o espaço percorrido pelo som, durante a duração de uma vibração completa do corpo que a produz. Obtem-se este comprimento, dividindo a velocidade do som pelo numero de vibrações produzidas pelo corpo no mesmo tempo.

Se em vez de considerarmos a propagação do som n'um meio cylindrico, a considerassemos n'um espaço indefinido e em todos os sentidos, as ondas sonoras, em vez de serem longitudinaes seriam circulares, analogas ás ondulações, que se propagam na agua quando n'ella se projecta uma pedra.

§ 228. **Coexistencia das ondas.** O som, produzido simultaneamente por muitos centros vibratorios, fórma em redor de cada centro um systema de ondas condensadas e dilatadas, que se propagam cruzando-se sem se modificarem, nem no seu comprimento, nem na sua velocidade. Uma vez as ondas condensadas e dilatadas sobrepõem-se ás ondas da mesma natureza, de modo que produzem um effeito igual á sua somma; outras vezes, encontrando-se, produzem um effeito igual á sua differença: é por esta coexistencia das ondas que percebemos e distinguimos diversos sons produzidos ao mesmo tempo. Na propagação das ondas sonoras não ha transporte de materia; é como a das ondas produzidas á superficie da agua, quando n'ella se projectam corpos que se cruzam sem se modificarem.

§ 229. **Velocidade do som.** A velocidade do som é o espaço que o som percorre, no meio em que se produz, na unidade de tempo. A propagação do som não é instantanea, ha sempre um intervallo de tempo entre o momento da sua producção e o da sua percepção; quando um phenomeno luminoso é acompanhado de som, como por ex. o relampago que precede o trovão; o brilho da luz, que se antecipa ao estrôndo do tiro da arma de fogo; o observador, que fica a uma certa distancia, vê primeiramente o clarão luminoso, e depois de um certo lapso de tempo ouve o som; o intervallo de tempo, que separa a percepção luminosa da sonora, é sensivelmente igual ao que o som gasta para chegar ao órgão auditivo do observador. Conhecida a distancia, expressa em metros, que separa os logares da producção do som e do observador, se dividirmos esta pelo tempo observado, expresso em segundos, teremos a velocidade do som. A velocidade do som tambem se póde obter pelo calculo:

1.º *Velocidade do som no ar.* Partindo do principio exposto, os illustres academicos Prony, Arago, Humboldt, Gay-Lussac, Bouvier e Mathieu, nas experiencias que



fizeram em 1823 nas alturas de Villejuif de um lado, e nas de Montlhery do outro, disparando alternativamente tiros de peças de artilheria de dez em dez minutos, acharam que a velocidade do som no ar era, proximamente, 340 metros por segundo a 16° centigrados, sob a pressão de 0,76. A velocidade do som é independente da pressão barometrica, decresce com a temperatura; assim para 10° é de 339 metros; para 0° é de 332 metros.

2.º *Velocidade do som na agua.* A velocidade do som nos liquidos é muito maior que no ar. Na agua esta velocidade é de 1435 metros por segundo, como determinaram precisamente MM. Colladon e Sturm, por analogo processo, no lago de Genebra.

3.º *Velocidade do som nos solidos.* A velocidade do som nos solidos é muito maior que nos liquidos; têm valores particulares para as diversas substancias. Mr. Biot determinou que a velocidade do som no ferro é de 3538 metros por segundo.

§ 230. *Reflexão do som.* As ondas sonoras propagam-se n'um meio indefinido sob a fórma de esferas concentricas; mas quando na sua propagação encontram algum obstaculo, seguem a lei geral dos corpos elasticos; voltam sobre si, mesmas, formando novas ondas concentricas que parecem dimanar de um segundo centro situado do outro lado do obstaculo, o que se exprime dizendo que as ondas se *reflectem*.

Chama-se *reflexão do som* a volta da onda sonora sobre si mesma, quando na sua propagação encontra um obstaculo. A reflexão do som está submettida ás duas leis seguintes:

1.ª *O angulo de reflexão é igual ao de incidencia.*

2.ª *O raio sonoro incidente e o reflectido estão no mesmo plano, perpendicular á superficie reflectidora.*

§ 231. *Refracção do som.* Chama-se *refracção do som* a mudança da direcção da onda sonora, quando passa de um meio para outro. O som refracta-se como a luz e o calor; experiencias numerosas assim o provam.

§ 232. *Echo*. Chama-se *echo* a repetição de um som directo no ar por effeito da sua reflexão. O *echo* póde ser *monosyllabo*, *disyllabo* ou *polysyllabo*, quando repete successivamente uma, duas ou muitas *syllabas*. Para que haja um *echo monosyllabo*, é preciso que a distancia entre o observador e a superficie reflectidora seja pelo menos

de 17 metros; porque, sendo preciso  $\frac{1}{10}$  de segundo para

perceber distinctamente o som directo e reflectido, e sendo a velocidade do som 340 metros, segue-se que em

$\frac{1}{10}$  de segundo o som deve percorrer 34 metros; logo a

distancia entre o observador e o obstaculo reflectidor deve ser de 17 metros, para o *echo monosyllabo*; para os *disyllabos*, a distancia será de 34, para os *trisyllabos* de 51 metros.

Os *echos* podem ser *simples* ou *multiplos*; os primeiros repetem o som uma só vez, os segundos repetem o mesmo som mais de uma vez, e são formados geralmente por dois obstaculos oppostos. Próximo de Verdum, em França, ha um *echo* que repete doze vezes o mesmo som. Na Italia, no castello de Simonete, ha um *echo* que repete quarenta vezes o estrondo de um tiro de *rewolver*. Gassendi cita um *echo*, proximo do tumulo de Metella, que repete oito vezes um verso da Eneida.

Como applicação da reflexão do som, nós citaremos o phenomeno observado em salas de fórmias *ellipticas*: duas pessoas muito afastadas, collocadas cada uma no foco de reflexão, podem entreter uma conversação em voz baixa, sem que outras pessoas mais proximas a possam ouvir.

§ 233. *Resonancia*. Chama-se *resonancia* a superposição do som reflectido ao directo; isto é, quando o observador ouve ao mesmo tempo o som directo e o reflectido; e isto acontece quando a distancia entre o observador e o obstaculo reflectidor for inferior a 17 metros.

A resonancia é favoravel, quando o som reflectido reforça o som directo; a resonancia será desfavoravel, quando ha confusão de sons, e isso succede quando o som reflectido chega um pouco depois do som directo. Temos o exemplo de resonancia nas casas grandes vazias, nas igrejas, nas cisternas.

§ 234. **Interferencia dos sons.** Dá-se o nome de *interferencia de sons* ao encontro de duas meias ondas, uma condensada e a outra dilatada, de igual valor: do encontro d'estas duas especies de ondas necessariamente deve resultar a destruição completa dos dois sons que se propagam: segue-se pois o seguinte principio, na apparencia paradoxal: *um som juncto com outro som dá, em certas circumstancias, silencio*; assim o toque de dois instrumentos da mesma natureza, e muito proximos um do outro, podem não dar som.

### Qualidades do som

§ 235. Apesar da infinita variedade de impressões das ondas sonoras que o orgão auditivo percebe, distinguem-se os sons por tres qualidades: *altura, intensidade e timbre*.

§ 236. **Altura do som.** A altura do som é a impressão, que resulta no orgão auditivo, do maior ou menor numero de vibrações em um tempo dado. Chamam-se sons *agudos* os que provém d'um grande numero de vibrações, e sons *graves* os que são produzidos por um pequeno numero de vibrações; os sons, considerados em relação ao seu gráu de agudez e de gravidade, chamam-se *tons*. Em rigor não ha sons absolutamente agudos nem graves, senão no limite da escala dos sons perceptíveis.

§ 237. **Timbre.** O timbre é uma qualidade original, distinctiva do som da mesma altura e intensidade, qualidade particularissima que só o orgão auditivo aprecia,



mas cuja causa é pouco conhecida; é pelo timbre que distinguimos perfeitamente os sons da mesma altura e intensidade, produzidas na rebeca, no clarinete, no piano. O timbre é devido a diversos sons secundarios, que acompanham quasi sempre o som principal; parece elle depender da materia dos instrumentos, da sua fórma e do modo da sua vibração. A voz humana apresenta variações de timbre que estão em relação com a idade e sexo dos individuos. Só pelo timbre da voz podemos conhecer com segurança uma pessoa.

§ 238. **Intensidade do som.** A intensidade ou a força do som é a propriedade que faz com que se perceba a distancia maior ou menor. A intensidade depende da amplitude das vibrações do corpo sonoro e não do seu numero. Um mesmo som póde conservar o mesmo gráu de agudez e gravidade, e tomar uma intensidade maior ou menor, quando se fizer variar a amplitude das oscillações que o produz; é o que se conhece quando uma corda tensa se desvia mais ou menos da sua posição de equilibrio.

§ 239. **Causas que variam a intensidade do som.** Muitas causas modificam a intensidade do som, a saber: a *distancia do corpo sonoro*, a *amplitude das vibrações*, a *densidade do ar*, o *vento*, e, finalmente, a *vizinhança do corpo sonoro*.

1.<sup>a</sup> *Distancia do corpo sonoro.* Demonstra-se pelo calculo que a intensidade do som n'um meio indefinido, está na razão inversa do quadrado das distancias. A propagação do som nos tubos cylindricos faz excepção a esta lei. Mr. Biot affirma que nos aqueductos de Paris, na distancia de 951 metros, a voz não diminue sensivelmente de intensidade, e entretem-se de uma á outra extremidade uma conversa em voz muito baixa. Os *tubos acusticos*, destinados a transmitir a voz a grandes distancias, e que se usam nos grandes estabelecimentos e nos grandes navios para communicar as ordens com a maior rapidez, fundam-se sobre esta propriedade.

2.<sup>a</sup> *Amplitude das vibrações.* A intensidade do som augmenta com a amplitude das vibrações do corpo sonoro; podemos determinar com o auxilio das cordas vibrantes a relação que existe entre a intensidade do som e a amplitude das vibrações; para as cordas pouco compridas observa-se que o som enfraquece com a diminuição da amplitude.

3.<sup>o</sup> *Densidade do ar.* Temos visto que o som diminue de intensidade ao passo que se rarefaz o ar: a intensidade do som de uma campainha dentro do recipiente da machina pneumática vai enfraquecendo á medida do augmento da rarefacção do ar; o som extingue-se completamente se se conseguir fazer o vazio. É por esta razão que os solidos são os melhores transmissores do som.

4.<sup>o</sup> *Vento.* A intensidade do som é modificada pela agitação do ar e pela direcção do vento. Todos sabem que a propagação do som no ar calmo e sereno é muito mais intensa que no ar agitado e em violentos movimentos. A direcção do vento favorece a intensidade do som; é conhecido de todos o facto de que o som, a egual distancia, faz-se ouvir melhor na direcção do vento que no sentido opposto.

5.<sup>o</sup> *Vizinhança do corpo sonoro.* O som fica reforçado pela vizinhança d'um corpo sonoro. Uma corda tensa no ar posta em vibração, longe de qualquer corpo sonoro, dá um som muito fraco, em quanto que dá um som cheio e muito intenso, se estiver tensa sobre uma caixa larga, sonora, de paredes delgadas e elasticas; como na rebeca, na guitarra, no violão; porque a caixa e o ar, que ella contém, e a corda vibram á mesma altura.

§ 240. *Porta-voz.* O porta-voz ou a buzina é um instrumento que serve para transmittir o som a grandes distancias no ar livre. É um tubo de latão, de fórma cônica, munido n'um extremo de um boccál, que permite ajustar a bocca sem impedir o movimento dos labios, o outro extremo termina por uma abertura, a que está

adaptada uma superficie concava e larga, que se chama *pavilhão*. Fallando-se juncto do boccal, o som não perde a sua intensidade por se propagar no tubo; fica reforçado pela reflexão das ondas sonoras, nas paredes interiores do instrumento, e sobre tubo pela vibração da columna do ar interior. Este instrumento leva a voz tanto mais longe, quanto maiores forem as suas dimensões.

§ 241. *Corneta acustica*. Este instrumento é um tubo conico de metal, um extremo do qual se introduz no órgão auditivo e o outro termina em fórma de pavilhão destinado a receber o som. É uma especie de porta-voz de menores dimensões. Este instrumento tem por fim concentrar no órgão auditivo as ondas sonoras, cuja intensidade augmenta pela série de reflexões no interior do tubo. Usam d'este instrumento os individuos cuja caixa do tympano está avariada.

§ 242. *Sonoridade dos edificios*. Todas as casas destinadas ao canto, isto é, destinadas a n'ellas se produzirem sons que devem ser escutados por muitas pessoas, devem ter um certo numero de condições acusticas, para que o som chegue ao órgão auditivo com o mesmo tom, timbre e intensidade com que se produz. A fórma da casa é a principal condição; ella deve ser elliptica, parabolica ou conica para que os sons se forcem pela reflexão nas paredes. Nas casas não deve haver revestimentos de corpos molles, como sedas, lãs, tapetes e estofos, porque estas substancias absorvem o som e não o reflectem. As casas não devem ser extensas, para que não dêem logar á formação de echos e resonancias desfavoraveis.

---



## CAPITULO XIV

**Vibrações das cordas.  
Escala musical**

§ 243. **Vibrações das cordas.** Em acustica dá-se o nome de *cordas* aos corpos filiformes e elasticos pela tensão. Uma corda tensa póde vibrar de dois modos, transversal ou longitudinalmente; nas cordas distinguem-se duas especies de vibrações; umas *transversaes*, perpendiculares ás cordas; outras *longitudinaes*, no sentido do seu comprimento. Nós estudaremos as *transversaes*, que são as necessarias para a theoria physica da musica.

§ 244. **Sonometro.** O *sonometro* é um apparelho proprio para estudar as vibrações *transversaes* das cordas. Consiste em uma caixa de madeira, de paredes delgadas, destinada a reforçar o som. Sobre esta caixa existem dois cavalletes, sobre os quaes passa uma corda metallica, fixa por um dos extremos e tensa pelo outro com o auxilio de um peso, que se póde augmentar á vontade.

Um terceiro cavalleto escorrega sobre a caixa, para variar o comprimento da corda que se quer vibrar.

§ 245. **Leis das vibrações transversaes das cordas.** O numero de vibrações de uma corda metallica, homogenea e tensa, na unidade de tempo, depende do seu comprimento, do seu diametro, da sua extensão e da sua densidade. As leis das vibrações, são as seguintes:

1.<sup>a</sup> LEI. *O numero de vibrações de uma corda de tensão constante, em um tempo dado, está na razão inversa do seu comprimento.*

2.<sup>a</sup> LEI. O numero de vibrações está na razão inversa do raio da corda.

3.<sup>a</sup> LEI. O numero de vibrações é proporcional á raiz quadrada da tensão da corda.

4.<sup>a</sup> LEI. O numero de vibrações é inversamente proporcional á raiz quadrada da sua densidade.

Estas leis deduzem-se da fórmula  $n = \frac{1}{rl} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ ; onde

$n$  representa o numero de vibrações por segundo,  $l$  o comprimento da corda,  $r$  o raio,  $d$  a densidade,  $P$  a tensão e  $\pi = 3,14159$ .

Estas leis têm applicação nos instrumentos de cordas, nos quaes, fazendo variar o comprimento, o diametro e a densidade das cordas, se póde obter uma nota determinada.

§ 246. Nós e linhas nodaes. N'um corpo vibrante existem pontos e linhas, que se conservam immoveis; estes pontos e linhas denominam-se *nós e linhas nodaes*. Chama-se *ventre* o ponto das partes vibrantes, comprehendidas entre dois nós ou linhas nodaes, onde as vibrações chegam ao maximo da sua amplitude.

§ 247. Avaliação experimental do numero de vibrações de um som dado. Ha muitos processos para determinar experimentalmente o numero de vibrações de um som dado, na unidade do tempo. Temos a *roda dentada de Savart*, a *serêa acustica* e o *methodo graphico*; só exporemos a serêa acustica e o methodo graphico.

*Serêa acustica*. A serêa acustica compõe-se de uma caixa cylindrica *abcd*, fig. 79, de latão, cujo fundo inferior é aberto e communica com um tubo *porta-vento u'*; o fundo superior é formado de um prato *P*, fixo, com diferentes orificios circulares *v, v'*, inclinados á sua superficie, e dispostos a eguaes distancias uns dos outros; superiormente ao prato *P*, existe um disco *M* movel, sem attrito sensivel, tambem com orificios circulares, *u, u'*,

obliquos, correspondentes aos do prato fixo P, mas inclinados em sentido contrario, de sorte que no seu movimento de rotação todos os orificios do prato P ficam fechados ou abertos ao mesmo tempo.

O disco M está fixo a um eixo de rotação  $x$ , que termina superiormente por um parafuso sem fim  $i$ . Este parafuso faz girar uma roda  $r$ , que tem na sua circumferencia, 100 dentes e uma cavilha  $z$ , que por cada volta completa da roda  $r$  faz avançar um dente de uma segunda roda R. Os eixos d'estas rodas sustentam ponteiros, que giram sobre mostradores convenientemente graduados.

Para conhecermos, por meio d'este instrumento, o numero de vibrações de um som dado, colloque-se o tubo porta-vento, em communicação com um aparelho de insufflação de corrente contínua. O ar, atravessando a caixa e os orificios do prato fixo P, incide obliquamente nos orificios do disco M, que por este meio toma um movimento de rotação muito rapido, e os orificios do prato fixo ficam alternativamente fechados e abertos em quanto dura este movimento. Ora como o ar sáe, ao mesmo tempo, pelos orificios do disco, quando estão em correspondencia com os do prato fixo, e fica interrompida a sua sahida no caso contrario, segue-se que a serie de interrupções e communicações dos orificios faz vibrar o ar, o que produz sons, tanto mais agudos quanto mais rapido é o movimento do disco M.

Se o prato fixo P tiver um só orificio e o disco M vinte, a passagem do ar será vinte vezes livre e outras tantas interrompida, durante uma revolução completa do disco M; e no tempo em que isso se verifica, produzem-se vinte vibrações completas.

Se o prato fixo P tiver vinte orificios, numero igual aos do disco M, cada um d'elles produzirá igual effeito e o som será vinte vezes mais intenso, e o numero de vibrações conservar-se-ha invariavel.

Para determinar o numero de vibrações de um som



dado, em um segundo, basta observar o andamento das agulhas das rodas; uma, a da roda  $r$ , indica o numero de voltas do disco e a outra, a da roda  $R$ , os centos d'ellas; conhecido o numero de voltas em um segundo, basta multiplicar-o por 20. Supponhamos que queremos saber o numero de vibrações de um som dado. Para isso põe-se a serêa em movimento de rotação, até que o som produzido seja unisono com o som daço, durante dois minutos por ex. Primeiramente lê-se no mostrador o numero de voltas que o disco faz n'este tempo dado, multiplica-se este numero por 20 e divide-se o producto por 120; o quociente será o numero de vibrações em um segundo. Representando por  $n$  o numero de voltas do disco, indicado

pelo ponteiro  $r$ ; será  $nr = \frac{20 \times n}{120}$ .

A serea produz sons dentro de agua por meio de uma corrente d'este liquido; é d'esta propriedade que lhe proveio o nome.

*Methodo graphico.* Para determinar o numero de vibrações pelo methodo graphico, basta fazer inscrever, pelo proprio corpo vibrante, as vibrações que elle produz em um tempo dado; para isso assenta-se sobre o corpo vibrante um diapasão, que dê exactamente o mesmo som, armado, em um dos seus ramos, com um ponteiro muito fino; pondo-o em contacto com uma placa de vidro coberta de negro de fumo, que se escorrega n'uma direcção perpendicular ás vibrações. Quando se produz o som, o ponteiro traça sobre a placa zigzagues, visto achar-se em cada instante n'uma altura differente, em relação ao bordo inferior da placa. Contando, com o auxilio de uma lente, o numero de zigzagues, conhece-se o numero de vibrações executadas pelo diapasão, e por conseguinte o do corpo vibrante.

§ 248. Escala musical. Gamma. Dá-se o nome de *escala musical* a uma serie de sons, separados por in-

tervallos rigorosamente determinados, que se reproduzem por periodos de sete notas, e na mesma ordem. As relações entre estes sons são muito simples, e parecem ter origem na nossa propria organização.

Chama-se *gamma* a serie de sete sons ou notas, ou o primeiro periodo da escala musical. O nome d'estes sete sons ou notas da gamma, e o numero de vibrações relativamente ao primeiro, são os seguintes:

Notas		<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
Numero de vibrações	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$		2

A repetição de varias gammas constitue as *oitavas*. Dá-se o nome de escala musical *diatomica* áquella cuja gamma tem sete notas ou tons, e em que ha as relações das vibrações em cima indicadas; ou é aquella em que se passa dos sons de uma oitava, para os correspondentes da oitava superior ou aguda, multiplicando por 2 o numero das vibrações. Chama-se escala musical *chromatica* aquella cuja gamma contém, além dos sete tons, mais cinco meios tons, ficando meio tom entre tons consecutivos; ou aquella em que os intervallos successivos são todos meios tons, confundindo-se os sustenidos com os bemoes.

§ 249. *Intervallos musicaes*. Chamam-se *intervallos musicaes* as relações entre o numero de vibrações que produzem dois sons: o intervallo entre duas notas consecutivas tem o nome de *segunda*; quando entre as duas notas que se comparam houver uma, duas, tres, etc. notas, o intervallo chama-se *terceira*, *quarta*. Os intervallos das notas consecutivas da escala reduzem-se a tres,

que são:  $\frac{9}{8}$ ,  $\frac{10}{9}$  e  $\frac{16}{15}$ ; denominam-se *tom maior*, *tom*

*menor e meio-tom maior*; a gamma compõe-se pois, de dois tons, um meio tom, tres tons e um meio tom.

§ 250. **Acordes.** Denomina-se *acorde* ou *consonancia* a impressão, agradável ao ouvido, pela producção simultanea de varios sons; *dissonancia* ou *cacophonia* é a impressão desagradavel de muitos sons. O acorde mais simples é o *unisono*, em que os sons são produzidos pelo mesmo numero de vibrações; depois é a *oitava*, em que o numero de vibrações de um som é o dobro das do outro; temos ainda *quinta*, *quarta* e *terceira*, cujas relações entre os numeros

de vibrações são respectivamente  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{4}{3}$ ,  $\frac{5}{4}$ .

Chama-se *acorde perfeito* o acorde formado por sons,

cujos numeros de vibrações estão entre si como  $1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$  ou 4, 5, 6; taes são por ex. do, mi, sol.

§ 251. **Diapasão.** Este instrumento compõe-se de uma barra de aço recurvada ao meio em dois ramos, cujos extremos ficam muito proximos; está assente pelo meio da sua curvatura sobre um pé de metal. Faz-se vibrar o instrumento percutindo-o, ou passando-lhe um arco sobre elle, ou afastando bruscamente os seus dois ramos por meio de um cylindro, que se passa á força entre elles. Para reforçar o som que elle produz, monta-se em uma caixa aberta interiormente. Serve para afinar os instrumentos. O diapasão normal, adoptado em Paris, faz 870 vibrações simples por segundo; corresponde ao *la normal*.



## CAPITULO XV

## Calor

§ 252. Os physicos, para explicar os phenomenos calorificos, luminosos, magneticos e electricos, admittiam a existencia de fluidos imponderaveis, como entidades materiaes distinctas, com propriedades especiaes inherentes á natureza da sua substancia, muito subtil, elastica e sem peso, percorrendo espaços com prodigiosa rapidez; taes como o *calorico*, a *luz*, o *magnetismo* e a *electricidade*. A physica moderna, porém, considera os taes phenomenos como modos diversos de movimento da materia ponderavel, que se propagam por intermedio do *ether*, substancia muito subtil e elastica, que se acha espalhada por todo o universo, que está em contacto com todos os corpos, penetrando os póros intermoleculares e até o vazio o mais perfeito.

Seguindo os progressos da physica moderna, que considera todos os corpos como transformações do ether, ou, para melhor dizer, como condensações da força, seria contra-senso admittir corpos ponderaveis e imponderaveis, e dizer que o calor é o effeito do calorico; mas nos estudos elementares, onde é defeso expôr as transcencias scientificas, somos forçados, para facilitar o estudo e evitar confusões, a usar expressões que a rotina escolar, aliás condemnavel, as emprega.

§ 253. Calor. O calor é o resultado do movimento vibratorio, muito pequeno e muito rapido das ultimas moleculas da materia ponderavel; movimento que se propaga entre os corpos por intermedio do fluido ether.

O calor obra sobre todos os corpos; é o elemento essencial da existencia dos seres organicos; elle funde o gelo, ferve a agua, e torna rubro o ferro; compõe e decompõe os corpos, muda-lhes o estado, afasta-lhe as moleculas, e as mantém a distancia impedindo-lhes o contacto; finalmente é o amimador do Universo.

§ 254. *Theorias do calor.* Reinam na sciencia tres theorias relativas ao calor; a das *emissões*, devida a Newton; a das *ondulações*, admittida por Descartes; e a *theoria mechanica do calor* ou a *theoria thermodynamica*, uma das brilhantes conquistas da physica moderna.

*Theoria das emissões.* N'esta theoria suppõe-se que o corpo quente emite, em todos os sentidos, particulas materiaes muito tenués, que, percorrendo espaços com grande velocidade, se reflectem á superficie dos corpos que encontram, penetram e combinam-se com as suas moleculas; impressionando-nos, produzem em nós a sensação de *quente*; estas moleculas estão continuamente em estado de repulsão. Segundo esta theoria um corpo será tanto mais quente, quanto maior numero de moleculas concentrar; será tanto mais frio, quanto maior numero de moleculas perder.

*Theoria das ondulações.* Na theoria das ondulações suppõe-se que o calor não é uma substancia material; é o resultado de movimentos vibratorios muito rapidos, das moleculas do corpo quente; estes movimentos transmitem-se ás moleculas dos outros corpos por intermedio do ether, no qual se propagam á maneira das ondas sonoras no ar.

Segundo esta theoria, um corpo será tanto mais quente, quanto maior for a rapidez dos movimentos vibratorios, e quanto maior for a sua amplitude; e a intensidade do calor será a resultante das vibrações das moleculas; um corpo será frio, se perder o movimento vibratorio. Esta theoria, desenvolvida por Bernouilli, Euler e Fresnel, simplifica em geral a explicação dos phenomenos calorificos.

Sem entrarmos na discussão de cada uma d'estas theorias,

podemos afirmar que nenhuma d'ellas está sufficientemente demonstrada por factos conhecidos.

§ 255. **Theoria mechanica do calor.** Esta theoria, que tambem se denomina *theoria thermodynamica*, baseada na observação dos factos, consiste em admittir a transformação do movimento em calor, e do calor em movimento; tem por principio a *equivalencia do trabalho mechanico e do calor*.

Para provar a transformação do movimento em calor, temos os seguintes factos. Quando um corpo em movimento encontra um obstaculo que o faz parar, o seu movimento desaparece, mas não se destróe; transforma-se em movimento vibratorio, que gera o calor. Assim a percussão do martello na bigorna, ou contra qualquer barra de madeira, de ferro, de chumbo, mostra que a bigorna, as barras e o martello se aquecem mais ou menos, segundo a violencia do choque; uma bala de peça de artilheria, batendo contra uma grossa placa metallica, torna-se quente e até rubra; o attrito entre dois corpos desenvolve calor, e tanto mais intenso, quanto maior for a pressão e rapidez do movimento; todos conhecem que os eixos das carruagens se aquecem pela fricção a ponto de se inflammarem, se não forem logo humedecidos; a percussão do aço contra a pederneira produz faiscas luminosas, e por conseguinte calor; a compressão rapida dos solidos, dos liquidos e principalmente dos gazes, desenvolve calor; em todos estes exemplos se observa que o movimento produz calor, isto é, que o movimento mechanico se transforma em calor.

Se deixarmos cair uma bala de chumbo, ou de qualquer substancia, não elastica, sobre um plano resistente, esta aquece; a força viva de que ella está animada converte-se em calor. Se esta bala cahisse no vazio de uma altura de 100 metros, ganharia uma temperatura proximamente de  $10^{\circ}$ ; se cahisse de 1275 metros, teria uma temperatura de  $100^{\circ}$ ; se cahisse de 4300 metros,



teria uma temperatura quasi de fusão. Em todos estes phenomenos a observação mostra que a força viva se converteu em calor; e a quantidade do calor produzido é constantemente proporcional ao trabalho mechanico.

Se o movimento se transforma em calor, reciprocamente o calor converte-se em trabalho mechanico. Se deixarmos voltar ao seu primitivo comprimento uma larga e comprida tira de elastico, de ante mão distendida, observa-se que ella arrefece de um modo sensivel; observa-se que ha perda de calor, quando um gaz se dilata vencendo uma resistencia exterior; a sahida por um orificio estreito de ar humido, comprimido a 4 ou 5 atmospheras, arrefece a tal ponto, que cobre de uma camada de flocos de neve os objectos que se apresentam ao jacto gazoso; a expansão dos vapores produz um resfriamento consideravel. Ora o calor, que desaparece n'estas experiencias, transforma-se em trabalho mechanico, o qual tem pôr effeito pôr em movimento o corpo comprimente ou vencer a resistencia, que tinha analogo fim; é porisso que na expansão dos vapores nas machinas uma porção de calor se transforma em trabalho mechanico.

§ 256. Trabalho interno e trabalho externo. Quando se communica uma certa quantidade de calor a um corpo, operam-se n'elle duas especies de trabalho; *trabalho interno* e *trabalho externo*. O *trabalho interno* é o que vence as resistencias interiores das attracções moleculares, destruindo a cohesão; promove o afastamento das moleculas das suas posições de equilibrio, e determina uma mudança na disposição das moleculas, produzindo dilatações e mudanças de estado; tambem augmenta a amplitude e a velocidade das vibrações moleculares do corpo, e por conseguinte eleva a temperatura que se torna sensivel ao thermometro. O effeito do trabalho interno, é, em ultima analyse, a producção da *dilatação* e *aquecimento* do corpo. A avaliação directa do trabalho interno, no estado actual da sciencia, é impossivel, porque

depende do deslocamento da molecula, da sua fórma, da sua grandeza e da direcção da força que se lhe applica, circumstancias completamente desconhecidas.

O *trabalho externo* é o que vence as resistencias; como por ex. elevar um peso, vencer a pressão atmospherica.

§ 257. *Equivalente mechanico do calor*. Chama-se *equivalente mechanico do calor* a quantidade de trabalho mechanico, necessario para elevar um kilogramma de agua de zero a um grau de temperatura, isto é, para produzir uma *caloria*; ou a quantidade de trabalho produzida pela caloria ou unidade de calor. Os physicos, depois de numerosas experiencias, adoptaram 425 kilogrametros para equivalente, mechanico do calor; quer dizer, que um trabalho de 425 kilogrametros produz uma caloria, quantidade de calor capaz de elevar um kilogramma de agua de 0° a 1° de temperatura; reciprocamente, a quantidade de calor necessaria para elevar de 0° a 1° de temperatura um kilogramma de agua, desenvolve uma força motora capaz de elevar um peso de 425 kilogrammas a um metro de altura, ou um kilogramma a 425 metros de altura.

§ 258. *Fontes de calor*. As fontes de calor são tres: fontes *physicas*, *mechanicas* e *chimicas*. As fontes physicas comprehendem: o *calor solar*, que é a principal e mais abundante fonte de calor, pois que durante um anno envia para a terra 231000 calorias por centimetro quadrado; o *calor central*, que, em razão da má conductibilidade da crusta terrestre, não aquece a superficie do globo, em

mais de  $\frac{1}{36}$  de grau; as *acções moleculares*, que sempre

produzem calor, como acontece na absorpção de um gaz por um solido; como por ex. na absorpção do hydrogenio pela esponja de platina; a *electricidade*, que tambem desenvolve calor. As fontes mechanicas são: o *atrito*, a *compressão*, a *percussão*, a *flexão*, e em geral todas as de

formações moleculares produzidas pelas acções mechanicas; todas estas produzem movimento vibratorio calorifico. As fontes chemicas são: as combinações, as combustões, a combustão espontanea e o calor animal, que é uma verdadeira combustão.

§ 259. Dilatação. Chama-se *dilatação* o augmento de volume de um corpo pela acção do calor. A dilatação é um effeito do trabalho interno; á medida que um corpo aquece, a amplitude e a velocidade das suas vibrações augmentam e a temperatura eleva-se; do afastamento das moleculas, vencendo a attracção molecular, provém a dilatação do corpo.

Todos os corpos se dilatam; a dilatação varia com a natureza do corpo; os gazes são mais dilataveis que os liquidos, estes mais que os solidos. A dilatação pôde ser *linear*, segundo o comprimento ou uma só dimensão; *superficial*, segundo as duas dimensões, comprimento e largura; e *cubica*, segundo o volume ou tres dimensões. As seguintes experiencias demonstram a dilatação dos corpos em cada um dos seus estados.

§ 260. Dilatação dos solidos. A dilatação dos solidos pôde ser *linear*, *superficial* e *cubica*; estas dilatações têm logar simultaneamente. A *dilatação linear* põe-se em evidencia por meio do *pyrometro de quadrante*. Consiste este instrumento n'um tablado que sustenta duas pequenas columnas, fig. 80; uma barra de ferro AB atravessa estas columnas na sua parte superior; a extremidade B da barra está fixa em C por um parafuso de pressão, e a outra extremidade A apoia-se livremente contra o ramo menor F, de uma agulha em fórma de cotovelo, movel em redor de um ponto O, sobre um quadrante graduado; por baixo da barra ha uma lampada de alcool. Antes do aquecimento da barra a agulha está collocada no zero da divisão; quando a barra se aquece por meio da chamma do alcool, esta alonga-se no sentido de BA e faz gyrar a agulha sobre o quadrante, percorrendo um certo numero



de gráus, tanto maior quanto maior for o aquecimento da barra.

Este mesmo aparelho serve para mostrar que os corpos não se dilatam igualmente: se em lugar da barra de ferro, collocarmos uma de cobre, ou de qualquer outro metal, sob a mesma quantidade de calor, estas barras alongam-se desigualmente, porque a indicação da agulha é differente para as dilatações de cada barra.

A *dilatação cubica* demonstra-se pelo *annel de S. Grazeude*. Este pequeno aparelho compõe-se de um anel metallico, fig. 81, no qual passa livremente, á temperatura ordinaria, uma esphera de cobre de um diametro quasi igual ao do anel. Aquecendo a esphera por meio da lampada de alcool, deixa de atravessar o anel, o que mostra que augmentou de volume.

§ 261. Dilatação dos liquidos. Os liquidos dilatam-se: demonstra-se a dilatação dos liquidos por meio de um aparelho muito simples. Consiste este em um balão A de vidro, munido de um tubo muito comprido e estreito, fig. 82. O balão e o tubo contêm alcool córado, até uma certa altura  $h$ , á temperatura ordinaria. Mergulhando o balão em um reservatorio cheio de agua quente, observa-se o seguinte phenomeno: logo depois da immersão do balão, o nivel do liquido desce abaixo do ponto  $h$ , e pouco tempo depois sobe até  $h'$ : evidentemente o liquido, sob a acção do calor da agua, dilatou-se e subiu até  $h'$ , e subiria mais se o calor fosse mais forte.

O subito abaixamento de nivel do liquido no primeiro momento da immersão do balão no reservatorio de agua quente, que pareceria á primeira vista ser a contracção do liquido, provém do augmento da capacidade do reservatorio, visto que as paredes se dilatam pela acção do calor da agua quente, antes que o liquido tenha tido tempo de sentir a influencia do calor. Este effeito é de curta duração.

Vê-se pois que os liquidos têm duas dilatações: uma

*apparente*, que consiste no augmento sensível do volume que toma o liquido no vaso onde se contém, e cujas paredes se dilatam menos que elle; a outra *absoluta*, que é a dilatação real do liquido, feita a abstracção da dilatação das paredes do vaso. A dilatação absoluta do liquido é igual á dilatação apparente mais a dilatação cubica do vaso que o contém.

§ 262. Dilatação dos gazes. Os gazes dilatam-se mais que os liquidos. Demonstra-se a dilatação dos gazes por meio de uma pequena esphera de vidro, fig. 83, munida de um tubo muito comprido e estreito. A esphera contém gaz; um pequeno indicador *m* de mercurio intercepta a comunicação do ar atmospherico com o interior da esphera. Applicando sobre a esphera a mão, o calor d'esta basta para dilatar o gaz; e na verdade o gaz dilata-se, porque faz andar o indicador *m* até *m'* para a extremidade livre do tubo.

### Thermometros

§ 263. Thermometros. Os *thermometros* são instrumentos, que servem para medir as temperaturas e apreciar as suas variações.

Chama-se *temperatura* a quantidade de calor sensível, que um corpo tem n'um tempo dado; ella representa a força viva das moleculas dos corpos, e portanto depende da sua massa e velocidade. A experiencia mostra que as variações de volumes dos corpos são dependentes das de temperatura; pôde-se pois avaliar esta observando a dilatação dos corpos, que é o effeito do calorico.

§ 264. Todos os corpos podem servir para construir thermometros. Os que se constroem de solidos e que servem para avaliar altas temperaturas, têm o nome de *pyrometros*. Os que são construidos de liquidos, que se denominam simplesmente *thermometros*, servem para me-

dir as temperaturas não muito elevadas; empregam-se de preferencia estes, porque a dilatação dos liquidos é maior que a dos solidos e menor que a dos gazes, e prestam-se melhor ás observações das variações das temperaturas. Os que são construidos de gazes têm o nome de *thermometros differenciaes*, e servem para marcar pequenas differenças de temperaturas muito pouco elevadas.

Na construcção dos thermometros liquidos o mercurio e o alcool são exclusivamente preferidos; porque o mercurio é de todos os liquidos o que se dilata mais uniformemente, não entra em ebulição senão a uma temperatura muito elevada, 400°, e não se congela senão a uma temperatura muito baixa, — 40°; o alcool nunca se congela.

§ 265. *Thermometro de mercurio*. Este instrumento compõe-se de um tubo capillar de vidro, bem calibrado, soldado a um reservatorio cylindrico ou espherico tambem de vidro. O reservatorio e parte do tubo estão cheios de mercurio; uma escala graduada sobre o tubo ou sobre uma regoa, que lhe é parallelá, faz conhecer a dilatação do liquido.

Diz-se que um tubo está bem calibrado quando o seu diametro interior é o mesmo em toda a extensão. Para conhecer se um tubo está ou não bem calibrado, basta fazer caminhar de uma a outra extremidade uma columna de mercurio de 2 e 3 centimetros; se o diametro interior do tubo for constante, as dimensões da columna de mercurio não variam; se o não for, as dimensões da columna mercurial não podem ser constantes.

§ 266. *Construcção do thermometro de mercurio*. A construcção do thermometro de mercurio, depois de soldar o tubo calibrado ao reservatorio, consiste em duas operações—introducção do mercurio no reservatorio e no tubo, e graduação:

*Introducção do mercurio*. Para introduzir o mercurio no thermometro solda-se á extremidade superior do tubo um pequeno funil C, fig. 84. Enche-se este de mercurio;



observa-se que o mercurio não c ae no reservatorio B, em virtude da pressão do ar que se cont em no reservatorio e no tubo, que equilibra a pressão atmospherica. Inclinando um pouco o tubo, aquece-se o reservatorio a uma lampada de alcool; o ar que cont em o tubo dilatando-se s ae em parte pelo funil, atravez do mercurio, em bolhas. Deixando em seguida resfriar o reservatorio e dando ao tubo uma posi o vertical, o ar contido n'este se contrahe e a pressão atmospherica f or a o mercurio a entrar no reservatorio gotta a gotta; mas quando o ar que fica no tubo adquirir, pela diminui o do volume, uma f or a elastica equivalente à pressão atmospherica, o mercurio deixa de cahir no reservatorio. Aquecendo então de novo o reservatorio e deixando-o resfriar, entra uma nova quantidade de mercurio, assim se opera continuamente. Aquecendo o reservatorio até que o mercurio entre em ebulli o, os vapores mercuriaes expulsam o ar e a humidade, que se achavam no apparelho, de sorte que pelo resfriamento o reservatorio e o tubo fiquem completamente cheios de mercurio. Aquece-se pela ultima vez o reservatorio de modo que pela ebulli o do mercurio a metade ou dois terços d'este liquido, que está no tubo, sejam expulsos, senão este liquido não poderia dilatar-se sem quebrar o instrumento. Quando o instrumento estiver cheio de mercurio puro e secco, e em ebulli o, solda-se a extremidade superior, separando ao mesmo tempo o funil. Pelo resfriamento do apparelho o mercurio desce lentamente no interior do tubo e estaciona n'um ponto, variavel segundo a temperatura do meio ambiente.

*Grada o do thermometro.* Para graduar o thermometro é necessario determinar dois pontos fixos, de temperaturas constantes e faceis de verificar, e dividir o espaço comprehendido entre estes em um certo numero de partes eguaes, cada uma das quaes representará um gráu da escala. As temperaturas constantes, que indicam estes dois pontos fixos pela posi o de nivel do mercurio,

quando n'ellas se acha o thermometro, são, uma a do gelo fundente, que se designa por  $0^{\circ}$ , a outra a do vapor de agua fervente aonde se marca 100 gráus. A temperatura do gelo fundente é a mesma, qualquer que seja a fonte do calor que a produza, como tambem a do vapor de agua a ferver.

Para marcar estes dois pontos de temperaturas constantes, mergulhe-se o thermometro em um vaso cheio de gelo pilado ou de neve, cujo fundo inferior é cheio de buracos; o mercurio desce rapidamente e fica estacionario; marca-se *zero* sobre o tubo no ponto que corresponde ao nivel do mercurio; assim obtemos um ponto fixo. Para marcar outro ponto introduz-se o thermometro n'um tubo de latão, cuja fórma é indicada na fig. 85, tendo o reservatorio e o tubo constantemente cercados de vapor de agua a ferver. O mercurio sobe rapidamente no tubo até certo ponto, onde fica estacionario; marca-se 100 sobre o tubo thermometrico no ponto correspondente ao nivel do mercurio. Conhecidos estes dois pontos, divide-se o intervallo, por elles comprehendido, em 100 partes eguaes, que se denominam *gráus centigrados* e prolonga-se a divisão acima de  $100^{\circ}$  e abaixo de zero. Os gráus que ficam acima de zero são positivos, os que ficam abaixo de zero são negativos, e representam-se com o signal —. O thermometro assim graduado tem o nome de *thermometro centigrado*.

Reaumur dividiu o intervallo entre os dois pontos fixos, correspondentes á temperatura do gelo fundente e á do vapor de agua fervente em 80 gráus. O thermometro assim graduado tem o nome de *thermometro de Reaumur*.

Fahrenheit graduou o thermometro, que tem o seu nome, *thermometro de Fahrenheit*, obtendo os dois pontos fixos do seguinte modo. Mergulhou o thermometro n'uma mistura frigorifera, composta de partes eguaes de sal ammoniaco e de gelo, no ponto onde ficou estacionario o mercurio marcou o *zero*, ponto fixo inferior; o ponto

fixo superior obteve-o, como no thermometro centigrado, isto é, com a temperatura do vapor de agua fervente, e ahi marcou 212. Dividiu este intervallo em 212 gráus. O thermometro de Fahrenheit no gelo fundente marca 32 gráus, por conseguinte os 100° do centigrado ou 80° de Reaumur, correspondem a  $212^{\circ} - 32^{\circ} = 180^{\circ}$  do Fahrenheit.

§ 267. **Differentes escalas thermometrias.** As escalas thermometricas são tres: a *escala centigrada*, aquella em que o intervallo entre a temperatura do gelo fundente e a do vapor da agua fervente está dividido em 100 partes eguaes ou gráus centigrados; a *escala de Reaumur*, em que o mesmo espaço está dividido em 80 partes eguaes ou gráus de Reaumur; a *escala de Fahrenheit* em que o intervallo entre as temperaturas da mistura frigorifera de partes eguaes de sal ammoniaco e de neve e a do vapor de agua fervente, está dividido em 212 partes eguaes, ou gráus de Fahrenheit; designam-se estas escalas por C, R e F.

§ 268. **Conversão das escalas thermometricas.** A conversão das escalas consiste em exprimir os gráus de uma escala nos da outra. Conhecidos os gráus da escala centigrada, saber o quanto valem na de Reaumur ou de Fahrenheit, e reciprocamente. As regras que temos para estas conversões são as seguintes:

1.º Para converter os gráus centigrados nos de Reaumur, basta multiplicar os gráus centigrados por  $\frac{4}{5}$ . Assim 30° C equivalem a  $30 \times \frac{4}{5} = 24^{\circ}$  R; porque sabemos que 100° C equivalem a 80° R; portanto podemos estabelecer a seguinte proporção

$$100^{\circ} \text{ C} : 80^{\circ} \text{ R} :: 30^{\circ} \text{ C} : x \text{ R.}$$

ou

$$x \text{ R} = 30 \times \frac{80}{100} = 30 \times \frac{4}{5} = 24^{\circ}.$$



Reciprocamente para converter os gráus de Reaumur em gráus centigrados; *basta multiplicar os gráus de Reaumur por  $\frac{5}{4}$* . Assim  $40^{\circ}$  R equivalem a  $40 \times \frac{5}{4} = 50^{\circ}$  C.

A seguinte proporção dá

$$80^{\circ} \text{ R} : 100^{\circ} \text{ C} :: 40^{\circ} \text{ R} : x \text{ C}$$

ou 
$$x \text{ C} = 40 \times \frac{100}{80} = 40 \times \frac{5}{4} = 50^{\circ}$$

2.º Para converter os gráus centigrados nos de Fahrenheit, *basta multiplicar os gráus centigrados por  $\frac{9}{5}$  e junctar ao producto  $32^{\circ}$* . Assim  $30^{\circ}$  C equivalem a  $30 \times \frac{9}{5} + 32 = 86^{\circ}$  F; porque sabemos que  $100^{\circ}$  C equivalem a  $212 - 32 = 180$ ; portanto estabelecendo, a proporção, temos

$$100^{\circ} \text{ C} : 180^{\circ} \text{ F} :: 30^{\circ} \text{ C} : x \text{ F}$$

ou 
$$x \text{ F} = 30 \times \frac{180}{100} = 30 \times \frac{9}{5} = 54^{\circ}$$

junctando a  $54^{\circ}$  mais  $32^{\circ}$ , temos  $86^{\circ}$  F.

Reciprocamente, para converter os gráus de Fahrenheit em gráus centigrados, *basta multiplicar os gráus de Fahrenheit, depois de lhe subtrahir  $32^{\circ}$  por  $\frac{5}{9}$* .

Assim  $95^{\circ}$  F equivalem a  $(95 - 32) \times \frac{5}{9} = 63 \times \frac{5}{9} = 35^{\circ}$  C.

Pela seguinte proporção temos

$$180^{\circ} \text{F} : 100^{\circ} \text{C} :: (95 - 32) \text{F} : x \text{C}.$$

ou

$$x \text{C} = 63 \times \frac{100}{180} = 63 \times \frac{5}{9} = 35^{\circ}.$$

A conversão dos grãos de Reaumur nos de Fahrenheit, e reciprocamente é quasi analoga.

§ 269. Deslocação do zero. A determinação das temperaturas pelos thermometros de mercurio, construidos com o maximo cuidado, fica sujeita a uma causa de erro, que, sendo impossivel de evitar, convém corrigir: esta causa é a *deslocação do zero da escala*. Esta deslocação póde ser *lenta* ou *rapida*. Observa-se que com o tempo o zero da escala se eleva algumas vezes dois grãos; quer dizer, que, mergulhando o thermometro no gelo fundente, o nivel do mercurio fica acima do zero da escala; é pois necessario tér conta n'este deslocamento do zero para obter a verdadeira e exacta medida da temperatura.

Este phenomeno, impossivel de evitar, não tem até ao presente recebido uma explicação satisfactoria. Suppõe-se que a deslocação do zero provém da diminuição de capacidade do reservatorio, pela contracção lenta que o vidro soffre. Tambem se observam variações rapidas na posição do zero, quando o thermometro fica submettido a uma temperatura muito elevada; se mergulharmos o thermometro no gelo fundente, o mercurio não desce ao zero da escala, senão passado um certo tempo mais ou menos longo. Convém pois, quando se tracta de medir á temperatura com precisão, verificar primeiramente a posição de zero no thermometro de que se fizer uso.

§ 270. Limites do thermometro de mercurio. O mercurio é entre os liquidos, o que se dilata mais uniformemente, e a sua dilatação é proporcional á intensidade

do calor, entre  $-36^{\circ}$  e  $100^{\circ}$ . A  $350^{\circ}$  entra em ebulição e a  $-40^{\circ}$  congela-se; por conseguinte, para as temperaturas elevadas, as indicações do thermometro de mercurio não podem passar além do ponto de ebulição, e para as baixas além de  $-36^{\circ}$ ; porque abaixo d'estes gráus a sua dilatação é irregular. Segue-se pois, que de entre os thermometros de liquidos, o thermometro de mercurio é o mais preferivel, e os seus limites são  $-36^{\circ}$  para as temperaturas baixas, e  $350^{\circ}$  para as elevadas.

§ 271. **Sensibilidade dos thermometros.** Ha duas especies de sensibilidade nos thermometros: uma é relativa ás fracções, muito pequenas do gráu; a outra é relativa á rapidez, com que o thermometro recebe a temperatura do meio ambiente, para indicar de prompto as variações. Obtem-se a primeira especie de sensibilidade empregando um grande reservatorio, contendo grande massa de mercurio, de maneira que cada gráu occupe no tubo uma grande extensão. A segunda especie de sensibilidade consegue-se fazendo com que o instrumento contenha pequena massa de mercurio e uma grande superficie. N'este caso é preferivel um reservatorio cylindrico de diametro muito pequeno, ao espherico.

Estas duas especies de sensibilidade que se contrariam podem-se conciliar, quanto possivel, fazendo pequeno o reservatorio e muito delgado o tubo, dando a secção interior a fórma elliptica muito alongada, para que a columna mercurial, que apresenta a fórma de uma lamina, seja facilmente visivel.

§ 272. **Thermometros de precisão.** Os thermometros de precisão são os que têm a escala gravada no tubo: ella não póde deslocar-se e o seu comprimento fica sensivelmente constante, visto o vidro ser pouco dilatavel. Para conseguir a gravura da escala sobre o vidro com traços permanentes, cobre-se o tubo thermometrico com uma camada de verniz, riscam-se, com uma ponta de aço, sobre o verniz os traços da escala, assim



como os algarismos correspondentes; expõe-se o tubo durante 3 ou 4 minutos á acção de vapores de acido fluorhydrico, que tem a propriedade de atacar o vidro, e ficam os traços gravados onde não existe o verniz. Para se ver bem o mercurio, tem o tubo em todo o seu comprimento uma faixa de esmalte branco, sobre a qual se vé projectado o liquido, distinguindo-se bem o seu nivel.

§ 273. **Graduação dos thermometros por comparação.** A graduação directa dos thermometros é sempre preferivel por ser rigorosa; comtudo graduam-se os thermometros por comparação com um bom thermometro já graduado, por causa da simplicidade da operação e por satisfazerem ao fim quasi com a mesma precisão. Para isso mergulham-se os thermometros por graduar em um vaso com agua, que se vai aquecendo gradualmente; marcam-se, nos pontos correspondentes ao nivel do mercurio dos thermometros immersos, os gráus indicados por aquelle que se acha graduado; depois dividem-se os intervallos em tantas partes eguaes, quantos os gráus entre elles comprehendidos. Quando se não designa a escala, subentende-se ser centigrada.

§ 274. **Thermometros de alcool.** Chamam-se thermometros de alcool os que contêm alcool em lugar de mercurio. A construcção d'estes não requer tantos cuidados e precauções como a dos de mercurio.

Para introduzir o alcool n'estes instrumentos, aquece-se o reservatorio e mergulha-se logo a extremidade aberta do tubo n'um banho de alcool, previamente córado de encarnado por meio de ursela, para ser bem visivel no tubo. Em consequencia da dilatação do ar contido no tubo, a pressão atmospherica faz subir o alcool no tubo e no reservatorio, que se enchem em parte. Aquece-se de novo até que o alcool entre em ebullicão; o ar é completamente expulso pelo vapor; tornando a mergulhar o tubo no alcool, o instrumento fica completamente cheio. Solda-se depois a extremidade aberta do tubo e gra-

dua-se este thermometro por comparação com um bom thermometro de mercurio.

Os thermometros de alcool servem para medir as temperaturas muito baixas, porque o alcool nunca gela.

§ 275. Thermometros de maxima e minima. Estes thermometros indicam a maxima e a minima temperaturas de um lugar em um dado tempo; por conseguinte indicam a temperatura media d'este lugar. Tem-se imaginado um grande numero de instrumentos d'esta especie, porém o mais simples é o de Rutherford, que vamos expor.

Compõe-se de dois thermometros ordinarios, cujos tubos são recurvados em angulo recto, fixos horizontalmente a uma prancheta de madeira, um por cima do outro, fig. 86. O superior é o thermometro de maxima, é de mercurio e contém no tubo um pequeno *indicador*, *a*, de aço. Quando a temperatura se eleva, o mercurio dilata-se e impelle adeante de si o indicador; quando a temperatura se abaixa, o mercurio contrahe-se sem conduzir o indicador com quem não tem nenhuma adherencia. O ponto da permanencia do indicador indica a maxima temperatura. O inferior é o thermometro da minima, é de alcool, contém no tubo um *indicador*, *b*, de esmalte, que adhe ao alcool em se molhando. Quando a temperatura abaixa, o alcool contrahe-se e arrasta consigo o indicador; quando a temperatura se eleva, o alcool dilatando-se passa entre o indicador e as paredes do tubo, deixando o indicador no ponto correspondente á mais baixa temperatura.

No thermometro de maxima lêem-se os gráus correspondentes á extremidade do indicador, que olha para o reservatorio; no de minima lêem-se os gráus correspondentes á extremidade do indicador, que olha para o extremo do tubo.

Para conhecer as maximas e minimas temperaturas diarias, devem-se collocar todos os dias os indicadores nos extremos das columnas liquidas, mercurial e alcoolica.



§ 276. Thermometros de gazes. Os thermometros de gazes, que tambem se denominam *thermometros differenciaes*, indicam pequenas differenças de temperatura de dois logares muito proximos; são dois; o *thermometro differencial* de Leslie e o *thermoscopio* de Rumford.

1.º *Thermometro differencial de Leslie*. Este instrumento consta de um tubo de vidro, ABCD, muito estreito, duplamente recurvado em angulo recto e terminado por duas pequenas esferas de igual capacidade A e C, fig. 87. O tubo contém acido sulphurico corado, cujos niveis E e F estão á mesma altura nos dois ramos verticaes, quando a temperatura das esferas é a mesma; o resto do tubo e as esferas estão cheias de ar. Para graduar este instrumento, marca-se *zero* no ponto correspondente aos niveis em ambos os ramos: depois eleva-se uma das esferas a uma temperatura que não exceda a 10º; o ar que elle contém, dilatando-se, faz abaixar o liquido no ramo correspondente e elevar-se no outro ramo; marca-se 10 nos dois niveis do liquido nos dois ramos, divide-se depois o intervallo comprehendido entre *zero* e 10º em dez partes eguaes; e continuam-se as divisões para cima e para baixo em ambos os ramos.

2.º *Thermoscopio de Rumford*. Este instrumento differe do precedente em ter as esferas mais volumosas, o ramo horizontal ser maior e graduado, e ter um indicador de dois centimetros no meio do ramo horizontal, quando a temperatura das esferas for a mesma. Em cada extremidade do indicador, quando se acha no meio do ramo, marca-se *zero*; o resto da gradação e os usos são como no thermometro differencial de Leslie.

§ 277. Thermometros metallicos. Estes instrumentos são muito notaveis pela sua extrema sensibilidade; fundam-se na desigual dilatabilidade dos metaes. Ha-os de muitas fórmãs, porém nós só exporemos o de Breguet.

*Thermometro metallico de Breguet*. Compõe-se este instrumento, fig. 88, de uma lamina metallica, formada



de tres laminas; de platina, de ouro e de prata sobrepostas e soldadas em toda a extensão. Esta lamina está enrolada em helice, tem a extremidade superior fixa e a inferior, que é livre, está munida de uma agulha de aço movel em roda de um quadrante horizontal, graduado com a escala centigrada. A prata, o mais dilatavel dos tres metaes, fórma a face externa do helice; a platina, o menos dilatavel, fórma a interna, e o ouro fica entre os dois. Quando a temperatura se eleva, a prata, dilatando-se mais que a platina, desenrola-se da esquerda para a direita; quando se abaixa, enrola-se da direita para a esquerda. Gradua-se este thermometro pela comparação com um thermometro de mercurio.

§ 278. Pyrometro de Wedgwood. Os pyrometros são instrumentos destinados a avaliar altas temperaturas, como as de altos fornos, de forjas, onde o thermometro de mercurio não pôde ser empregado; porque este liquido se volatilisaria e o vidro se fundiria.

O pyrometro de Wedgwood funda-se na notavel propriedade, que tem a argila, de se contrahir em lugar de se dilatar, quando se expõe a altas temperaturas; parece que a contracção provém d'um começo de vitrificação.

Compõe-se este instrumento, fig. 89, de uma placa de cobre á qual estão fixas tres barras do mesmo metal, um pouco inclinadas entre si, de modo que a inclinação da terceira sobre a media é o prolongamento da inclinação da media sobre a primeira: as barras lateraes estão divididas em 240 partes, chamadas gráus do pyrometro. Para usar d'este instrumento, tome-se um pequeno cylindro de argila, A, previamente bem secco em uma estufa, e cujo diametro entra por entre as barras no zero da escala pyrometrica; depois leva-se este pequeno cylindro ao forno de que se quer conhecer a temperatura, e conserva-se ahi até que ganhe a temperatura do forno; o cylindro contrahe-se, e, depois de o resfriar, introduz-se entre o intervallo das barras, fazendo-o escorregar quanto seja

possivel. Se o cylindro argiloso chegar ao gráu 30, conclue-se que a temperatura do forno é de 30° pyrometricos.

As experiencias mostram que 0° do pyrometro de Wedgwood corresponde a 580° centigrados e cada gráu pyrometrico corresponde a 72° centigrados, logo 30° do pyrometro equivalem a  $30 \times 72 + 580 = 2740^\circ$  centigrados.

Os pyrometros são em geral pouco exactos, indicam temperaturas com approximação muito grosseira, e não são comparaveis; porém nas operações industriaes basta geralmente conhecer certos pontos determinados de temperatura, a que devem ser effectuadas as operações.

## CAPITULO XVI

## Coefficientes de dilatação

§ 279. O augmento de volume de um corpo pela acção do calor tem o nome de *dilatação*, que é o effeito do trabalho interno do afastamento das moléculas, vencendo a attracção molecular. Ao passo que um corpo se aquece, a amplitude e a velocidade das suas vibrações augmentam, a temperatura eleva-se e torna-se sensível ao thermometro.

A dilatação dos corpos póde ser linear, superficial e cubica, quer dizer, segundo uma, duas e tres dimensões. Estas tres dilatações têm logar simultaneamente.

§ 280. Coefficiente de dilatação dos solidos. Chama-se *coefficiente de dilatação linear dos solidos* o numero que exprime o augmento que tem a unidade de comprimento de um corpo, quando a sua temperatura se eleva de zero a 1 gráu centigrado.

Para determinar o coefficiente de dilatação linear dos solidos, basta medir o comprimento do solido a zero gráu; elevar este solido a uma temperatura conhecida, por ex. a  $t^{\circ}$ , medir de novo o comprimento d'este corpo a esta temperatura, achar a differença entre o segundo e primeiro comprimentos; e dividir esta differença pelo producto do primeiro comprimento pela temperatura a que o corpo foi elevado.

Na verdade: seja  $l$  o comprimento do solido a zero gráu;  $l'$  o comprimento á temperatura de  $t^{\circ}$ ;  $k$  o coefficiente de dilatação linear; isto é, o augmento da unidade de comprimento correspondente a 1 gráu.



Evidentemente para  $t^{\circ}$ , o augmento da unidade será  $kt$ ; para  $l$  unidades, o augmento será  $lkt$ ; logo será  $l' = l + lkt$  ou  $l' = l(1 + kt)$ . A dilatação linear do solido á temperatura  $t^{\circ}$ , será  $l' - l = klt$ . Logo o coefficiente de dilatação linear do solido será

$$k = \frac{l' - l}{lt}.$$

§ 281. Chama-se *coefficiente de dilatação cubica de um solido* o numero que exprime o augmento que toma a unidade do volume d'este corpo, quando a sua temperatura se eleva de zero a 1 gráu centigrado.

Para determinar o coefficiente de dilatação cubica, basta procurar a relação entre este e o linear. Ainda que estes coefficientes variem conforme a natureza dos corpos, contudo, para um mesmo corpo, existe uma relação simples; que é

*O coefficiente de dilatação cubica é o triplo do coefficiente de dilatação linear.*

Para determinar esta relação seja  $l$  o comprimento de uma das dimensões de um corpo a  $0^{\circ}$ ;  $l'$  o comprimento d'esta mesma dimensão á temperatura de  $t^{\circ}$ , e  $k$  o coefficiente de dilatação linear d'este corpo; logo o comprimento do corpo á temperatura de  $t^{\circ}$ ; será

$$l' = l(1 + kt).$$

Representando por  $V$  o volume do corpo a  $0^{\circ}$ ; por  $V'$  o volume do mesmo corpo á temperatura de  $t^{\circ}$ , e por  $k'$  o seu coefficiente de dilatação cubica, teremos

$$V' = V(1 + k't).$$

Como o corpo dilatando-se fica sempre semelhante a si mesmo; e os volumes dos corpos semelhantes são propor-

cionaes aos cubos das dimensões homologas; por tanto; temos

$$\frac{V}{V'} = \frac{l^3}{l'^3}$$

substituindo  $V'$  e  $l'$  pelos seus valores, vem

$$\frac{V}{V(1+k'l)} = \frac{l^3}{l^3(1+kt)^3}$$

ou 
$$1+k'l = (1+kt)^3$$

ou 
$$k'l = 3kt + 3k^2t^2 + k^3t^3.$$

Ora  $k$  sendo uma fracção muito pequena, as potencias d'esta fracção são quantidades tão pequenas, que se podem desprezar, e por conseguinte temos

$$k' = 3k$$

isto é, o coefficiente de dilatação cubica de um corpo é o triplo do seu coefficiente de dilatação linear. Identicamente demonstra-se que o coefficiente superficial de um corpo solido é sensivelmente duplo do seu coefficiente de dilatação linear.

Cada solido tem o seu coefficiente particular de dilatação, que é sensivelmente o mesmo para cada grau entre  $0^\circ$  e  $100^\circ$ ; mas Petit e Dulong mostraram que elle se torna irregular a partir de  $100^\circ$  até o ponto de fusão.

§ 282. Usos da dilatação. O effeito das dilatações e contracções dos solidos merece particular attenção nas numerosas applicações ás artes. É por effeito das dilatações que os corpos máus conductores se fracturam facilmente, quando se aquecem; porque a sua má conductibilidade faz com que a dilatação tenha logar nos pontos aquecidos, o que os afasta até á ruptura. Na construcção

dos caminhos de ferro é necessario deixar, nos pontos de junção dos rails, um intervallo sufficiente para que a dilatação se possa verificar; porque, se os rails se tocassem, a força da dilatação fal-os-ia curvar de distancia em distancia até se fracturarem. Tem-se observado que n'um caminho de ferro de 100 kilometros o alongamento, do inverno ao estio, é de 70 metros.

No assentamento das barras de ferro das grelhas é necessario attender ás suas dilatações, devidas á acção do grande calor, e porisso não se devem encostar ás paredes dos fornos e das fornalhas, porque, não havendo intervallo para a livre dilatação, as barras, impinando-se, fracturariam ou arruinariam as paredes. Igual attenção merece a dilatação das folhas metallicas que se empregam na cobertura de alguns edificios; a dos tubos que conduzem o gaz de illuminação, que devem ser sobrepostos de modo tal, que a sua dilatação seja livre.

A contracção dos solidos pelo resfriamento é aproveitavel em muitas circumstancias por causa da força consideravel que desenvolve. As pedras do zimbório da igreja de S. Pedro em Roma, que se afastavam ameaçando ruina, foram unidas com circulos de ferro em braza, que depois contrahindo-se desenvolveram uma enorme pressão, que sustentou o zimbório. As paredes de uma galeria do conservatorio das artes e officios em Paris, que estavam inclinadas, aprumaram-se com as barras de ferro em braza, e apertadas com porcas.

§ 283. **Pendulo compensador.** Uma das mais importantes applicações da dilatação acha-se nos pendulos dos relogios. Leroy, relojoeiro em Paris, reconhecendo que a condição principal para regular a marcha dos relogios é o isochronismo nas suas oscillações; observando que o alongamento do pendulo no verão deve retardar o relógio por causa das suas oscillações serem mais demoradas e o encurtamento no inverno produzir um effeito contrario, quer dizer, adeantar o relógio, visto as suas



oscillações serem mais apressadas; teve a feliz idéa de conservar constante e invariavel o comprimento do pendulo, apesar das variações da temperatura, e evitar as irregularidades na marcha dos relógios.

Leroy, fundando-se na desigual dilatabilidade do ferro e do cobre, construiu um instrumento, cujo nome é o de *pendulo compensador*, que, compensando as dilatações, conserva sempre uma igual distancia entre o centro de suspensão e o centro de oscillação; tem por fim regular a marcha dos relógios.

Compõe-se este instrumento, fig. 90, de duas barras de metal horizontaes, AB e CD, a cujas extremidades estão soldadas duas hastes verticaes de ferro,  $f$  e  $f'$ . Sobre a barra horizontal inferior CD estão soldadas outras duas hastes verticaes de cobre,  $c$  e  $c'$ , menores em comprimento que as de ferro, e que terminam n'uma terceira barra horizontal MKN. Ao meio K d'esta barra MKN está fixa uma haste central de ferro KL, que, passando livremente pela abertura L, practicada na barra horizontal inferior CD, sustenta uma lente G.

Quando a temperatura se eleva, as tres hastes verticaes de ferro  $f$ , LK e  $f'$ , alongam-se de cima para baixo e tendem evidentemente a abaixar a lente; as duas hastes de cobre  $c$  e  $c'$ , fixas pela sua extremidade inferior, dilatam-se de baixo para cima, elevam a barra transversal MKN e tendem a elevar a lente. Se o alongamento das hastes de cobre, for igual ao das de ferro, evidentemente o comprimento do pendulo, ou a distancia do centro de suspensão ao centro de oscillação será constante; obtem-se este resultado dando ás hastes de ferro e de cobre comprimentos que estejam na razão inversa dos coefficients de dilatação linear d'estes dois metaes.

§ 284. *Laminas compensadoras*. Obtem-se a invariabilidade de comprimento do pendulo por meio de placas metallicas, chamadas *laminas compensadoras*; que são duas laminas de metaes diferentes, de ferro e de

cobre, soldadas, ficando a de cobre por baixo da de ferro, tendo nas suas extremidades duas bolas iguaes, e fixas a um pendulo.

Quando a temperatura se eleva, o pendulo alonga-se e a lente desce; mas as laminas compensadoras curvam-se, voltando a sua concavidade para o centro de suspensão, o que é devido a ser o cobre mais dilatavel que o ferro; as duas bolas elevam-se e estabelecem uma compensação entre os pontos que se desviam do centro de suspensão e aquelles que se aproximam, o que faz com que o centro de oscillação não se desloque; se a temperatura abaixa, a lente sobe, as laminas compensadoras recurvam-se, voltando a concavidade para a lente, e as bolas descem, e n'este caso, conservando a compensação, impedem o deslocamento do centro de oscillação.

§ 285. *Coefficiente de dilatação dos liquidos.* Nos liquidos ha duas especies de dilatação cubica: *absoluta* e *apparente*. A *dilatação cubica apparente* é o augmento de volume, que toma um liquido contido em um vaso, que tambem se dilata, mas menos do que elle. A *dilatação cubica absoluta* é o augmento real, que toma o volume do liquido, abstrahindo da dilatação do vaso. Logo a dilatação cubica absoluta ou real de um liquido é igual á sua dilatação cubica apparente, mais a dilatação cubica do vaso que o contém.

Chama-se, como nos solidos, *coefficiente de dilatação cubica de um liquido* o augmento que toma a unidade de volume do liquido, quando a sua temperatura passa de zero a 1 gráu centigrado.

Ha duas especies de coefficientes de dilatação cubica nos liquidos. *Coefficiente de dilatação cubica apparente* e *coefficiente de dilatação cubica absoluta*.

Para determinar o *coefficiente de dilatação cubica apparente dos liquidos*, que varia com a natureza do vaso; basta medir o volume da massa liquida a 0°, e medir o volume apparente da mesma massa a uma temperatura

conhecida, por ex. a  $t^{\circ}$ ; depois dividir a differença entre estes volumes, pelo producto do volume do liquido a  $0^{\circ}$  pela temperatura  $t^{\circ}$ . Na verdade: sejam  $v$  e  $v'$  os volumes da massa liquida a  $0^{\circ}$  e a  $t^{\circ}$ ; seja  $k$  o coefficiente de dilatação cubica apparente; será  $v' = v + vkt$ ; logo teremos

$$k = \frac{v' - v}{vt}.$$

Para liquidos diversos, os coefficientes de dilatação cubica apparente são differentes; além d'isto estes coefficientes, para cada liquido, não são uniformes em todos os gráus da escala thermometrica; augmentam com a temperatura.

§ 286. Para determinar o coefficiente de dilatação cubica absoluta de um liquido, basta junctar ao seu coefficiente de dilatação cubica apparente o coefficiente de dilatação cubica do vaso.

Póde-se porém determinar directamente o coefficiente de dilatação absoluta de qualquer liquido, por ex. do mercurio, pelo seguinte processo. Tomem-se dois vasos cylindricos A e B, communicantes por um tubo capillar horizontal. Encham-se de mercurio a  $0^{\circ}$ ; evidentemente este liquido estará em ambos os cylindros ao mesmo nivel.

Eleve-se o mercurio do ramo B á temperatura de  $t^{\circ}$ ; o mercurio, em virtude d'esta temperatura, dilatar-se-ha e a sua densidade será menor. N'estas circumstancias o apparelho será um systema de vasos communicantes com liquidos de densidades differentes. Ora, sabendo-se que as alturas de dois liquidos estão na razão inversa das suas densidades, e representando por  $h$  e  $d$  a altura e densidade do mercurio no ramo A a  $0^{\circ}$ , e por  $h'$  e  $d'$  a densidade do mercurio no ramo B a  $t^{\circ}$  temos.

$$h : h' :: d' : d.$$



Chamando  $v$  ao volume de mercurio contido no ramo B a  $0^\circ$ , e por  $v'$  o volume do mesmo liquido no mesmo ramo B a  $t^\circ$ ; estes volumes estarão na razão inversa das suas densidades; e portanto teremos

$$v : v' :: d' : d \quad \text{ou} \quad v : v' :: h : h'$$

alternando e applicando uma das propriedades das proporções, temos

$$\frac{v' - v}{v} = \frac{h' - h}{h}$$

dividindo esta egualdade por  $t$ , temos

$$\frac{v' - v}{vt} = \frac{h' - h}{ht}$$

O primeiro membro d'esta egualdade é o coefficiente de dilatação cubica absoluta do mercurio, que representaremos por  $K$ ; logo será

$$K = \frac{h' - h}{ht}$$

Conhecendo pois as alturas das duas columnas de mercurio, contidas em A e B e a temperatura  $t^\circ$ , fica determinado  $K$ .

§ 287. Maximo de densidade da agua. A dilatação da agua offerece um phenomeno muito singular, até hoje inexplicavel, e faz uma excepção ás leis geraes da dilatação. O volume da agua, pelo abaixamento de temperatura, diminue até  $+4^\circ$  centigrados; mas a partir d'esta temperatura, se continúa o arrefecimento, o volume da agua, em vez de se contrahir, dilata-se até  $0^\circ$ ; n'este ponto a agua gela, fica com um volume maior e com menor densidade. O maximo de densidade de agua é  $4^\circ$

centígrados acima de zero; é esta a densidade que se toma por unidade.

A densidade da agua é

a zero gráu centígrado. . . . .	0,9998
a 4 gráus centígrados . . . . .	1,0000
a 100 gráus centígrados . . . . .	0,9586

É esta a razão por que o gelo fluctua na agua; e nos grandes lagos a temperatura da agua, a partir de uma certa profundidade, fica constantemente igual a 4°, quer de verão, quer de inverno.

§ 288. Coefficiente de dilatação dos gazes. Os gazes são corpos mais dilataveis, e cuja dilatação é mais uniforme. Os seus coefficients de dilatação não são iguaes, apresentam differenças muito pequenas e crecem com a pressão que supportam; exceptua-se o hydrogenio.

O coefficiente de dilatação dos gazes, como nos solidos e liquidos, é o augmento da unidade de volume, de zero a 1 gráu. Representando por  $v$  o volume do gaz a 0° e por  $v'$  o volume do mesmo gaz á temperatura de  $t$ °, e por  $k$  o seu coefficiente de dilatação; temos

$$k = \frac{v' - v}{vt}$$

§ 289. Densidade dos gazes. A densidade dos gazes é a relação entre o peso de um volume de gaz e o peso de igual volume de ar á temperatura de 0° e sob a pressão media de 0<sup>m</sup>,76. Segue-se pois d'esta definição que, para conhecer a densidade de um gaz, basta conhecer o peso de um certo volume d'este gaz e o peso de igual volume de ar, e dividir o primeiro peso pelo segundo; tendo o gaz e o ar a temperatura 0° sob a pressão de 0<sup>m</sup>,76.

Para obter a densidade de um gaz, pesa-se um balão de vidro vazio da capacidade de 8 a 10 litros; pesa-se depois successivamente o mesmo balão cheio de ar e cheio do gaz, cuja densidade se pretende conhecer. O ar e o gaz devem ser perfeitamente seccos e ter a temperatura zero; o que se consegue, collocando o balão, quando estiver cheio, n'um vaso de zinco cercado de gelo.

Seja  $P$  o peso do ar contido no balão e  $p$  o peso do gaz tambem contido no balão, cuja densidade se pretende determinar; representando por  $D$  a densidade do gaz e por  $1$  a densidade do ar, temos, visto que as densidades são proporcionaes aos pesos, sendo os volumes iguaes;

$$P : p :: 1 : D$$

ou

$$D = \frac{p}{P}$$

§ 290. Conhecida a densidade de um gaz em relação ao ar, facilmente se póde obter a densidade do mesmo gaz em relação á agua, para o que basta multiplicar a densidade do gaz em relação ao ar pelo numero 0,001293, que representa o peso especifico do ar em relação á agua.

§ 291. Zero absoluto de temperatura. Chama-se *zero absoluto de temperatura de um corpo* o estado d'esse corpo, quando o movimento vibratorio das suas moleculas for nullo, visto que n'este estado o corpo não possuirá calor algum. N'este estado a temperatura, que é a expressão da força viva das moleculas dos corpos, por conseguinte dependente da sua massa e velocidade, que representam o movimento calorifico, será nulla e a força elastica dos gazes será zero. Esta força cresce e decresce com o augmento e abaixamento de temperatura.

Chamando pois  $F$  á força elastica a  $0^\circ$  da unidade de volume de gaz;  $k$  o seu coefferiente de dilatação; a unidade de volume do gaz á temperatura de  $t^\circ$  será



$1+kt^{\circ}$ , e a sua força elastica será  $F(1+kt^{\circ})$ . Para a temperatura de zero absoluto será

$$F(1+kt) = 0$$

ou  $1+kt^{\circ} = 0$  ou  $t^{\circ} = -\frac{1}{k}$ .

Sendo porém  $k = 0,00366 = \frac{1}{273}$ , teremos

$$t^{\circ} = -273^{\circ}.$$

O numero  $-273^{\circ}$  exprime o zero absoluto da temperatura. Uma tão baixa temperatura ainda se não tem podido obter; talvez a esta temperatura os gazes passem ao estado liquido e mudem então de calores especificos.

## CAPITULO XVII

## Calor radiante

§ 292. **Calor radiante.** Chama-se *calor radiante* o calorico que se propaga a distancia atravez do espaço; isto é, a propagação do movimento vibratorio das moleculas materiaes, a distancia, por intermedio do ether. O calor radiante pôde ser acompanhado de luz, como o do sol, ou ser privado d'ella, e d'ahi vem os nomes *calor luminoso e obscuro*.

Chama-se *raio calorifico*, ou raio de calor, a recta que descreve o calor na sua propagação.

§ 293. **Leis do calor radiante.** As leis do calor radiante são oito; umas relativas á sua *propagação*, outras á sua intensidade, e outras á sua reflexão.

Em relação á sua propagação são:

1.<sup>a</sup> LEI. *Um corpo quente emite calor em volta de si em todas as direcções.*

Collocando um thermometro a differentes distancias ao redor d'um corpo quente, vê-se que o instrumento accusa uma elevação de temperatura em cada posição que occupa.

2.<sup>a</sup> LEI. *O calor radiante, n'um meio homoganeo, propaga-se em linha recta.*

Interpondo um cartão entre o corpo quente e o reservatorio de um thermometro, que marca uma linha recta, o instrumento não accusa elevação de temperatura; retirando o cartão, a temperatura sobe.

3.<sup>a</sup> LEI. *O calor radiante propaga-se no vazio.*

Mergulhando em agua fervente um balão de vidro, vazio, contendo um thermometro, vê-se que o thermo-

metro sobe; o que se não poderia attribuir se não á irradiação do calorico no vazio; visto o vidro ser máu conductor do calor e a propagação não se poder fazer pelas partes do vidro em contacto com as do thermometro.

Em relação á sua intensidade são :

1.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade do calor é proporcional á temperatura do fóco.*

Se apresentarmos uma das bolas d'um thermometro differencial de Leslie a uma das faces de um cubo de latão, cheio successivamente de agua a 10°, 20°, 30° e 40°, vê-se o thermometro indicar, a distancia constante, temperaturas que estão entre si na mesma relação, que 1, 2, 3 e 4.

2.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade do calor radiante está na razão inversa do quadrado da distancia.*

Se collocarmos um thermometro differencial defronte de uma fonte de calor constante, a distancias successivamente iguaes a 1, 2, 3, 4... metros; observa-se que o thermometro indica temperaturas 1, 4, 9, 16... vezes menores, quadrados dos numeros que representam as distancias.

Pode demonstrar-se esta lei pelo seguinte principio geometrico: *a superficie de uma esphera cresce com o quadrado do raio.* Supponhamos uma esphera ôca de um certo raio; no centro uma fonte de calor constante; cada unidade da sua superficie interior receberá uma quantidade determinada de calor.

Supponhamos uma outra esphera, tambem ôca, de raio duplo, concentrica á primeira; a sua superficie será quatro vezes maior que a da primeira; por conseguinte, conterá quatro vezes mais unidades de superficie: como a quantidade de calor emittida do centro é a mesma, segue-se que cada unidade recebera necessariamente quatro vezes menos calor.

Em relação á sua reflexão.

1.<sup>a</sup> LEI. *Um raio calorifico, caindo sobre uma superficie polida, reflecte-se fazendo um angulo de incidencia igual ao de reflexão.*



2.<sup>a</sup> LEI. O raio incidente e o raio reflectido estão no mesmo plano normal á superficie reflectidora.

Seja EF a superficie reflectidora fig. 91, BC o raio incidente, CD a normal, ou a linha perpendicular ao plano no ponto C e CA o raio reflectido. O angulo de incidencia será BCD, e o angulo de reflexão DCA.

Estas leis demonstram-se por meio de espelhos concavos.

§ 294. Reflexão nos espelhos concavos. Chama-se *espelhos concavos* ou *reflectores* as superficies esphéricas ou parabolicas polidas de metal ou de vidro, que servem para concentrar no mesmo ponto raios calorificos ou luminosos. Consideramos aqui os espelhos esphéricos.

Seja MN, fig. 92, um espelho concavo; C o seu *centro de curvatura*; O o *centro de figura*; CO, a linha que une os centros, é o *eixo principal*; toda a linha que passar pelo centro de curvatura é um *eixo secundario*; F é o *foco principal*, ponto do eixo principal, situado no meio da linha OC, aonde convergem os raios calorificos.

Supponhamos que um raio calorifico DR, paralelo ao eixo principal, incide sobre o espelho, muito proximo do centro da figura O; este reflectir-se-á formando um angulo de incidencia RDC igual ao de reflexão CDF, sendo CD a normal. Na verdade sendo o triangulo CDF isosceles, o angulo CDF será igual ao DCF, e RDC igual ao DCF, por serem alternos; logo será RDC igual a CDF. Todos os outros raios nas mesmas condições reflectem-se da mesma maneira e vão concorrer sensivelmente em F. N'este ponto ha pois a reunião de raios calorificos, e por consequente uma elevação de temperatura.

Se a fonte de calor fosse collocada em F, o calorico incidiria no espelho, e pela reflexão propagar-se-ia seguindo linhas parallelas entre si e ao eixo principal; evidentemente o calorico não perderia a sua intensidade.

§ 295. Espelhos ardentes. Os espelhos ardentes, que tambem se denominam *espelhos conjugados*, são dois espelhos esphéricos concavos A e B iguaes, um defronte

do outro, de modo que os seus eixos coincidam, fig. 93. Collocando uma fonte de calor, por ex. uma vela accessa ou brazas em ignição, no foco principal  $F$  d'um d'elles, e no outro foco  $F'$  do outro corpos inflammaveis, como uma porção de isca ou algodão polvora, observa-se que pouco tempo depois estes corpos se inflammam. Os raios calorificos, partindo do ponto  $F$ , incidem sobre o espelho  $A$ ; e reflectindo-se saem parallelamente ao eixo principal, e incidem sobre o espelho  $B$ , tornando a reflectir-se para convergirem no foco  $F'$ ; n'este ponto a temperatura fica mais elevada do que nos que se acham mais proximos; o que determina a inflammção da isca ou do algodão polvora.

§ 296. *Equilibrio movel de temperatura.* Quando dois ou mais corpos de diversas temperaturas se acham uns deante dos outros no mesmo recinto, observa-se que elles pouco tempo depois têm um calor uniforme, quer dizer, que têm a mesma temperatura. Os corpos mais quentes cedem o seu calor aos menos quentes, e resfriam-se; os menos quentes, recebendo mais calor, aquecem-se; existe pois entre elles uma mutua e contínua irradiação de calor; os mais quentes perdem mais calor do que recebem; os menos quentes recebem mais calor do que emittem; de sorte que depois de algum tempo mais ou menos longo estabelece-se uma temperatura igual e uniforme entre todos elles. Esta mudança contínua de calor entre os corpos de differentes temperaturas collocados a distancia, cuja temperatura, passado um certo tempo, se mantém igual, tem o nome de *equilibrio movel de temperatura*.

§ 297. *Reflexão apparente do frio.* Se collocarmos uma porção de gelo n'um dos focos dos espelhos conjugados, e no outro um thermometro muito sensivel; observa-se logo um abaixamento de temperatura, e tanto maior quanto maior for a temperatura ambiente. Parece que o abaixamento do thermometro é devido á emissão dos raios frigoriferos dimanados do gelo. Sendo o calor

o resultado do movimento vibratorio muito rapido das moleculas da materia ponderavel, o frio será a ausencia d'este movimento, e por conseguinte não podem existir raios frigoriferos. O abaixamento do thermometro provém pois da emissão dos raios calorificos que o instrumento emitta para o gelo, isto é, o gelo absorve o calor do thermometro, o que produz o abaixamento da temperatura.

Diz-se que um corpo é frio quando a sua temperatura é inferior á dos nossos orgãos com que está em contacto. Um corpo frio póde ser quente em relação a outro mais frio que elle.

### Poderes radiante, absorvente e reflectidor dos corpos para o calor

§ 298. Poder radiante. O poder *radiante* ou emissivo dos corpos para o calor é a propriedade que têm os corpos de emittir, sob as mesmas circumstancias phisicas, quantidades maiores ou menores de calor. Este poder varia segundo a natureza dos corpos, e particularmente segundo o gráu da sua densidade e o polimento da sua superficie.

Determina-se o poder emissivo dos corpos pelo cubo de Leslie e pelo espelho concavo. O cubo de Leslie é um vaso de fórma cubica, cujas faces são formadas de differentes metaes, ou cobertas de diversas substancias como o negro do fumo, o vidro, o papel, etc. Enche-se este cubo de agua a server, e colloca-se defronte de um espelho concavo, fig. 94; no foco F colloca-se uma das bolas do thermometro differencial. Os raios calorificos, dimanados da fonte de calor e reflectidos pelo espelho, convergem para o foco, isto é, sobre a bola do thermometro differencial cuja temperatura elevam. Conservando o cubo sempre á mesma distancia do espelho, e fazendo voltar cada uma das faces para o reflector, observa-se



que o thermometro accusa temperaturas differentes, segundo as quaes se pôdem determinar os poderes emissivos dos diversos corpos.

§ 299. Poder absorvente. Chama-se *poder absorvente* dos corpos para o calor, a propriedade que têm os corpos de absorver uma quantidade mais ou menos consideravel do calor, que incide sobre a sua superficie. As experiencias mostram que o *poder radiante ou emissivo de um corpo é sempre igual ao seu poder absorvente*.

Os dois poderes absorvente e radiante são maiores para a incidencia normal dos raios calorificos, do que para a obliqua; as côres escuras augmentam os poderes absorvente e radiante.

O poder absorvente varia com a natureza da fonte calorifica; excepto o negro do fumo, que absorve igualmente o calor, quer luminoso, quer obscuro, qualquer que seja a fonte donde elle dimane.

Determina-se o poder absorvente dos corpos, collocando sobre o foco de um espelho concavo, que fica defronte do cubo de Leslie, cheio de agua a ferver, uma das bolas do thermometro differencial, coberta successivamente de differentes corpos, taes como o negro de fumo, o papel, as folhas de oiro, de prata, de cobre, etc.; observa-se que a bola do thermometro absorve mais ou menos calor, segundo a natureza dos corpos que a cobrem, determina-se tambem que a ordem dos poderes absorventes é precisamente igual á dos poderes radiantes.

§ 300. Poder reflectidor. Chama-se *poder reflectidor* dos corpos para o calor a propriedade que os corpos têm de reflectir pela sua superficie uma quantidade mais ou menos consideravel de calor incidente, que recebem. Este poder varia com a natureza, polimento, côr e densidade dos corpos; varia tambem com a natureza da fonte do calor. Os metaes são os que tem maior poder reflectidor; o grande polimento e a côr branca augmentam em geral a quantidade de calor reflectido.

Um corpo reflecte tanto mais o calor, quanto menos o absorve, e reciprocamente. O poder reflectidor de um corpo para o calor é tanto maior, quanto o seu poder absorvente e radiante é menor. Os poderes reflectidor e absorvente não são sempre rigorosamente complementares um do outro; porque a somma das quantidades do calor absorvido e reflectido não é igual á totalidade do calor incidente; ella é sempre menor.

Quando uma porção de calor incide sobre uma superficie, divide-se em tres partes; uma é absorvida; uma outra é reflectida regularmente segundo as leis de reflexão, e a terceira parte é reflectida irregularmente, quer dizer, em todas as direcções, o que se designa pelo nome de *calor diffuso*.

§ 301. Causas que modificam os poderes radiante ou emissivo, absorvente e reflectidor. Os poderes emissivo e absorvente são iguaes; segue-se pois que toda a causa que modificar um necessariamente modificará o outro no mesmo sentido. Emquanto ao poder reflectidor está na razão inversa dos poderes emissivo e absorvente; toda a causa que augmentar estes deve diminuir aquelle, e reciprocamente.

Estes poderes variam, como temos visto, de uma substancia para outra. Os metaes têm o maior poder reflectidor, o negro de fumo o menor. Para um mesmo corpo estes poderes modificam-se pelo gráu de polimento, pela densidade, pela espessura, pela obliquidade dos raios incidentes e emfim pela natureza da parte calorifica.

O poder reflectidor cresce geralmente com o gráu de polimento das superficies, emquanto que outros poderes, pelo contrario, diminuem; porém Melloni tem mostrado que uma placa metallica polida e riscada tem umas vezes maior poder reflectidor, outras vezes menor, e isso é dependente da sua maior ou menor densidade.

O poder emissivo é modificado pela espessura das superficies radiantes, como mostram as experiencias de

Rumford e de Melloni. Este mesmo physico mostrou que o poder absorvente varia com a natureza da fonte de calor, excepto o negro de fumo. O poder absorvente varia com a inclinação dos raios incidentes. Os gazes simples têm fraco poder emissivo.

§ 302. *Aplicações.* Os poderes emissivo, absorvente e reflector dos corpos para o calor offerecem numerosas applicações nas artes e na economia domestica; tal é, por exemplo, a escolha de fato mais proprio para as estações. É ao fato branco que se deve dar a preferencia, porque, sendo o seu poder emissivo menor que o de fato preto, no inverno oppõe-se mais á emissão do calor do corpo humano que o fato preto; no verão por causa do seu fraco poder absorvente o fato branco absorve menos calor da atmosphaera que o preto; é porisso que os fatos brancos nos parecem mais frescos. Na construcção dos fogões e caloriferos o seu exterior deve ser revestido de substancias pretas, para dar livre emissão ao calorico, e o interior revestido de placas de porcellana ou de faiança brancas e polidas, a fim de augmentarem o poder reflectidor do foco. No emprego dos vasos que têm por fim aquecer liquidos, como as cafeteiras e chocolateiras, o seu exterior deve ser negro e sem polimento; para que o seu poder absorvente augmente; se o vaso tiver por fim conservar o liquido quente por muito tempo, então é preciso um vaso de metal polido e brilhante, porque, sendo o poder emissivo menor, o resfriamento é muito lento.

Por meio d'estes poderes podemos accelerar ou retardar a fusão do gelo e da neve.

### Poderes diathermanes e athermanes

§ 303. *Corpos diathermanes e athermanes.* Chamam-se corpos *diathermanes* os que deixam passar facilmente o calor atravez da sua massa, sem o absorverem;



*athermanes* são os que não deixam passar o calor, absorvem o todo. O ar e os gases são eminentemente diathermanes; os liquidos são-no todos mais ou menos; os metaes, entre os solidos, são completamente athermanes. Esta distincção dos corpos diathermanes e athermanes não é absoluta, porque todos os corpos, em certas condições, são em geral mais ou menos diathermanes.

Apesar da analogia entre o calorico radiante e a luz, o poder diathermane dos corpos não está em relação com o gráu da sua transparencia; os corpos transparentes não são sempre os mais diathermanes, e os opacos estão longe de serem sempre athermanes.

§ 304. Chama-se *poder diathermane* ou *athermane* a propriedade, que os corpos têm, de deixar passar todo o calor recebido sem o absorverem, ou não o deixar passar.

As experiencias mostram que o poder diathermane se modifica com a natureza das substancias; elle diminue quando augmenta a espessura; augmenta com o polimento, bem como com a elevação de temperatura. O poder diathermane modifica-se com a natureza da fonte do calor, excepto para o sal gemma e o fluorureto de calcio. As experiencias de Melloni conduzem aos seguintes resultados:

1.º Para o *calor luminoso* todas as substancias transparentes são mais ou menos diathermanes.

2.º Para o *calor obscuro* certas substancias transparentes são completamente athermanes.

3.º Para toda a especie de calor, luminoso e obscuro, as outras substancias, principalmente o sal gemma e o fluorureto de calcio, são diathermanes.

§ 305. *Aplicações.* As propriedades diathermanes dos corpos têm grandes applicações e dão explicação de muitos factos. As camadas superiores da atmosphaera, se têm uma temperatura muito baixa apesar de serem atravessadas pelos raios solares, é por causa do seu grande poder diathermane. O contrario acontece na agua dos mares e lagos; a agua tem um fraco poder diathermico,

e por isso as camadas superiores d'estas aguas, participam das variações da temperatura, emquanto que a uma certa profundidade a sua temperatura é constante.

Approveitam-se as propriedades dos corpos diathermanes para separar a luz e o calor, que irradiam de uma mesma fonte. O sal gemma, coberto de negro de fumo, deixa passar o calor, e obsta completamente á passagem da luz; este corpo é pois diathermico para o calor e athermico para a luz..

O vidro tem a propriedade de ser diathermane para o calor obscuro; é por causa d'esta propriedade que se emprega nos jardins, para construir estufas, visto que deixa penetrar n'ellas os raios solares, que produzem uma alta temperatura, e não deixa depois escapar o calor que irradia do solo.

§ 306. *Differentes especies de raios calorificos.* Melloni admitte muitas especies de raios calorificos, identicos aos raios luminosos, que seriam emittidos simultaneamente, em proporções variaveis, pelas diversas fontes do calor, e dotados da propriedade de atravessar mais ou menos facilmente as substancias diathermicas; estas especies de raios caloriferos, analogos aos luminosos, são o *rubro*, o *alaranjado*, o *amarello*, o *verde*, o *azul*, o *indigo* e o *verde*. Os corpos terão pois uma *coloração* calorifica, quando absorverem certos raios e deixarem passar outros; da mesma maneira que um vidro amarello, por ex. é atravessado pela côr amarella e não o é pelas outras cores.

As propriedades das diferentes especies de raios calorificos são devidas ao numero de vibrações e á sua maior ou menor amplitude,

---

## CAPITULO XVIII

**Conductibilidade calorifica.****Calorimetria. Calores especificos**

§ 307. Conductibilidade calorifica dos corpos. Dá-se o nome de conductibilidade calorifica dos corpos á propriedade, que os corpos têm, de transmittir com mais ou menos facilidade o calor ao interior da sua massa; ou communicar o movimento vibratorio calorifico de molecula a molecula.

§ 308. Corpos bons e máus conductores do calorico. Nem todos os corpos têm o mesmo gráu de conductibilidade. Ha uns que são *bons conductores* do calorico, e em que a transmissão calorifica se faz com extrema facilidade; ha outros que são *maus conductores*, e em que o calor se transmittre no interior da sua massa com muita difficuldade. Os bons conductores são o oiro, a prata, o cobre e em geral todos os metaes; os máus conductores são o vidro, as louças, as madeiras, as resinas, e, sobre tudo, os liquidos e os gazes.

A conductibilidade calorifica dos corpos depende não só da sua natureza, mas tambem da sua estrutura; assim o sal *gemma* é bom conductor, e o sal *commum*, cuja composição chimica é a mesma, é máu conductor. A conductibilidade diminue todas as vezes que houver interrupção dos tecidos, na direcção da propagação do calor; é por isso que as cinzas, a serradura, a palha e as pelles dos animaes são máus conductores.

309. Cnductibilidade dos solidos. Os solidos,



principalmente os metaes, são bons conductores do calor; contudo o gráu de conductibilidade não é o mesmo; uns têm mais poder conductor que outros. Determina-se a ordem dos poderes conductores dos solidos pelo seguinte *processo de Ingenhousz*.

Tome-se uma caixa rectangular B, fig. 95, de cobre, munida de um cabo A de madeira; sobre uma das suas faces fixem-se hastes de differentes substancias, como ferro, prata, cobre, páu, D, E, F, G, M, de modo que penetrem alguns millimetros no interior da caixa, e fiquem cobertas de cera. Encha-se a caixa de agua a ferver; observa-se, algum tempo depois, que a cera se derrete sobre as hastes, até uma distancia maior ou menor da parede da caixa, o que indica o gráu relativo da conductibilidade das hastes. Fica claro, pois, que os corpos melhores conductores são os que, no fim do mesmo tempo, têm derretido a cera em maior extensão.

A prata, entre todos os metaes, é o que conduz melhor o calor.

§ 310. *Conductibilidade dos liquidos.* A conductibilidade dos liquidos é muito fraca. Demonstra-se introduzindo um pequeno thermometro no fundo de um tubo cheio de agua, fig. 96; inclinando o tubo ligeiramente, e aquecendo as camadas superiores da agua por meio de uma lampada de alcool, até que entre em ebulição, observa-se que o thermometro, que se acha no fundo do tubo, accusa um fraco augmento de temperatura, e as camadas aquosas que o cercam têm muito pouco calor.

§ 311. O aquecimento dos liquidos, contidos em um vaso, cujo fundo está sob a acção de uma fonte de calor, não é devido á conductibilidade, mas sim ao deslocamento das suas moleculas.

Quando se aquece um vaso cheio de agua pela sua parte inferior, as camadas liquidas em contacto com o fundo do vaso, sendo aquecidas, dilatam-se, tornam-se menos densas, sobem pelo centro do vaso, formando uma

corrente ascendente, e vem para a parte superior do liquido; as camadas liquidas lateraes superiores, mais densas por serem mais frias, descem para o fundo do vaso, formando uma corrente descendente lateral, isto é, pelo exterior da massa liquida. Estas duas correntes mantêm-se enquanto durar o aquecimento do liquido.

Podem tornar-se bem evidentes estas duas correntes, lançando no vaso uma porção de serradura de madeira; vê-se que ella sobe pelo centro e desce pelas paredes do vaso; acompanha as correntes.

§ 312. Conductibilidade dos gazes. A conductibilidade dos gazes é quasi nulla. É difficil apreciar o poder conductor dos gazes por causa do seu grande poder diathermane e da extrema mobilidade das suas moleculas. Os gazes aquecem-se pelo contacto com um corpo quente e pelas correntes que provêm da dilatação das suas moleculas, que successivamente ficam em contacto com o foco calorifico.

O hydrogenio, entre os gazes, é o unico que possui um certo gráu de conductibilidade, que augmenta com a pressão.

§ 313. Applicações da conductibilidade. A maior ou menor conductibilidade dos corpos offerece numerosas applicações nas artes e na vida domestica.

Se quizermos conservar quente por muito tempo um liquido qualquer, devemos-o conservar n'um vaso de duplo involucro, cujo intervallo contenha materias não conductoras, como a serradura de madeira, carvão em pó, palha, etc. O mesmo meio serve para impedir a absorção do calorico pelo corpo; porisso, para conservar o gelo para o verão, é necessario envolvel-o em palha ou em cobertores de lã.

A sensação de quente ou de frio, que recebemos quando tocamos certos corpos, é devida á sua conductibilidade. Se tocarmos duas barras, uma de páu e a outra de ferro, de temperatura igual, de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , mas inferior

á do nosso corpo, achamos que a primeira dá uma sensação, que não é quente nem fria; a segunda, pelo contrario, parece-nos muito fria; se as barras tiverem uma temperatura igual, mas superior á do nosso corpo, a barra de ferro parece-nos muito mais quente que a de páu; estas sensações provêm da maior conductibilidade do ferro que nos rouba ou communica instantaneamente uma grande quantidade de calor.

Os nossos quartos de habitação, alcalifados e guarne-cidos de moveis de madeira e de outros objectos de substancias más conductoras, parecem-nos muito quentes no inverno, se não houvesse taes guarnecimentos; por causa da sua má conductibilidade não nos roubam calor, e conservam o que tem adquirido. É tambem esta a razão por que no inverno os fatos mais proprios são os de lã e os de algodão.

Nas construcções dos fornos, destinados a concentrar o calor, deve-se preferir a materia má conductora, como os tijolos, para não deixar escapar o calor que se deve conservar no seu interior. Os vasos metallicos que contêm liquidos quentes, como os bules de chá e as cafeteiras, devem ter cabos ou azas de madeira ou isoladores de marfim, para não deixar transmittir o calor e poder-se-lhe pegar, sem queimar as mãos.

Os corpos filamentosos, taes como as pelles, o algodão, os tecidos de lã e as pennas, em cujos intersticios, se contêm ar, são máus conductores, e têm a preciosa propriedade de conservar o calor por causa da pouca conductibilidade do ar que retêm nas suas malhas. Esta camada de ar, mantida em roda do corpo, protege-o contra o frio tanto mais efficaçmente, quanto mais espessa é e a sua renovação difficil. É sobre a pouca conductibilidade do ar que repousa o emprego de duplas vidraças nas janellas.



## Calorimetria. Calores especificos

§ 314. Sendo a elevação de temperatura de um corpo uma expressão do trabalho mechanico, o qual é maior ou menor segundo a resistencia que as moleculas offerecem a augmentar a velocidade e amplitude do seu movimento vibratorio; segue-se, e assim as experiencias o demonstram, que uma mesma quantidade de calor deve em cada corpo produzir temperaturas differentes.

§ 315. Calorimetria. A *calorimetria* tem por fim medir a quantidade de calor, que os corpos absorvem ou cedem, quando a sua temperatura augmenta ou diminue; ou quando mudam de estado.

Para medir uma quantidade de calor, ganha ou perdida por um corpo, basta comparal-a com uma outra quantidade de calor que se toma por unidade.

§ 316. Caloria ou unidade de calor. Chama-se *caloria* ou *unidade de calor* a quantidade de calor necessaria para elevar de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$  a temperatura d'um kilogramma de agua. Esta unidade de calor está adoptada para a avaliação das quantidades do calor produzido por diversas causas; é tambem adoptada para avaliação dos calores especificos de diversas substancias.

§ 317. Calor especifico. Chama-se *calor especifico*, ou *capacidade calorifica* de um corpo, a quantidade de calor que a unidade de peso d'este corpo absorve para passar de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$  de temperatura, comparada com a quantidade de calor que a unidade de peso de agua distillada absorveria para passar egualmente de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$  de temperatura; como a unidade de peso é o kilogramma, podemos pois definir, com mais simplicidade, que o calor especifico de um corpo é a *quantidade de calor preciso para elevar de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$  a temperatura de um kilogramma d'este corpo.*

O calor especifico compõe-se de duas partes: uma que produz o aquecimento; e outra que produz o trabalho de dilatação; a primeira constitue o *calorico de temperatura*; a segunda o *calorico de dilatação*.

O calorico especifico da agua é tomado para unidade na medida dos caloricos especificos dos corpos solidos e liquidos. Representando pois por 1 o calor especifico da agua, será 0,4 o seu calorico de temperatura, e 0,6 o seu calorico de dilatação.

§ 318. Quantidade de calor. Chama-se *quantidade de calor* de um corpo a quantidade do calor sensivel, que este corpo absorve, para passar de um certo gráu de temperatura a um outro gráu.

A quantidade de calor de um corpo é *igual ao producto do seu peso pela sua temperatura e pelo seu calor especifico*.

Com effeito, seja  $m$  o peso de um corpo expresso em kilogrammas,  $c$  o seu calor especifico e  $t$  a sua temperatura; como a quantidade de calor necessario para elevar de  $0^\circ$  a  $1^\circ$  um kilogramma de agua, é tomada para unidade, para  $m$  kilogrammas de agua são precisas  $m$  unidades; segue-se pois que para elevar de  $0^\circ$  a  $t^\circ$ ,  $m$  kilogrammas de agua, são precisos  $t$  vezes  $m$  unidades, isto é,  $mt$ : logo  $mt$  será a expressão representativa da quantidade de calor, necessario para elevar  $m$  kilogrammas de agua de  $0^\circ$  a  $t^\circ$  de temperatura; sendo 1 o seu calor especifico.

Evidentemente para um corpo do mesmo peso  $m$ , cujo calor especifico é  $c$ , é necessario e basta  $c$  vezes  $mt$  ou  $mct$ . Donde se segue que, quando um corpo se aquece para passar de  $0^\circ$  a  $t^\circ$ , a quantidade de calor que elle absorve póde exprimir-se pelo producto da multiplicação do seu peso pela sua temperatura e pelo seu calor especifico.

Chamando pois  $x$  a quantidade de calor de um corpo, e por  $m$ ,  $t$  e  $c$  o seu peso, a temperatura e o calor especifico,

teremos

$$x = mcl.$$

Se o corpo aquece ou resfria de  $t^o$  a  $t'^o$ , o calor absorvido ou perdido será expresso por

$$x = mc(t' - t) \quad \text{ou} \quad x = mc(t - t')$$

fórmulas, muito importantes na resolução dos problemas sobre os calores específicos.

§ 319. Determinação dos calores específicos dos corpos solidos. Temos tres methodos para determinar o calor especifico dos corpos solidos: *methodo das misturas*, *methodo da fusão do gelo* e *methodo do resfriamento*. Exporemos só o primeiro.

*Methodo das misturas.* Para determinar o calor especifico de um solido, por este methodo, pesa-se este corpo, e eleva-se a uma temperatura conhecida, proxima de  $100^o$ ; em seguida mergulha-se rapidamente em agua fria, cujo peso e temperatura se devem ter determinado, como tambem o peso, a temperatura e o calor especifico do vaso que a contém; da quantidade do calor que o corpo cede á agua é que se deduz o seu calor especifico.

Seja  $m$  o peso do corpo solido,  $t$  a temperatura proxima de  $100^o$ , e  $x$  o seu calor especifico, que se pretende determinar; a quantidade de calor d'este corpo será  $mxt$ .

Seja  $m'$  o peso da agua e  $t'$  a sua temperatura inicial; seja  $m''$  o peso do vaso que contém a agua,  $t'$  a sua temperatura, que é a da agua, e  $c$  o seu calor especifico.

Pela immersão do corpo na agua, o corpo perderá um certo numero de gráus de calor, por ex.  $\alpha$ ; a quantidade de calor perdido pelo corpo, terá por medida  $m\alpha$ . A agua e o vaso terão de certo de augmento  $\alpha$  gráus de temperatura. Ora a quantidade de calor cedido pelo corpo, sendo igual á quantidade de calor adquirido pela agua e mais pelo vaso, temos a seguinte



equação

$$mx(t - \alpha) = m'(\alpha - t') + m''c(\alpha - t')$$

ou

$$x = \frac{(m' + m''c)(\alpha - t')}{m(t - \alpha)}$$

fazendo  $m''c = \gamma$ , vem

$$x = \frac{(m' + \gamma)(\alpha - t')}{m(t - \alpha)}$$

$\gamma$  exprime o peso da agua que absorveria tanto calor como o vaso, o que se exprime dizendo que o vaso está reduzido a agua.

§ 320. Calor especifico dos liquidos. O calor especifico dos liquidos pôde determinar-se pelos mesmos methodos, que se empregam para os solidos. As experiencias demonstram, que a agua tem um calor especifico muito maior que o das outras substancias, e principalmente o dos metaes; é por esta propriedade que a agua leva mais tempo a aquecer-se e a resfriar-se; além d'isto absorve e cede muito mais calor que qualquer outra substancia.

§ 321. As experiencias sobre a determinação dos calores especificos dos solidos e liquidos demonstram: 1.º que os calores especificos augmentam com a temperatura, e este augmento é tanto mais sensivel, para os solidos, quanto mais proximos estiverem do ponto de fusão.

2.º O calor especifico dos liquidos é maior que o dos solidos; augmenta com a temperatura muito mais rapidamente que o dos solidos; excepto a agua, cujo calor especifico augmenta muito menos que o dos outros liquidos.

3.º Toda a causa, que augmenta a densidade dos corpos, diminue o calor especifico.

§ 322. Calor especifico dos gazes. O calor especifico dos gazes pôde referir-se ao da agua ou ao do

ar. No primeiro caso, representa o calor necessario, para elevar de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$ , um peso de um gaz dado, comparado com o calor necessario para elevar um igual peso de agua de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$ . No segundo caso é o calor preciso para elevar de  $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$  um igual volume de ar.

Os calores especificos dos gazes em relação á agua determinam-se pelo methodo das misturas. Faz-se passar uma quantidade conhecida de um gaz dado a uma temperatura determinada pela serpentina, immersa em agua fria. Nota-se o numero de gráus no augmento de temperatura da agua. Evidentemente a quantidade de calor cedido pelo gaz, sendo igual a quantidade de calor ganho pela agua, pelo vaso que contém o liquido e pelas paredes da serpentina, obtem-se uma equação, de que é facil tirar o valor do calor especifico, que se quer determinar.

O calor especifico em relação ao ar determina-se de dois modos; sujeitando os gazes a uma *pressão constante*, sob um volume variavel, ou a um *volume constante* e á pressão variavel.

Pelo primeiro, comparam-se entre si as quantidades de calor, cedido a um mesmo peso de agua, pelos volumes iguaes de gaz e de ar, sob as mesmas condições physicas, durante toda a experiencia.

Pelo segundo o physico Dulong calculou-o, servindo-se de uma fórmula, que faz conhecer a velocidade de propagação de som em diferentes gazes.

§ 323. As temperaturas não indicam as quantidades de calor contidas nos diferentes corpos. Quando se communica uma certa quantidade de calor a um corpo, a sua distribuição no interior da sua massa, tem a cumprir duas funcções bem distinctas, duas especies de trabalho. Uma porção d'este calor determina o movimento vibratorio, que eleva a temperatura do corpo e é sensivel ao thermometro; uma outra porção fórça os atomos a tomar novas posições, e esta porção perde-se como calor. A repulsão mutua dos atomos, n'este caso,

em opposição á sua attracção mutua, é analoga á elevação de um peso em opposição á gravidade. A distribuição do calor no interior da massa de um corpo promove o afastamento dos átomos, e enquanto elles se afastam uns dos outros, fal-os entrar em vibração, com uma intensidade crescente; este calor resolve-se pois por uma parte em energia atómica potencial, e por outra em uma especie de harmonica atómica, unica capaz de obrar sobre os thermometros e produzir em nós sensações. Evidentemente o calor, no interior do corpo quente, fórça os átomos a tomar novas posições. Quando o corpo resfria, as forças, vencidas durante o aquecimento, entram em acção e o calor dispensado para operar o afastamento da força dos átomos é restituído pela sua approximação.

§ 324. Sabe-se pela chimica que sendo 1 o peso de um atomo de hydrogenio, o de um atomo de oxigenio é 16; logo um kilogramma de hydrogenio terá 16 vezes mais átomos que um kilogramma de oxigenio; segue-se pois que o numero de átomos precisos para formar um kilogramma, é inversamente proporcional ao peso atómico.

As experiencias de Dulong e Petit e de Regnault, mostram que todos os átomos elementares, grandes e pequenos, com maior ou menor peso, á mesma temperatura, possuem a mesma quantidade de calor; os mais leves compensam pela sua velocidade o que lhes falta em massa; assim cada um dos átomos de hydrogenio é da mesma energia que um atomo de oxigenio, á mesma temperatura; mas como um kilogramma de hydrogenio contém 16 vezes mais átomos, deve tambem conter 16 vezes mais a quantidade de calor que possui um kilogramma de oxigenio, á mesma temperatura.

Segue-se, pois, que para elevar a temperatura de um kilogramma de hydrogenio de um certo numero de grãos, 4°, 5° ou 6° por ex., é preciso 16 vezes mais a quantidade de calor exigida, nas mesmas circumstancias, para um kilogramma de oxigenio. Reciprocamente; se um kilo-



gramma de hydrogenio, pelo resfriamento, baixar  $10^{\circ}$ , deve perder 16 vezes mais calor, que um kilogramma de oxygenio quando abaixa ao mesmo numero de gráus. Sendo 14 o peso atomico do azote, 1 kilogramma de hydrogenio contém 14 vezes mais calor que 1 kilogramma de azote.

Com quanto no oxygenio e no hydrogenio não haja quantidade sensivel de trabalho interno a executar, visto não haver a vencer attracções moleculares, de uma grandeza apreciavel; comtudo nos corpos solidos e liquidos, além das diferenças devidas ao numero de atomos contidos na unidade de peso, temos as diferenças devidas ao calor dispensado no trabalho interno.

Do que temos exposto segue-se que as *quantidades de calor contidas nos diferentes corpos, não são accusadas pelas suas temperaturas.*

A seguinte experiencia de Tyndall mostra as diferenças que existem entre os corpos, relativamente á quantidade de calor que elles contém.

§ 325. **Experiencia de Tyndall.** A experiencia de Tyndall serve para demonstrar que diversos corpos, de pesos iguaes, com a mesma temperatura, possuem diversas quantidades de calor ou diversa força viva.

Se aquecermos em um banho de azeite, á temperatura de  $150^{\circ}$ , pequenas balas, iguaes em peso, de ferro, cobre, chumbo, bismutho, estanho, etc., e as collocarmos sobre um disco de cera amarella, suspenso horizontalmente em um suporte, fig. 97; vê-se que todas derretem a cera, mas com diferentes velocidades; o ferro derrete a cera com mais vigor e atravessa o disco de uma a outra parte e cae; segue-se ao ferro o cobre; o estanho e o chumbo enterram-se na cera, mas não furam o disco; o bismutho nem sequer alcança a meia espessura do disco.

§ 326. **Lei de Dulong e Petit.** A lei de Dulong e Petit é relativa aos calores especificos dos atomos. Estes

physicos reconheceram que os *atomos de differentes corpos simples, solidos, tem todos o mesmo calor especifico*. D'este facto descobriram esta notavel lei :

*O producto do calor especifico dos corpos simples pelo seu peso atomico é sensivelmente constante.*

Este producto é igual a 6,4; representa o que se chama *calor atomico*.

As excepções que esta lei apresentava para alguns corpos, taes como o carbonio, boro, bromo, scilicio, agua, etc., eram devidas em grande parte ás incertezas na determinação dos calores especificos; depois da verificação do calor especifico d'aquelles corpos, feita por Weber, todos os corpos entram na regra geral.

---

## CAPITULO XIX

**Mudança de estado dos corpos****Fusão**

§ 327. **Fusão.** Da-se o nome de  *fusão*  á passagem de um corpo do estado solido para o estado liquido, sob a influencia do calor. Quando se aquece um corpo solido, elle dilata-se; mas a dilatação tem um limite, além do qual a attracção molecular perde toda a energia da sua acção pelo augmento da força repulsiva do calorico, tornando-se insufficiente para manter o corpo no estado solido; as moleculas do corpo ficam livres, rolam umas sobre as outras, e o estado solido dos corpos desaparece; o corpo torna-se liquido.

Um grande numero de corpos, taes como o papel, páu, certos saes, não se fundem sob a acção de calor, decompõem-se.

§ 328. **Leis da fusão.** As experiencias fazem ver que a fusão está submettida ás duas leis seguintes:

1.<sup>a</sup> LEI. *A temperatura da fusão é invariavel para cada corpo, sendo constante a pressão.*

2.<sup>a</sup> LEI. *A temperatura do corpo que se funde mantém-se constante, qualquer que seja a intensidade do fóco.*

Corpos ha que, antes de se fundirem, tornam-se molles, pastosos ou viscosos; esta mudança de estado tem o nome de  *fusão vitrea* . Os corpos que, para se fundirem, precisam de uma temperatura elevadissima, diz-se que são  *refractarios* .



§ 329. **Calor latente da fusão.** Chama-se *calor latente da fusão* o calor que absorve um corpo, e é insensível ao thermometro, para passar do estado solido ao liquido, sem mudar a sua temperatura. O calor latente representa o trabalho interno, empregado em afastar as moleculas, para produzir a mudança de estado. O seguinte exemplo faz-nos perceber claramente o que seja calor latente da fusão. Se misturarmos 1 kilogramma de gelo pilado a  $0^{\circ}$ , com um kilogramma de agua a  $79^{\circ}$ ; vemos que o gelo se funde, e obtemos 2 kilogrammas de agua a  $0^{\circ}$ , quer dizer, á temperatura que tinha o gelo. Ora o gelo para se fundir absorveu  $79^{\circ}$  e não mudou de temperatura; estes 79 gráus, absorvidos pelo gelo, que o thermometro não accusa, representam a quantidade de calor, que vem a ser latente, necessaria para elevar um kilogramma de agua de  $0^{\circ}$  a  $79^{\circ}$ .

§ 330. **Solidificação.** A *solidificação* ou *congelção* é a passagem de um corpo, do estado liquido ao estado solido. As leis da solidificação são duas, reciprocas das da fusão, e determinam-se pela experiencia.

1.<sup>a</sup> LEI. *A temperatura da solidificação é a mesma da fusão.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Durante a solidificação a temperatura mantem-se constante.*

Esta segunda lei mostra que na solidificação de um liquido ha desenvolvimento ou transmissão aos corpos ambientes de todo o calor latente que o liquido havia absorvido durante a fusão.

§ 331. **Crystallisação.** A *crystallisação* é a passagem lenta e gradual de um corpo, do estado liquido ou gazoso ao estado solido, convexo, terminado por faces planas, de fórma regular e geometrica: o solido, que resulta, tem o nome de *crystal*.

§ 332. **Dissolução.** A *dissolução* é a disseminação de um corpo solido em um liquido, por effeito da affinidade entre as moleculas d'estes corpos; é assim que o

assucar, a gomma, os saes, etc., se dissolvem na agua. Na dissolução ha absorpção de uma quantidade, mais ou menos consideravel, de calor latente; é porisso que geralmente se observa um abaixamento de temperatura nas dissoluções.

Acontece porém para certas dissoluções haver, em vez de um abaixamento, uma elevação de temperatura, ou esta ficar constante. Esta producção de effeitos simultaneos e contrarios provém, no primeiro caso, da passagem do estado solido ao liquido, effeito que produz um abaixamento de temperatura; o segundo provém da combinação do solido com o liquido; ora, como em toda a combinação ha desenvolvimento de calor, segue-se que quando predominar um d'estes effeitos, ou forem iguaes, haverá abaixamento ou elevação de temperatura, ou esta ficará constante.

Geralmente quanto maior for a temperatura do liquido, maior é a quantidade de solido que se dissolve: entretanto ha excepções; assim o sal commum tem a mesma solubilidade na agua a diversas temperaturas.

§ 333. Congelação da agua. A agua pura solidifica-se á temperatura de  $0^{\circ}$ ; o *gelo* é a agua congelada. A congelação da agua faz-se lentamente, parece que a parte que se solidifica cede o seu calor latente ao resto da massa liquida. Casos ha porém em que ella póde, sem se congelar, passar a  $10^{\circ}$  ou  $12^{\circ}$  abaixo de  $0$ ; acontece isso quando se deixa resfriar lentamente um vaso de vidro, cheio de agua, ao abrigo de toda a agitação, e cuja superficie interna é polida e sem aspereza; a agua n'este caso fica liquida até  $10^{\circ}$  ou  $12^{\circ}$  abaixo de  $0$ ; porém um pequeno movimento no vaso determina rapidamente a congelação de toda a massa liquida, elevando a sua temperatura a  $0^{\circ}$ .

A agua, congelando-se, augmenta de volume consideravelmente, e a sua força de expansão é tal, que faz estalar e quebrar os vasos que a contêm; por conseguinte

o gelo é mais leve que a agua; a sua densidade é 0,916; é por esta razão que o gelo se mantém á superficie das aguas.

A agua faz uma excepção notavel ás leis geraes da dilatação. Um volume de agua a 100° resfriando-se progressivamente vai diminuindo até 4° acima de zero, onde adquire a maxima densidade; porém a partir d'este ponto, se continuar a resfriar, longe de contrahir-se dilata-se e diminue de densidade até ao ponto de congelação, que é zero.

A agua não é a unica substancia que augmenta em volume solidificando-se; muitas outras substancias, como o antimonio, o bismutho, o ferro fundido, gosam, como a agua, a propriedade de se dilatarem, quando passam do estado liquido ao estado solido.

§ 334. Causas que influem sobre a congelação. A presença dos saes ou outras substancias em dissolução nos liquidos, a falta da presença do ar, uma agitação muito rapida, e em geral tudo o que contraria o movimento das moleculas liquidas, em se agruparem em condições favoraveis ao estado solido, retardam, e portanto abaixam a temperatura da congelação.

Um grande augmento de pressão póde fazer elevar ou abaixar alguma cousa a temperatura da congelação, segundo o corpo diminue, ou augmenta em volume, quando solidifica. A agua do mar não se solidifica senão a  $-2^{\circ},5$ .

§ 335. Regelação. Se unirmos com um certo esforço dois fragmentos de gelo pelas suas superficies planas, observa-se que, meio minuto depois do contacto, estes fragmentos ficam soldados, isto é, congelados, e formam um todo continuo. Se apertarmos com a mão alguns pedaços de gelo vemos que, depois de um certo tempo, todos se congelam, formando uma massa compacta de gelo. Se comprimirmos com certa força uma massa de fragmentos de gelo, veremos que estes se congelam em todos os pontos de contacto e offerecem á vista uma



porção continua de gelo. Este phenomeno de congelação de gelo quando as suas superficies estão em contacto tem o nome de *regelação*.

O phenomeno de *regelo*, que tambem tem logar no seio da agua quente, parece ser analogo ao dos corpos viscosos; o que tem feito com que alguns physicos considerem o gelo como corpo viscoso; mas não o é, porque, se o fosse, cederia á tracção e estender-se-hia como o mel, o mellaço, o alcatrão, e outros corpos viscosos.

A regelação é devida á impossibilidade da evaporação das particulas superficiaes do gelo; quando as superficies de dois fragmentos de gelo se tocam, as particulas, que eram superficiaes, tornando-se centraes, ficam sob a acção coercitiva das particulas ambientes, que impedem a passagem para liberdade gazosa.

Em consequencia d'esta propriedade, o gelo póde tomar todas as fórmas que se lhe queiram dar. Uma barra recta de gelo póde tornar-se em um annel. Se fizermos passar esta barra por successivas molduras, cada vez mais curvas até serem circulos, a barra de gelo tornar-se-á um annel em virtude da regelação, estabelecendo sempre a continuidade na barra successivamente fracturada. Collocando uma massa de fragmentos n'um molde qualquer, e sujeitando-a á pressão de uma prensa hydraulica, obtem-se o gelo com a mesma fórma do molde. Do gelo póde fazer-se uma corda e com esta dar-se um nó.

§ 336. *Misturas frigoríferas*. Denominam-se *misturas frigoríferas*, as misturas de corpos entre os quaes ha acções chimicas, que determinam a fusão de algum d'elles, d'onde resulta a absorpção do calor latente.

Utilizam-se em chimica, na physica, na industria e na economia domestica, para produzir frio artificial mais ou menos intenso. Obtem-se misturando substancias que têm afinidade umas para as outras, sendo pelo menos uma d'ellas solida; a afinidade accelerando a fusão, e a porção fundida absorvendo uma grande quantidade do

calorico latente determinam um abaixamento de temperatura, algumas vezes muito consideravel.

Assim misturando, em peso, 1 de sal commum com 1 de neve, obtem-se uma temperatura de  $-18^{\circ}$ ; 2 de chlorureto de calcio com 1 de neve, obtem-se  $-54^{\circ}$ ; 1 de agua com 1 de azotato de ammoniaco, acha-se  $-16^{\circ}$ . Algumas vezes a mistura de duas substancias em proporções differentes produz umas vezes um abaixamento de temperatura, outras vezes uma elevação; assim 4 partes de gelo e 1 de acido sulphurico, produz uma temperatura  $-20^{\circ}$ ; 4 partes de acido sulphurico e 1 de gelo produz calor.

No primeiro caso o gelo, fundindo-se, absorve o calor que a acção chimica produz entre a agua e o acido sulphurico; no segundo caso o gelo, fundindo-se, não absorve o muito calor que se desenvolve.

### Vaporisação

§ 337. Vaporisação. Chama-se em geral *vaporisação* a passagem de um corpo do estado liquido ao estado de vapor. Dá-se o nome de *vapores* aos fluidos aeriformes, procedentes da transformação dos liquidos, quer espontanea, quer pela acção de calor.

Chamam-se *corpos volateis* os que têm a propriedade de se reduzirem muito facilmente a vapores, a temperaturas ordinarias, como a agua, o alcool, o ether, os oleos essenciaes: e *corpos fixos* os que não dão vapores em nenhuma temperatura; como o azeite, os oleos gordos, que, muito aquecidos, decompõem-se.

Ha tambem corpos solidos, como o gelo, a camphora e as substancias odoriferas, que emittem vapores a temperatura ordinaria; outros, como o arsenio, o iodo, que, aquecidos, passam do estado solido ao de vapor sem passar pelo estado liquido; diz-se que estes corpos se *sublimam*.

Os vapores são transparentes, como os gases, e geralmente incolores; são verdadeiros gases, cuja tensão ou força elastica cresce com a temperatura; porém os gases não são vapores, a differença entre estes e aquelles é que os vapores passam com facilidade ao estado liquido por um ligeiro abaixamento de temperatura ou pelo augmento de pressão.

§ 338. **Formação dos vapores no vazio.** Os liquidos volateis, expostos livremente ao ar, não se vaporizam senão lentamente; a pressão atmospherica é um obstaculo á passagem dos liquidos para o estado de vapor; pelo contrario no vazio os liquidos transformam-se instantaneamente em vapores, a força elastica não acha resistencia alguma. Para demonstrar este facto, tomem-se dois barometros A e B, mergulhando na mesma cuba, cujos niveis necessariamente devem estar no mesmo plano horizontal. Se introduzirmos n'um d'estes barometros, B por ex., algumas gottas de um liquido volatil, como agua, alcool ou ether, etc., observa-se que no mesmo instante em que as gottas do liquido volatil penetram na camara barometrica o nivel do mercurio abaixa. Esta depressão na columna mercurial não póde provir do peso das gottas do liquido introduzido, visto que é insignificante em relação ao peso de mercurio deprimido; logo houve a formação de vapores, cuja força elastica fez deprimir a columna mercurial.

A depressão da columna mercurial varia conforme a natureza do liquido introduzido no tubo.

A formação dos vapores está submettida ás duas seguintes leis:

1.<sup>a</sup> LEI. *No vazio os liquidos volateis vaporizam-se instantaneamente.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Os vapores de liquidos differentes não têm a mesma força elastica á mesma temperatura.*

§ 339. **Espaços saturados e não saturados.** Quando um certo espaço não póde conter mais vapor de



um liquido, diz-se que o espaço *está saturado*; se o espaço póde conter mais vapor além do contido, diz-se que o espaço *não está saturado*. Quando se introduz na camara barometrica uma quantidade sufficiente de um liquido volatil, para que depois da sua formação em vapores fique um excesso de esse liquido em contacto com o vapor formado, diz-se que este vapor é *saturante*, visto que a camara barometrica não póde conter mais vapor á temperatura da experiencia. Se a quantidade do liquido for muito pequena, e não houver traço algum d'este liquido depois da sua vaporisação; diz-se que o vapor é *não saturante*, pela razão de que o espaço póde não conter a quantidade sufficiente de vapor para o saturar.

§ 340. *Maxima tensão de vapores*. Quando um espaço dado é saturado de vapores a uma temperatura determinada, e contém o liquido em excesso; o vapor toma por si mesmo o seu *maximo de força elastica ou tensão*. Este maximo varia com a temperatura, mas é independente da pressão. Se augmentar a pressão, uma parte d'este vapor passa immediatamente ao estado liquido; se diminuir, uma parte do liquido em excesso, vaporisa-se immediatamente. Logo a força elastica do vapor fica a mesma.

Se o espaço não estiver saturado, os vapores não saturantes apresentam propriedades semelhantes ás dos gazes; quando a pressão augmenta ou diminue, sendo constante a temperatura, o seu volume diminue ou augmenta, e ao mesmo tempo augmenta ou diminue a sua tensão; d'onde se conclue que os vapores não saturantes ficam submettidos ás leis de Mariotte.

§ 341. *Relação entre as tensões dos vapores e as temperaturas*. A determinação da força elastica do vapor da agua a diversas temperaturas, além do interesse scientifico, é de alta utilidade practica, pois o vapor aquoso é o motor mais usual; é preciso pois determinar experimentalmente qual a lei de progressão das

tensões do vapor d'agua, que crescem com as temperaturas. Ha varios processos para determinar a força elastica crescente do vapor d'agua com a temperatura. Gay-Lussac determinou esta força para as temperaturas inferiores a zero. Dalton mediu-a, com o auxilio do seu aparelho, conhecido pelo nome de *aparelho de Dalton*, desde zero até 100°. Arago e Duglon determinaram-na para as temperaturas superiores a 100°. Existem tabellas, que designam os resultados das experiencias, confirmados pelos calculos das fórmulas empiricas, dadas por Young, Roche e Biot.

Do processo de Dalton deduz-se que a força elastica do vapor aquoso, á temperatura da ebullicão d'este liquido ao ar livre, é igual á pressão atmospherica. Este principio é verdadeiro para todos os liquidos; assim a força elastica dos vapores do ether, do alcool e do mercurio ás temperaturas de 35° de 79° e de 360°, temperaturas da ebullicão d'estes liquidos, é egual á pressão atmospherica.

Partindo d'este principio, Dalton deduziu a seguinte lei empirica. Os vapores de differentes liquidos têm iguaes tensões, quando estes liquidos tiverem temperaturas, que se afastem o mesmo numero de grãos dos respectivos pontos de ebullicão.

### Evaporação. Ebullicão. Distillação

§ 342. **Evaporação.** Dá-se o nome de *evaporação* á producção lenta de vapor á superficie de um liquido em contacto com o ar. É em consequencia da evaporação que a agua, contida em um vaso aberto, desaparece completamente no fim de um certo tempo, deixando no fundo do vaso substancias que tinha em dissolução. É a evaporação que produz vapores á superficie dos mares, lagos, rios, e mesmo da terra que, elevando-se para atmosphera, formam nuvens, e se resolvem em chuva. Á

evaporação é que se deve a seccagem dos pannos molhados, expostos ao ar e a extracção do sal commum nas marinhas.

§ 343. As causas que favorecem a rapida evaporação de um liquido, são quatro ; a saber :

1.<sup>a</sup> *A temperatura*, porque, augmentando esta, accelera a evaporação pelo augmento da força elastica que determina os vapores ;

2.<sup>a</sup> *A diminuição de pressão*, porque esta favorece a formação dos vapores ;

3.<sup>a</sup> *A renovação do ar*, porque, se o ar não fosse renovado, ficaria de prompto saturado e paralytaria a evaporação.

4.<sup>a</sup> *A extensão da superficie.*

§ 344. *Ebullição*. Chama-se *ebullição* a passagem, rapida e tumultuosa, de um liquido para o estado de vapor, desenvolvendo no seio da sua massa liquida bôlhas, mais ou menos grossas, que vêm quebrar-se á sua superficie.

Quando se aquece um vaso cheio de agua pela sua parte inferior, as primeiras bolhas que apparecem é o ar que estava em dissolução na agua que se desenvolve ; depois pequenas bolhas de vapor, que se elevam de todos os pontos aquecidos das paredes ; mas estas bolhas encontrando na sua travessia camadas superiores de temperatura inferior, condensam-se antes de chegar á superficie ; existe pois a formação de vapores e a sua condensação ; é este o phenomeno que motiva o ruido que precede a ebullição : finalmente grossas bôlhas elevam-se e vêm quebrar-se á superficie do liquido, o que constitue o phenomeno de ebullição.

§ 345. *Leis da ebullição*. Todos os liquidos, susceptiveis de entrar em ebullição, estão subordinados ás seguintes leis :

1.<sup>a</sup> *LEI. A temperatura de ebullição augmenta com a pressão.*

2.<sup>a</sup> *LEI. Para um mesmo liquido, sob a mesma pressão, a ebullição tem logar sempre á mesma temperatura. Esta*



*temperatura fica invariavel durante toda a duração da ebullição, qualquer que seja a intensidade do foco calorifico.*

3.<sup>a</sup> LEI. *O calor desenvolvido á superficie do liquido em ebullição, possui uma força elastica precisamente igual á pressão atmospherica, natural ou artificial, que a cerca.*

§ 346. *Causas que fazem variar a temperatura da ebullição. São quatro as causas que fazem variar a temperatura da ebullição; a saber, a natureza do liquido; a natureza do vaso; as diversas substancias em dissolução no liquido; e a pressão.*

1.<sup>a</sup> *Natureza do liquido.* Os liquidos não entram em ebullição a mesma temperatura, sob a mesma pressão; o gráu de temperatura da ebullição, varia para cada liquido, sob a mesma pressão. Assim o gráu da ebullição da agua é de 100°; o do ether é 36°,7; o do alcool é 79° e o do mercurio é 360°, tendo todos estes liquidos a pressão de 0<sup>m</sup>,76.

2.<sup>a</sup> *Natureza do vaso.* A observação mostra, que a agua n'um vaso de vidro entra em ebullição a uma temperatura mais elevada do que n'um vaso de metal. Se a superficie do vaso de vidro for bem polida, e limpa com acido sulphurico concentrado, ou com potassa, a temperatura da ebullição da agua póde elevar-se a 101°, 102° até 106°; mas cousa notavel, se lançarmos um pequeno fragmento de metal dentro do vaso de vidro, a temperatura da ebullição da agua será de 100°.

3.<sup>a</sup> *Substancias em dissolução.* As substancias em dissolução no liquido, quando não são volateis, retardam a ebullição. A agua, sendo pura, ferve a 100°; mas entra em ebullição a diferentes temperaturas, quando estiver saturada com diferentes substancias. A agua saturada com sal marinho entra em ebullição a 109°; com azotato de potassa a 116°; com carbonato de potassa a 135°; com chlorureto de calcio a 179°.

4.<sup>o</sup> *Pressão exterior.* Todo o liquido entra em ebullição

nó momento em que a tensão do seu vapor for igual á pressão que elle supporta; segue-se, pois, que quanto menor for a pressão, tanto menor será a temperatura da sua ebullicão. A agua ao nivel dos mares e sob a pressão de 0<sup>m</sup>,76 ferve a 100°; na crista das altas montanhas, onde a pressão é menor, ferve a uma temperatura menor; sobre o Monte Branco a agua ferve a 84°; sob o recipiente da machina pneumática, onde o ar se rarefaz, a agua entra em ebullicão á temperatura ordinaria.

§ 347. Temperatura de alguns liquidos mais notaveis á pressão ordinaria. A ebullicão da agua é a 100°; a do ether sulphurico a 37°,8; a do sulphureto de calcio a 47°; a do alcool a 78°,4; a do mercurio a 360°; a do azeite a 150°; a do enxofre a 399°; a do phosphoro a 298°; a do ammoniaco a —35°

§ 348. Ebullicão em vasos fechados. Temos até aqui supposto que a ebullicão se fazia em vasos abertos, onde os vapores produzidos podem espalhar-se livremente no espaço. Nos vasos fechados os vapores que se produzem, não achando passagem para a sua sahida, a sua tensão e a sua densidade crescem cada vez mais com a temperatura; mas o seu desenvolvimento rapido que constitue a ebullicão é impossivel. Emquanto que n'um vaso aberto a temperatura do liquido não póde passar além do ponto da sua ebullicão, nos vasos fechados, pelo contrario, a temperatura póde elevar-se muito além da temperatura da ebullicão.

— Apesar do augmento da temperatura do liquido a cima do ponto de ebullicão em vasos fechados, este augmento tem um limite. O liquido pelo augmento da temperatura desaparece totalmente, transformando-se em vapor, cujo volume differe um pouco do do liquido. Acha-se que o ether sulphurico, em vaso fechado, a 200°, reduz-se totalmente em vapor n'um espaço menor que o dobro do seu volume no estado liquido, e tem a tensão de 38 atmosferas.



§ 349. **Ebullição sem fogo.** Fazendo ferver, por alguns minutos, a agua contida n'um vaso de vidro B, fig. 98, de um longo gargalo; fechando-o depois hermeticamente com uma rolha, invertendo-o, e mergulhando a extremidade do collo n'um vaso V com agua, observa-se que a ebullição pára; porque o vapor formado não podendo sahir, exerce pressão sobre o liquido e impede a fervura; mas deitando agua sobre o balão, uma parte do vapor condensa-se, diminue a pressão, que exercia sobre o liquido, e este ferve de novo, até que a pressão do novo vapor formado, faça outra vez parar a ebullição; tornando a deitar agua sobre o balão, a ebullição recomeça, e assim successivamente até o completo resfriamento da agua.

§ 350. **Fervedouro de Franklim.** O fervedouro de Franklim é um pequeno aparelho, que mostra a influencia da pressão sobre a temperatura da ebullição. Compõe-se de duas esferas de vidro *a* e *b*, reunidas por um tubo delgado, duplamente recurvado em angulo recto; o aparelho contém só agua e o vapor d'esta. Prepara-se este aparelho fazendo entrar agua por uma das esferas, *b*, que é aberta; faz-se ferver o liquido na outra, e quando estiver cheia de vapores e o ar tiver sido expellido, fecha-se a esfera á lampada.

Applicando a mão á esfera *a* esta aquece; os vapores existentes em *a* augmentam de tensão, e expulsam a agua para a outra esfera *b*; este liquido encontrando ali a pequena pressão do seu vapor na temperatura do ambiente, entra immediatamente em ebullição; sente-se então na mão uma sensação de frio, devida ao calor absorvido pela agua, para passar do estado liquido a vapor.

§ 351. **Marmita de Papin.** A marmita de Papin tem por fim pôr em evidencia que nos vasos fechados a ebullição é impossivel; a temperatura eleva-se cada vez mais, assim como a tensão e a densidade do vapor que o liquido produz augmentam.

Este aparelho, fig. 99, compõe-se de um vaso cylin-



drico A de bronze, de paredes espessas, que se fecha muito solidamente por meio de um parafuso de pressão C, com uma tampa do mesmo metal. N'esta tampa ha um orificio O com uma valvula de segurança, a qual consta de um disco metallico. Uma alavanca L, movel pela extremidade *cc* preme o disco obturador; um peso *p*, que se desloca ao longo da alavanca, exerce sobre o disco uma pressão, tanto maior quanto este peso estiver mais perto da extremidade livre da alavanca. A pressão sobre o disco deve ser igual á maxima tensão que se quizer dar ao vapor; quando esta tensão exceder este limite, a valvula levanta-se e o vapor sáe: d'este modo evita-se a explosão.

Para funcconar a marmita de Papin, encha-se de agua até os dois terços, e depois de fechada colloque-se no forno; o liquido toma uma temperatura superior a  $100^{\circ}$  e augmenta tanto mais, quanto maior for a pressão da valvula: a temperatura da agua poderá elevar-se até  $135^{\circ}$ , se a carga sobre a valvula corresponder a uma tensão de 3 atmosferas; ella se elevará a  $160^{\circ}$ , se o peso sobre a valvula for de 6 atmosferas.

A manipulação da marmita de Papin é muito perigosa: quando se levanta a valvula, sáe um jacto de vapor para a atmospherá, produzindo um assobio, e eleva-se a uma certa altura; o liquido entra em ebullição, e a temperatura abaixa a  $100^{\circ}$ .

A marmita de Papin tem o nome de *digestor*: porque a força dissolvente da agua augmenta consideravelmente com a temperatura; utiliza-se d'ella para cozer certos alimentos em pouco tempo, e dissolver a gelatina dos ossos e amollecê-los, como dizia Papin.

§ 352. Calor latente dos vapores. Dá-se o nome de *calor latente do vapor* ao calor empregado em fazer o trabalho de vaporisação, e que não se manifesta ao thermometro. O calorico latente de vaporisação de um corpo é o numero de calorías absorvido por 1 kilogramma de

corpo liquido, para se vaporisar, sem augmento de temperatura. Em geral os liquidos, cujos vapores são mais densos, têm menores calorias de vapor.

O calorico latente de vaporisação da agua é 540 calorias; o do alcool 208; o do ether sulphurico 91; o da essencia de terebentina é de 69; o do acido acetico é 102.

§ 353. Frio produzido pela evaporação. A vaporisação de um liquido, á temperatura ordinaria, absorve uma consideravel quantidade de calor, que se torna latente no vapor que se desenvolve; resulta pois um abaixamento de temperatura á superficie do corpo evaporante, tanto mais consideravel, quanto mais rapida é a evaporação. Assim se explica a sensação de frio que sentimos quando saímos de um banho, ou quando deitamos algumas gottas de ether na mão. A vaporisação da agua no vazio produz um frio tal, que faz gelar a parte do liquido que não se volatilisa; assim demonstra a notavel experiencia de Leslie.

*Experiencia de Leslie.* Esta experiencia tem por fim fazer gelar agua pelo unico effeito de uma rapida evaporação. Colloque-se sob o recipiente da machina pneumatica um vaso de vidro, contendo acido sulphurico concentrado, e sobre este uma capsula metallica com agua; fazendo o vazio, quanto possivel, a agua entra em ebulição, os vapores são absorvidos pelo acido sulphurico á medida que se desenvolvem; produz-se uma rapida evaporação, que promove a congelação da agua que fica na capsula; se em vez da agua operassemos com liquidos mais volateis, como por ex. o acido sulphurico, que ferve a  $-10^{\circ}$ , produzir-se-hia um frio capaz de gelar o mercurio.

Utilisa-se do frio produzido pela evaporação para resfriar a agua nos *moringues*, bilhas de barro, muito porosas, em que a agua se filtra lentamente e vem evaporar-se á superficie, principalmente quando ficam sujeitos á corrente do ar.

§ 354. Congelador de Carré. Fabrico industrial do gelo. Carré, aproveitando o principio da producção

do frio pela rapida evaporação dos liquidos volateis, inventou um apparelho que tem o nome de *congelador de Carré*, que presentemente tem tido sensiveis modificações. Este apparelho funda-se sobre a evaporação do gaz ammoniaco, de ante-mão liquefeito pela pressão.

O congelador de Carré consta, na sua maior simplicidade, de uma caldeira de ferro, com uma solução aquosa de sal ammoniaco, que communica por meio de um tubo com um recipiente annular fechado, que fica dentro de um vaso central, que contém a agua que se quer fazer gelar. Aquecendo a caldeira e por conseguinte a solução ammoniacal que ella contém, desenvolve-se o gaz ammoniaco, que se dirige para o recipiente annular, onde se liquefaz em virtude da sua propria pressão.

Extinguindo o fogo, que aquecia a caldeira, o liquido ammoniacal, contido no recipiente, passa ao estado de vapor pela diminuição de pressão na caldeira, e volta para esta e torna a dissolver-se na agua que ahi ficou. Mas a rapida evaporação do liquido ammoniacal, absorvendo quasi a totalidade do calor latente da agua, que se contém no vaso central, determina a congelação da mesma agua, e em pouco tempo converte-se em um cylindro de gelo compacto. Tirando este gelo assim formado, e substituindo-o por uma nova quantidade de agua e reacendendo de novo o lume por baixo da caldeira, obtém-se uma nova quantidade de gelo pela reproducção dos mesmos phenomenos. Em pouco tempo obtém-se uma grande quantidade de gelo.

O *fabrico industrial de gelo* funda-se no mesmo principio. Hoje as novas machinas de Carré produzem frio e gelo sem fogo, sem pressão e sem perigo na sua manipulação. Constam essencialmente de um grande reservatorio para acido sulphurico e de uma bomba pneumática. Uma alavanca põe em movimento ao mesmo tempo a bomba e o agitador que renova constantemente a superficie do acido. Estas machinas convertem em gelo tres



ou quatro litros de agua de 30° em 4 ou 5 minutos. Com a ampliação nas dimensões d'estas machinas póde-se obter em breve tempo uma enorme quantidade de gelo, sufficiente para satisfazer ás necessidades sociaes.

§ 355. *Distillação.* A distillação é uma operação em que o liquido passa ao estado de vapor, e d'este para liquido; ella tem por fim purificar os liquidos, separando as substancias fixas ou volateis, que estavam em dissolução. O apparelho que serve para distillar é o *alambique*. Compõe-se de tres partes: a *cucurbita*, o *capitel* e a *serpentina*. A cucurbita ou caldeira é o logar onde se deposita o liquido que se quer distillar, fica assente sobre o forno; o capitel, que cobre a cucurbita e aonde se accumulam os vapores, fica em communicação por meio de um tubo com a serpentina, formada de um tubo em espiral e está mettida n'um reservatorio de agua fria. Este reservatorio está em communicação com um tubo que serve para conservar a agua.

Opera-se a distillação elevando á ebullição o liquido contido na concubita; o vapor aquoso dirige-se para o capitel e d'ahi para a serpentina, onde se condensa pelo resfriamento que soffre; recolhe-se o liquido pela torneira do resfriador.

## CAPITULO XX

**Liquefacção e solidificação  
dos gases**

§ 356. **Liquefacção.** A liquefacção ou condensação é a passagem de um corpo aeriforme, vapor ou gaz, ao estado liquido.

A *liquefacção* ou *condensação dos vapores* obtém-se pelas tres seguintes causas: o *resfriamento*, a *compressão* e a *afinidade*. As duas primeiras causas exigem que os vapores estejam no estado de saturação; a ultima produz a liquefacção dos vapores mais rarefeitos; assim muitos saes absorvem, condensando, o vapor aquoso que existe na atmospheria em fraca proporção.

No momento da condensação dos vapores o seu calorico latente vem a ser livre, isto é, sensivel ao thermometro. Observa-se que, fazendo passar uma corrente de vapor a 100° n'um vaso de agua á temperatura ordinaria, o liquido aquece rapidamente e chega logo a 100°. Fica clara pois a equivalencia entre o calor réstituido pelo vapor, que se condensa, e o que tinha absorvido para se formar.

§ 357. **Liquefacção dos gazes.** Os gazes são susceptiveis de liquefacção. Os gazes, considerados como vapores muito dilatados ou vapores não saturados, têm geralmente muito longe o ponto de sua saturação; para se liquefazerem é mister que sejam levados primeiro ao ponto de saturação, e para isso é necessario o emprego de uma pressão e resfriamento muito consideraveis.

Ha gases que sob uma pequena pressão e resfriamento se liquefazem, como o acido sulphurico, o acido hypoazotico, o cyanogenio, o ammoniaco; ha outros em que é necessario usar enormes pressões, ou sujeital-os a grandes frios ou empregar estes dois meios simultaneamente. As grandes pressões podem ser exercidas pelos meios artificiaes, por meio de bombas de compressão; ou tambem podem ser exercidas pelos proprios gases, desenvolvidos pelas acções chemicas em espaços pequenos e fechados, em tal quantidade que, comprimindo-se a si mesmos, liquefazem-se.

Mr. Farady liquefez um grande numero de gases considerados como permanentes. O seu processo consistia em introduzir n'um syphão de vidro substancias, que pela sua reacção chimica dessem origem ao gaz que se pretendia comprimir; á medida que estas substancias, contidas n'um dos ramos do syphão, desenvolviam o gaz, este vinha a comprimir-se sobre si mesmo no outro ramo, e liquefazia-se.

O gaz podia ficar submettido á pressão de 40 a 50 atmospheras, além d'isto, podia-se fazer resfriar o tubo por meio de misturas frigoriferas. Faraday foi o primeiro que liquefez o acido carbonico sob a pressão de 35 atmospheras.

Com o apparelho de Thilorier, modificado por Mr. Dileuil, conseguiu-se não só liquefazer, mas até solidificar o acido carbonico. Pelo apparelho de Natter, modificado por Bianchi, conseguiu-se liquefazer o protoxido de azote, e solidificá-lo no vacuo. Hoje já não ha gases permanentes e não permanentes, os trabalhos dos physicos modernos mostram que todos os corpos aeriformes passam ao estado liquido, sendo sujeitos a pressões e resfriamentos convenientes.

§ 358. Solidificação dos gases. O hydrogenio, o oxigenio e o ar atmospherico, gases que haviam resistido ao frio de  $-110^{\circ}$  e á pressão de 50 atmospheras, foram solidificados. Os trabalhos de Raul Pictet e de Cailletet



assim o provam. Raul Pictet, nos seus trabalhos sobre a liquefacção dos gases, nas officinas da sociedade de construcção de instrumentos de physica, em Genebra, conseguiu solidificar o hydrogenio pela evaporação. Submetteu o hydrogenio á pressão de 650 atmospheras e á temperatura de  $140^{\circ}$  abaixo de zero; abrindo a torneira do apparatus, observou que o jacto que sahia do apparatus era azulado e produzia um ruido estridente como o do ferro em brasa mergulhado na agua.

Depois o jacto tornou-se intermittente e notou-se uma especie de chuva de corpusculos, solidos, projectados violentamente no solo. Fechada a torneira, a pressão interior baixou; subindo depois a 325 atmospheras, tornando a abrir o jacto, foi de tal modo intermittente, que denotou uma crystallisação dentro do tubo.

### Mistura dos gases e vapores.

§ 359. Na mistura dos gases e vapores dão-se as duas seguintes leis:

1.<sup>a</sup> LEI. *A tensão e a quantidade de vapor que satura um espaço dado, são sempre as mesmas, á mesma temperatura, quer este espaço seja vazio, quer occupado por outro gaz.*

2.<sup>a</sup> LEI. *A tensão da mistura do gaz e vapor é igual á somma das tensões dos gases e vapores que se acham misturados.*

Estas leis conhecidas pelas leis de Dalton, o primeiro que as formulou, demonstram-se por meio de um simples apparatus de Gay-Lussac.

§ 360. **Densidade dos vapores.** *A densidade ou peso especifico dos vapores é a relação entre o peso de um certo volume do vapor e o peso de igual volume de ar, tomados nas mesmas condições de temperatura e de pressão,*

Para determinar a densidade dos vapores, peze-se um balão de vidro, vazio, de uma certa capacidade; depois peze-se este successivamente, cheio de ar e do vapor, cuja densidade se procura, sob as mesmas condições de temperatura e de pressão. Chamando  $P$  ao peso do volume de ar contido no balão e  $p$  o peso do vapor, cuja densidade se pretende determinar, teremos,

$$D = \frac{p}{P}$$

§ 361. Relação entre um volume de um liquido e o do seu vapor. Chama-se *volume específico d'um vapor* á relação entre o volume de um vapor e o do liquido que o gerou. Conhecida a densidade de um vapor, determina-se facilmente o volume que um peso conhecido d'este vapor deve occupar no estado de saturação, a uma temperatura dada.

Supponhamos que se pretende determinar o volume de uma gramma do vapor de agua a  $100^{\circ}$ , sob a pressão de  $0^m,76$ .

Primeiramente determinemos qual é o peso de um litro do vapor de agua a  $100^{\circ}$  sob a pressão de  $0^m,76$ . Como as densidades são proporcionaes aos pesos, e a densidade do vapor da agua a  $100^{\circ}$ , referida á do ar, que é 1, é igual a 0,6236; representando por  $P'$  o peso de um litro de ar a  $100^{\circ}$  á pressão de  $0^m,76$ ; o peso de um litro do vapor saturado, sob as mesmas condições de temperatura e pressão, será

$$1 : 0,6236 :: P' : x \quad \text{ou} \quad x = P' \times 6236 \dots (\alpha)$$

O valor de  $P'$  obtem-se com facilidade. Seja  $P$  o peso de um litro de ar a zero;  $\alpha$  o seu coefficiente de dilatação,  $P'$  o peso do mesmo volume a  $t^{\circ}$ ; teremos

$$P = P'(1 + \alpha t); \text{ logo será } P' = \frac{P}{1 + \alpha t}.$$

Como o peso de um litro de ar é  $1^{\text{gr}},3$ , e o coefficiente da dilataçãõ do ar é  $0,00366$ ; no caso que consideramos o peso de um litro do ar secco a  $100^{\circ}$  será

$$P' = \frac{1^{\text{gr}},3}{1 + 0,00366 \times 100} = \frac{1^{\text{gr}},3}{1,366} = 0^{\text{gr}},951$$

substituindo este valor de  $P'$  em  $(\alpha)$  vem

$$x = 0^{\text{gr}},951 \times 0,6236 = 0^{\text{gr}},593$$

logo: o peso de um litro de vapor de agua a  $100^{\circ}$ , á pressãõ de  $0^{\text{m}},76$ , é igual ao producto do peso de um litro de ar á mesma temperatura e pressãõ, pela densidade  $0^{\text{gr}},6236$ .

Para obter o volume occupado por uma gramma de vapor, á mesma temperatura e pressãõ, basta dividir  $1^{\text{gr}}$  por  $0,593$ , o que dá  $1^{\text{lit}},686$  centimetros cubicos. A agua, transformando-se em vapor a  $100^{\circ}$  e á pressãõ de  $0^{\text{m}},76$ , toma um volume proxicamente 1700 vezes maior que no estado liquido.

§ 362. Estado espheroidal. Dá-se o nome de *estado espheroidal* á fórma de espherode achatado, animado de um rapido movimento gyratorio, que toma um liquido, quando se acha bruscamente sobre uma lamina metallica, de temperatura muito superior á da sua ebullição. N'este estado, que é especial, os liquidos não molham as superficies sobre que gyram e possuem uma temperatura inferior á da sua ebullição; quando a temperatura d'estas superficies baixa até ao ponto de ebullição, os liquidos molham-nas e transformam-se rapidamente em vapores.

Se aquecermos ao rubro uma capsula de platina e lhe deitarmos algumas gottas de agua, por meio de uma pipeta; o liquido, sem server, toma a fórma de um espherode achatado, que gyra em cima da capsula sem a molhar; mas, deixando-a resfriar, quando a temperatura



abaixa até ao ponto da ebullicão, a agua molha a capsula e reduz-se a vapores.

Todos os liquidos podem tomar o estado espheroidal; a temperatura necessaria para isso é tanto mais elevada, quanto mais subido for o gráu da ebullicão.

§ 363. **Causa do estado espheroidal.** A causa que impede o liquido, no estado espheroidal, de molhar a superficie da capsula, é a força repulsiva que se desenvolve entre o corpo quente e o liquido, força tanto mais energica, quanto mais elevada for a temperatura. A grande energia do movimento vibratorio calorifico, que possui um corpo de temperatura muito elevada, repelle de tal modo o liquido, que, destruindo a attracção d'elle para o corpo quente, impede o contacto entre estes dois corpos, de modo que se pôde ver a luz pelo intervallo que fica entre o liquido e o corpo quente. O liquido só recebe o calor que irradia a superficie muito quente, o que promove uma certa evaporação; o vapor produzido por esta evaporação determina o movimento gyratorio do liquido.

§ 364. **Experiencias relativas ao estado espheroidal.** Ha liquidos que no estado espheroidal não atacam laminas metallicas aquecidas ao rubro; mas, fóra d'este estado, exercem sobre ellas uma acção chimica. Assim o acido azotico ataca o cobre, sobre tudo a quente; mas, se deitarmos algumas gottas d'este liquido sobre uma capsula de cobre, aquecida ao rubro, estas gottas tomam o estado espheroidal, e não atacam o metal; porém, baixando a temperatura, opera-se a acção chimica. Analogo phenomeno se observa entre o acido sulphurico e o zinco.

Se deitarmos n'uma capsula de platina, aquecida ao rubro, uma gotta de acido sulphuroso liquido, este constitue-se no estado espheroidal; junctando-lhe uma gotta de agua, esta gela instantaneamente, visto que a temperatura do acido sulphurico no estado espheroidal é de  $-11^{\circ}$ . Se deitarmos sobre a mesma capsula ether misturado com acido carbonico solido, obtém-se um liquido

nô estado espheroidal com uma temperatura de  $-100^{\circ}$  que faz gelar o mercurio.

Se mergulharmos a mão, humedecida com agua ou ether, no chumbo ou ferro derretido, não se queima; porque a agua ou o ether, constituindo-se no estado espheroidal, não deixa estabelecer o contacto entre a mão e o chumbo ou ferro derretido, que tem uma temperatura elevadissima.

O iode, que é solido á temperatura ordinaria, vaporisa-se, pelo aquecimento, sem passar pelo estado liquido; porém deitando-o sobre uma capsula de platina aquecida ao rubro, constitue-se no estado espheroidal, e evapora-se lentamente; deixando resfriar a capsula, chega-se a um ponto em que desaparece o estado espheroidal, e o iode transforma-se rapidamente em vapor.

### Idéas gerâes sobre as applicações domesticas do calor

§ 365. Uma das principaes applicações do calor na economia domestica, é o aquecimento dos recintos habitados e a ventilação. A principal condição para aquecer um recinto vantajosamente, é aproveitar, com emprego de pouco combustivel, o maximo calor; e para isso é necessario attender muito á construcção dos appparelhos proprios para o aquecimento.

§ 366. Temos visto que todos os corpos se dilatam uniformemente pela acção do calor; os gazes são os mais dilataveis e a sua dilatação é uniforme. A densidade de um gaz é tanto menor, quanto maior for a sua temperatura; por conseguinte, se uma massa de gaz n'um recinto tiver, nas suas diversas camadas, temperaturas differentes, evidentemente estas camadas ficarão sobrepostas segundo a ordem das suas temperaturas; as mais quentes ficarão na parte superior e as mais frias em baixo. Este prin-

cipio tem a sua applicação na construcção dos diversosapparelhos de aquecimento.

§ 367. **Apparelhos de aquecimento.** Os principaes apparelhos, empregados para o aquecimento artificial das habitações, são cinco: 1.º as *chaminés*; 2.º as *poales*; 3.º os *caloriferos de ar quente*; 4.º os *apparelhos de circulação de agua quente*; 5.º *Caloriferos de vapor*.

§ 368. **Chaminés.** As *chaminés* são canaes, geralmente verticaes, que se abrem sobre um logar onde se faz a combustão; compõem-se de duas partes distinctas: o *foco* e o *canal*. É no foco que se opera a combustão, cujos productos são expulsos pelo canal e substituidos por um ar novo, que alimenta a combustão. A sahida d'estes productos não se opera por effeito do seu peso especifico, como se a combustão se effectuasse em pleno ar, mas por um effeito particular, que se designa pelo nome de *tiragem*.

*Tiragem da chaminé.* Chama-se *tiragem da chaminé* o movimento ascensional, na chaminé, do ar e dos gazes, que se manifestam na occasião da combustão no foco. Quando o ar do recinto e o da chaminé, que n'elle fica situada, têm a mesma temperatura, a camada do ar, considerada na parte mais baixa da chaminé, é immovel, porque recebe pressões iguaes e contrarias; mas desde que o combustivel começa a arder no foco, o ar da chaminé e os gazes procedentes da combustão, dilatam-se, tornam-se mais leves e sobem pelo canal, deixando atraz de si uma grande rarefacção, ou quasi vazio, que é logo preenchido pelo ar do recinto, o qual, activando a combustão, tambem se eleva por seu turno, emquanto que este é substituido no recinto por novas camadas de ar vindo de fóra; ao mesmo tempo o fumo e os productos da combustão são lançados para fóra pela parte superior da chaminé. A tiragem será tanto mais forte, quanto mais consideravel for a differença entre as temperaturas do ar na chaminé e do ar exterior, e maior for a altura da chaminé.



§ 369. **Condições de uma boa tiragem.** Para que a tiragem de uma chaminé possa entreter a combustão e por conseguinte aquecer um recinto, produzindo n'elle uma boa ventilação e dando facil escoamento ao fumo e aos outros gases da combustão, é preciso satisfazer ás seguintes condições:

1.<sup>a</sup> Que a chaminé tenha uma altura sufficiente; porque uma elevação extraordinaria, em vez de augmentar a tiragem, diminuil-a-hia; visto que o attrito, que o ar deve receber no seu movimento ascensional, e o resfriamento, que deve soffrer ao passo que se afastar do foco, devem fazer perder por um lado o que se queria ganhar por outro. N'uma das officinas de Manchester ha uma chaminé que tem de altura 120 metros.

2.<sup>a</sup> Que a chaminé não deve ser muito larga; porque, se o fosse poderia dar logar a uma corrente descendente de ar frio, o que retardaria a velocidade da tiragem, penetraria no recinto, e o encheria de fumo; se fosse muito estreita, impediria o livre movimento do ar e do fumo, sendo ella cheia; a largura da chaminé deve ser sufficiente.

3.<sup>a</sup> Que a abertura da chaminé não deve ter uma grande extensão, nem ficar muito acima do foco; porque uma grande parte do ar frio, passando por cima do combustivel, e não alimentaria a combustão, entrando na chaminé sem estar quente, diminuiria a intensidade da tiragem.

4.<sup>a</sup> Que a chaminé deve ser vertical, de secção circular, e a extensão da abertura do foco pouco larga; é por esta razão que se collocam obturadores moveis juncto ás aberturas do foco, o que permite diminuir ou augmentar a abertura do foco e por conseguinte elevar ou retardar a tiragem.

5.<sup>o</sup> Que as paredes do recinto, onde fica situada a chaminé, não devem ser muito fechadas, porque então impediria a entrada do ar exterior e não haveria ventilação.

§ 370. Nos *fornos e fornalhas* o combustivel colloca-se

sobre as grelhas, que são barras de ferro com intervallos, por onde cahem as cinzas para o espaço inferior denominado *cinzeiro*. É pelo intervallo das grelhas que entra o ar, que vai alimentar a combustão. Os productos da combustão são o acido carbonico, o vapor aquoso, e as cinzas, substancias que não ardem. O *fumo* é a materia, n'um grande estado de divisão, que escapa á combustão; a formação de fumo representa perda de calor.

§ 371. **Aquecimento e ventilação.** O *aquecimento* é a arte que tem por objecto utilizar na economia domestica e na industria, as fontes de calor que a natureza offerece. A principal fonte em uso é a combustão da lenha, do carvão ordinario, da hulha, do coke, da turfa e da anthracite.

As chaminés aquecem os recintos pelo calor radiante da combustão; como o ar é diathermane, não se aquecerá sensivelmente, senão quando as paredes dos recintos e os objectos n'elles situados, tiverem absorvido uma quantidade de calor, que cedem ao ar pelo contacto. As chaminés constituíam o antigo systema de aquecimento; são pouco economicas; apenas se aproveita uma pequena quantidade do calor radiante; uma grande parte do calor é levada pela tiragem; por isso Franklin dizia que, se quizessemos obter o menos calor possivel de uma dada quantidade de combustivel, seria necessario adoptar as chaminés; comtudo estes apparatus produzem agradável aquecimento e uma boa ventilação.

Chama-se *ventilação* a renovação continua do ar nos recintos. Quando as chaminés têm uma boa tiragem, produzem uma excellente ventilação.

Ha tambem apparatus mechanicos, chamados *ventiladores*, que se empregam nas minas.

§ 372. **Poales.** Os *poales* ou fogões interiores, cuja construcção é variadissima, podem ser collocados em qualquer parte, mesmo no meio da massa do ar que se quer aquecer. Compõem-se de um foco, no qual se faz a

combustão, e de um tubo, pelo qual escapam os productos da combustão. Nas chaminés o foco é aberto, encostado á parede, e o ar entra pela superficie aberta do foco. Nos poales o foco é fechado, isolado no lugar que se quer aquecer, e o ar entra pela pequena abertura que fica na parte inferior. Aquecem bem, são economicos, mas ventitam mal e desenvolvem um cheiro desagradavel, talvez devido á decomposição das materias organicas que estão no ar e ficam em contacto com as paredes dos tubos quentes. Os poales aquecem pela irradiação e pelo contacto das camadas de ar que os cercam.

§ 373. Caloriferos de ar quente. Estesapparelhos compõem-se de um foco, que occupa um lugar mais baixo que o recinto que se quer aquecer, e de um systema de tubos abertos pelas suas duas extremidades; a inferior communica com o ar do lugar do foco, e a superior, chamada *bocca de calor*, abre-se no quarto que se quer aquecer. O ar exterior entra nos tubos metallicos, cuja temperatura fica muito elevada, pela extremidade inferior, aquece-se e sahindo pela bocca de calor espalha-se no quarto. O aquecimento por estes aparelhos, ainda que a sua installação seja muito facil, tem inconvenientes, porque o ar chega a uma temperatura elevadissima muitas vezes a 50°, 60°, 80°, e 100°, e produz um cheiro desagradavel resultante da decomposição das materias organicas, o que é improprio para a saude. A ventilação é irregular.

Emquanto á economia não é tão grande como se julgava; os dados technicos assim o provam.

§ 374. Caloriferos de agua quente. Este modo de aquecimento funda-se na differença das densidades das correntes, que o calor produz nos liquidos contidos em vasos, que se aquecem pelo fundo.

N'estes aparelhos ha uma caldeira que communica por meio de um tubo vertical com um reservatorio collocado superiormente; d'este reservatorio partem diffe-



rentes tubos, que, desembocando em diferentes recipientes, dirigem-se aos logares que devem ser aquecidos; os recipientes communicam, por meio de canaes, com a parte inferior da caldeira.

A caldeira e o reservatorio têm agua. Aquecida a caldeira e a agua, esta torna-se mais leve, sobe pelo tubo vertical até o reservatorio e dirige-se pelos diversos tubos aos recipientes; resfriando-se, volta pelos canaes de comunicação ao fundo da caldeira. O aquecimento por estes apparatus é de uma temperatura doce e uniforme, e além d'isto é economico.

§ 375. **Caloriferos de vapor.** Esta especie de apparatus compõe-se de uma caldeira, onde se vaporisa a agua, e de varios tubos que conduzem os vapores aos logares que se querem aquecer. O vapor, encontrando as paredes frias dos tubos, condensa-se e abandona o calor latente que possuia; assim produz o aquecimento do recinto. A agua procedente da condensação do vapor é de novo conduzida á caldeira. Este modo de aquecimento tem muitos inconvenientes, é dispendioso e sujeito a graves accidentes; porisso tem restrictas applicações; usa-se para aquecer estufas e agua para banhos.

## CAPITULO XXI

**Machinas de vapor**

§ 376. O vapor aquoso, ou antes a força elastica do vapor da agua é o motor universal; não ha força alguma que se lhe possa comparar; a força muscular, quer do homem quer dos animaes, o vento e a propria agua são-lhe incomparavelmente inferiores. A applicação do vapor aquoso como força motora, foi uma das brilhantes applicações do espirito humano, que admiravelmente concorreu para os progressos da industria, da arte e da civilização; póde dizer-se, sem receio de trepidar, que o vapor é o progresso, porque lucha contra o tempo e o espaço, quantidades sem limites.

A solução do tão grande como importante problema de vencer as resistencias pelo emprego do vapor, tal como hoje se emprega, foi devido a Denis Papim, como victoriosamente demonstra Mr. Arago.

§ 377. *Machina de vapor.* Chama-se *machina de vapor* todo o apparelho que utiliza a força elastica do vapor aquoso, como força motora; ou todo o apparelho que tem por fim converter o calor em trabalho mechanico, por intermedio do vapor. Nas machinas geralmente usadas, o vapor em virtude da sua força elastica imprime a um embolo um movimento rectilineo alternativo, que depois se transforma em movimento circular e continuo por meio de diversos orgãos mechanicos.

§ 378. Toda a machina de vapor compõe-se essencialmente de tres partes: 1.<sup>a</sup> a *caldeira*, ou apparelho

destinado a produzir o vapor; 2.<sup>a</sup> um *cylindro*, ou corpo de bomba, no qual se acha um embolo, que se move pela acção do vapor; 3.<sup>a</sup> um *transmissor*, ou apparatus proprio para transmittir o movimento.

Antes de estudarmos cada uma d'estas partes, vejamos qual foi a experiencia fundamental e o primitivo apparatus, que de perfeição em perfeição constitue hoje a verdadeira machina de vapor.

§ 379. *Experiencia de Papim*. Esta experiencia é a fundamental, em que se mostra que a geração do vapor e sua condensação produzem movimento. Tome-se um cylindro ou corpo de bomba, A, fig. 100, no qual se move um embolo em todo o seu comprimento. Deite-se uma porção de agua no cylindro, depois introduza-se o embolo e faça-se descer até ficar em contacto com a agua. O embolo tem um orificio C, aberto; na sua descida o ar do cylindro sae por este orificio; feche-se este por uma haste M. Prenda-se a haste H do embolo a uma extremidade de uma cadêa K, que passando pelos gargalos de duas roldanas T, vá prender pela outra um peso L.

Aquecendo o fundo do cylindro, a agua vaporisa-se, e o vapor em virtude da sua força elastica, que actua sobre a face inferior do embolo, fal-o subir até ao alto do cylindro, onde se detêm por meio de um fecho E. Extinguindo o fogo, o vapor condensa-se, e, tirando o fecho, o embolo desce por causa da pressão atmospherica, que obra sobre a sua face superior; em consequencia da descida do embolo o peso L eleva-se. Continuando alternativamente a aquecer o cylindro, e a apagar o fogo obtemos o movimento do embolo, o seu ascenso e descenso.

§ 380. *Machina de Newcommen*. Esta machina tem por fim ter sempre prompto o vapor para obrar sobre o embolo; o que não se póde conseguir com a extincção de fogo. Compõe-se de uma caldeira A, fig. 101, sempre quente por um fogo continuo, que communica com



o cylindro por meio de um tubo munido de uma torneira, cuja cabeça *a* é uma roda. O embolo *C* está ligado por meio de uma cadêa á extremidade de um balanceiro *D*, cuja outra extremidade tem uma cadêa, que sustenta um peso *F*; a este peso está presa uma haste do outro embolo *E*, que entra em movimento pelo jogo da machina.

Abrindo a torneira, o vapor entra no cylindro e eleva o embolo até ao ponto superior do seu curso; fechando-a e fazendo condensar o vapor no cylindro, a pressão atmospherica fal-o descer; por conseguinte o embolo *E* eleva-se. Vê-se, pois, que quanto maior for a superficie do embolo maior resistencia deve vencer.

Resta saber o modo de condensar o vapor no cylindro. Um reservatorio *G* de agua, communica com a parte inferior do cylindro por meio de um tubo *c* munido de uma torneira *a'*, cuja cabeça é uma roda, que se move á mão por meio de uma manivella *b*. Uma corrêa sem fim passa sobre as rodas *a* e *a'*. Para fazer condensar o vapor basta abrir a torneira *a'*, a corrêa sem fim faz girar a roda *a* e fecha a communicacão da caldeira com o cylindro; a agua desce pelo tubo *c*, penetra no cylindro e faz condensar o vapor; o embolo desce; fechando a torneira *a'*, a torneira *a* abre-se, o vapor introduzindo-se no cylindro eleva o embolo. Um tubo que parte da base do cylindro serve para esgotar a agua accumulada.

Poter, encarregado do serviço de abrir e fechar as torneiras, evitou este trabalho prendendo-as ao balanceiro por meio de barbantes; o jogo da mesma machina fazia-as abrir e fechar alternativamente.

A machina de Newcommen, apesar do aperfeiçoamento, tem o grande inconveniente de resfriar o cylindro pelas continuadas injeccões de agua, que chega a 0º, por conseguinte o vapor, que chega de novo, condensa-se tambem; é necessario pois esperar que o cylindro ganhe uma temperatura sufficientemente elevada para o vapor produzir

o seu effeito. N'esta machina não ha economia de tempo nem de combustivel.

Watt remediou este defeito liquefazendo o vapor em um espaço separado.

§ 381. Machina de vapor de Watt de simples effeito. Watt, tendo em vista o principio de equilibrio de tensão do vapor, em espaços communicantes de desigual temperatura, inventou um espaço, chamado *condensador*, o qual fez communicar com a parte inferior do cylindro por meio de um tubo. Um grande reservatorio de agua fornece constantemente agua ao condensador.

Quando o embolo está na parte superior do seu curso, o vapor, que fica no cylindro, precipita-se no condensador e ahi condensa-se em parte, e a outra parte, que não se liquefaz, não conserva senão a tensão correspondente á temperatura do condensador, o qual recebe constantemente agua de um grande reservatorio; o embolo sob a pressão atmospherica desce até o ponto mais baixo do cylindro, para tornar a elevar-se pela acção da entrada de novo vapor da caldeira.

Uma bomba, chamada *bomba de ar*, tira constantemente a agua da condensação e o ar que se desenvolve da agua injectada. Esta bomba é posta em movimento pela propria machina, o que occasiona uma grande perda de vapor.

§ 382. Machina de vapor de Watt de duplo effeito. Watt teve a feliz ideia de fazer actuar o vapor alternativamente sobre a face inferior e superior do embolo, para evitar as intermittencias no seu movimento. Esta machina é o typo das machinas de vapor de fórmulas diversas, que hoje se empregam nas industrias, nas locomotivas, e nos apparatus motores de barcos de vapor.

Compõe-se de um cylindro fechado nas suas extremidades; a haste do embolo atravessando o fundo superior, passa por uma caixa, guarnecida de estopa embebida em substancias gordas, que impede a sahida do vapor. Watt para distribuir o vapor successivamente sobre a face su-

perior e inferior do embolo empregou a seguinte disposição. Poz o cylindro, pelas suas extremidades, em contacto com um espaço, situado á direita d'elle, chamado *caixa de vapor*, que recebe constantemente vapor da caldeira; collocou n'esta caixa uma peça, chamada *gaveta*, que se move com um movimento alternativo por meio de uma haste. Esta gaveta tem a fórma de um semi-cylindro, cujas extremidades são largas; estas, no seu movimento, collocam-se por seu turno por cima ou por baixo das respectivas aberturas do cylindro que se communicam com a caixa de vapor, que tambem communica com o condensador.

Posto isto, vamos descrever os principaes orgãos de uma machina de vapor.

§ 383. Descrição dos orgãos fundamentaes da machina de vapor. Temos dicto que toda a machina de vapor se compõe essencialmente de tres partes; *caldeira* ou gerador de vapor; *cylindro* ou systema motor; *transmissor* ou aparelho de transmittir o movimento.

1.<sup>a</sup> *Caldeira*. Chama-se *caldeira de vapor* o aparelho destinado a produzir o vapor da agua. Compõe-se de um cylindro CD de ferro, fig. 102, terminado por duas calottes esphericas. Inferiormente a este estão collocados dois tubos horizontaes, chamados *ebullidores*, que communicam com a caldeira por dois largos tubos T, T. Os ebullidores estão cheios de agua, e a caldeira contém este liquido até ao meio ou quando muito até os dois terços. A chamma da fornalha F e os productos da combustão, envolvendo os ebullidores, alcançam a caldeira e escapam pela chaminé A. Um registo R, sustentado por uma cadêa, que passa por uma roldana *g* cuja extremidade livre sustenta um contrapeso *h*, serve para regular a tiragem da chaminé.

A caldeira assim disposta é de *fornalha exterior*; hoje empregam-se muito as caldeiras de fornalha interior, nas quaes a chamma e os productos da combustão percorrem



dois tubos collocados no interior da caldeira; estas caldeiras não têm ebulidores, e a fornalha acha-se no interior das caldeiras.

O vapor produzido nos ebulidores sobe pelos tubos T, T para a caldeira; ao mesmo tempo a agua desce para os ebulidores, onde vaporisando-se sáe para a caldeira e assim continuamente. Este vapor accumula-se na parte superior da caldeira; esta accumulção de vapores, além de certos limites, póde produzir explosão; é necessario pois evita-la, e para isso empregam-se diversos accessorios, taes como os fluctuadores, tubos, valvula da segurança, e manometro.

*Accessorios das caldeiras.* Os accessorios das caldeiras são outros tantos meios preventivos para impedir a explosão; são os seguintes:

1.º *Um tubo de alimentação E*, por onde se introduz agua na caldeira.

2.º *Um tubo aductor V*, que conduz o vapor concentrado na parte superior da caldeira para o *cylindro* ou corpo de bomba, onde deve produzir o seu effeito sobre o embolo.

3.º *Indicadores do nivel*, que servem para mostrar qual o nivel da agua na caldeira. O nivel da agua na caldeira deve-se manter sempre a uma altura constante; porque, se abaixasse muito, a entrada da nova agua na caldeira, em consequencia das suas paredes estarem fortemente aquecidas, converter-se-ia rapidamente em vapor, o que produziria uma violenta explosão. É necessario pois haver indicadores do nivel; e estes são tres: primeiro *um tubo indicador I* de vidro espesso, que communica por dois tubos metallicos com a agua e o vapor da caldeira; indica constantemente o nivel do liquido, que é necessariamente o mesmo na caldeira e no tubo indicador I; segundo o *fluctuador indicador, abc*, em que a boia maior *c* fluctua na agua, indica as variações do nivel por meio de uma haste ligada a esta boia, e terminada exteriormente por uma

pequena cadeia *d*, que passando por uma roldana, sustenta pela sua extremidade livre um contrapeso *p*, collocado defronte de uma regoa graduada: terceiro um *fluctuador de alarme, mon*, que consta de uma boia *m*, fluctuando na agua, ligada a uma alavanca, que tem uma haste com uma valvula, que, emquanto o nivel está no seu lugar, fecha uma abertura, mas quando o nivel desce, a valvula abre-se, o vapor sae e vai de encontro a um sino metallico *k* e fal-o vibrar assobiando, o que indica haver falta de agua na caldeira: este fluctuador faz despertar a vigilancia da pessoa encarregada de vigiar a machina.

4.º *Uma valvula de segurança S*, que tem por fim dar passagem ao vapor, sempre que a sua força elastica for superior ao maximo da resistencia que as paredes da caldeira podem supportar.

5.º *Um manometro*, que indica a cada instante o gráu de tensão de vapor.

6.º *Tres torneiras*, uma communicando com a agua, outra com o vapor e a terceira com o nivel da agua.

7.º *Um postigo H*, por onde entra uma pessoa na caldeira para limpá-la.

2.ª *Cylindro ou systema motor*. Chama-se *systema motor* o apparelho destinado a utilizar a força motora do vapor que vem da caldeira. Compõe-se de um corpo de bomba, em que se move um embolo, cuja haste *R* transmite o seu movimento de vai-vem, produzido pelo vapor, que obra alternativamente pela parte superior e inferior do embolo. Este vapor, que determina a elevação e o abaixamento do embolo, escapa-se para a atmospherá, onde se perde, ou para o condensador, onde se liquefaz completamente, ficando o resto com fraca tensão.

O vapor que vem da caldeira pelo tubo *B*, fig. 103, entra na caixa de vapor, que communica com o corpo de bomba, pelas duas aberturas *E* e *F*, e com o condensador *G* por meio de um tubo *M*. Na caixa de vapor está uma peça *CD*, chamada *gaveta*, da fórma de um semi-cylindro

de extremidades C e D, muito salientes. A collocação d'esta gaveta na caixa de vapor, é de tal modo, que as suas extremidades C e D, vem collocar-se por seu turno por cima e por baixo das aberturas E e F do cylindro. Esta gaveta move-se por meio de uma haste T, que a mesma machina põe em movimento. Quando o vapor da caldeira chega pela abertura E sobre a face superior do embolo P, este desce, a gaveta sobe, e o vapor, que havia obrado sobre a face inferior, escapa-se pela abertura F e vai para o condensador G pelo tubo M.

3.<sup>a</sup> *Transmissor do movimento.* Este apparatus tem por fim trasmittir o movimento rectilíneo de vai-vem do embolo, a um eixo de rotação. A haste do embolo está ligada, por meio de um parallelogrammo articular, á extremidade de um balanceiro AB, fixo na sua parte media, e ligado pela outra extremidade a uma peça BCD, chamada *bielle* ou *tirante*, que tambem se articula á extremidade de uma manivella DG, por meio da qual imprime o movimento de rotação continua ao eixo G de uma grande roda de ferro VV, chamada *volante*.

Ao balanceiro estão articuladas tres hastes, MN, PQ, e RS, que fazem manobrar tres bombas. A haste MN move a *bomba de ar*, cuja funcção é fazer primeiramente o vazio no condensador, e depois tirar a agua aquecida pelo vapor liquefeito; esta agua é substituida por agua fria que a pressão atmospherica faz entrar no condensador por um tubo; a haste PG põe em movimento a *bomba alimentar*, que tem por fim manter o nivel constante da agua na caldeira; a haste RS communica com a *bomba de agua fria*, que tem por fim levar a agua ao reservatorio que envolve o condensador.

§384. A machina que descrevemos é a machina primitiva de Watt, em que o cylindro é vertical, e a haste do embolo está ligada ao balanceiro por meio do parallelogrammo articular de Watt. Hoje dispensa-se geralmente o balanceiro e a haste do embolo articula-se directamente á *bielle*.



As machinas que têm esta disposição têm o nome de machinas de *acção directa*; são d'este systema as machinas das *locomotivas*. Ha tambem machinas em que o embolo se articula directamente á manivella do volante; n'estas machinas o cylindro é *oscillante*. Ha machinas em que o embolo tem o movimento continuo de rotação, em que se dispensa todo o systema de transmissão; estas machinas denominam-se machinas de *rotação directa*.

§ 385. Regulador da força centrifuga. É de alta conveniencia que o movimento da machina de vapor seja uniforme, apesar das variações de resistencia a vencer; o volante não é sufficiente para regularisar o movimento da machina. O augmento ou diminuição na velocidade da machina de vapor fica dependente da maior ou menor quantidade de vapor no cylindro. O *regulador da força centrifuga* tem por fim regular a quantidade de vapor, que deve entrar no cylindro pelo tubo aductor munido de uma valvula, para que a força motora d'este vapor produza uma velocidade constante.

Consta de um eixo vertical, dotado de movimento de rotação, que recebe da propria machina; na extremidade do eixo estão articuladas duas barras, que sustentam duas esferas pesadas; estas barras estão ligadas por outras duas a um anel, que se move ao longo do eixo, e que por meio de alavancas põe em movimento a valvula do tubo aductor. Se o movimento da machina se accelera, as esferas, em virtude da sua força centrifuga, afastam-se do eixo e elevam o anel que fecha a valvula; se o movimento é vagaroso, as esferas cáem, o anel desce e abre a valvula.

§ 386. Detente do vapor. As machinas de vapor, sob o ponto de vista economico, têm recebido, depois de Watt, um importante aperfeiçoamento. Em lugar de deixar entrar o vapor no cylindro durante todo o curso do embolo, imaginou-se não o deixar entrar senão durante uma parte d'este curso, a metade, um terço, ou

ainda menos, interrompendo a comunicação da caldeira com o cylindro. Em consequencia d'esta interrupção, o embolo completa o seu curso em virtude da força expansiva do vapor. Verdade é que esta força vai continuamente decrescendo; mas o calculo e a experiencia mostram que é muito vantajoso este systema de detente do vapor, porque, além de economisar grande quantidade de vapor, no acto da sua dilatação uma enorme porção de calor transforma-se em trabalho mechanico.

§ 387. **Machinas sem condensador.** O condensador nas machinas de vapor não é indispensavel. Quando o vapor obra com uma pressão notavelmente superior a mais de uma atmospherá, o condensador é inutil; basta communicar os extremos do cylindro com o ar exterior; o vapor escapa para fóra, e o embolo move-se sob a influencia das differenças de pressão que supporta cada uma das faces do embolo.

§ 388. **Classificação das machinas de vapor.** As machinas de vapor, sob o ponto de vista da pressão, dividem-se em *baixa, media e alta pressão*.

1.<sup>a</sup> São de *baixa pressão* aquellas em que a tensão do vapor não excede a pressão de uma atmospherá e meia.

2.<sup>a</sup> São de *media pressão* aquellas em que a tensão do vapor não excedé a quatro atmospheras.

3.<sup>a</sup> São de *alta pressão* aquellas em que a tensão do vapor é superior a quatro atmospheras.

Em relação ao condensador e detente dividem-se em:

1.<sup>o</sup> Machinas sem detente e sem condensador.

2.<sup>o</sup> Machinas com detente e com condensador.

3.<sup>o</sup> Machinas com detente e sem condensador.

4.<sup>o</sup> Machinas sem detente e com condensador.

§ 389. **Cavallo vapor.** O trabalho das machinas de vapor ou, para melhor dizer, a força de uma machina de vapor avalia-se por meio de uma unidade chamada *cavallo-vapor*. Chama-se *cavallo-vapor* o trabalho necessario para elevar com um movimento continuo, 75 kilogrammas a um metro

de altura em um segundo; quer dizer, um trabalho de 75 kilogrammas effectuado em um segundo. Diz-se que uma machina é da força de 10, 20, 30 cavallos, para dizer que ella produz um trabalho equivalente a 10, 20, 30 cavallos-vapor.

### Viação accelerada por vapor

§ 390. A viação accelerada por vapor póde ser por terra ou por mar. Por terra é pelas *locomotivas* nos caminhos de ferro; por mar pelos *navios de vapor*. Tanto para uma como para outra é indispensavel uma machina de vapor.

§ 391. *Locomotivas*. Chamam-se *locomotivas* as machinas de vapor que, assentes sobre o jôgo de um carro, se movem sobre os rails do caminho de ferro, transmittindo o movimento ás rodas; levam atraz de si, presas umas ás outras, diversas carruagens que se denominam *wagons*. Todo o trem, comprehendendo a locomotiva e os wagons, tem o nome de *comboio*. As locomotivas são machinas de alta pressão; não têm balanceiro, paralelogrammo nem volante, como as machinas fixas.

§ 392. As principaes partes da locomotiva são: a *caldeira*, a *caixa de fogo*, a *caixa de fumo*, os *cylindros de vapor*, com suas gavetas, as *rodas motoras* e a *alimentação*.

A *caldeira* é cylindrica, horizontal, quasi de um metro de diametro; contem muitos tubos cercados de agua; é revestida de substancias más conductoras de calor; e está em communicação com as caixas de fogo e fumo.

O combustivel colloca-se sobre as grelhas da caixa de fogo; as chammas e o producto da combustão atravessam os tubos, alcançam a caixa de fumo e sahem pela chaminé. A caldeira está munida de todos os meios preventivos de explosão, taes como o assobio de alarme, que se ouve a



grande distancia, as valvulas de segurança, as torneiras, o manometro, etc.; além d'isto tem no seu interior um tubo de cobre que conduz o vapor aos cylindros.

De cada lado da caldeira estão situados os cylindros ou corpos de bomba, cujos embolos se movem pelo vapor que vem pelo cylindro de cobre; a gaveta põe as duas partes do cylindro em communicação com a chaminé por onde sáe o vapor. A haste do embolo transmite o seu movimento por meio da bielle ás rodas motoras. O conductor, que tem a manivella na mão, fig. 104, regula a entrada do vapor, proporcionalmente á velocidade que se quer obter.

Atraz da locomotiva vai um carro denominado *tender*, que leva depositos de agua e carvão.

A locomotiva é alimentada por bombas movidas pela machina, que tiram agua do *tender* e a conduzem para a caldeira por meio de tubos. Estas bombas são hoje substituidas com vantagem por um apparelho especial conhecido pelo nome de *injector* de Giffard.

§ 393. Caminho de ferro. Chama-se *caminho de ferro* as duas barras de ferro, parallelas e assentes solidamente n'um terreno bem nivelado. Estas barras, que têm o nome de carris ou rails, são umas vezes mantidas no seu logar por meio de coxins de ferro, fixos em travessas de madeira assentes sobre o terreno; outras vezes têm na sua parte inferior uma base mais larga, pela qual assentam sobre as travessas, fixando-se a estas por meio de pregos; a distancia entre ellas, termo medio, é de 1<sup>m</sup>,50. As rodas das locomotivas e as dos wagons, que andam sobre ellas, têm na circumferencia um rebordo do lado interior da via, que serve para não fugirem para fóra dos carris.

Os caminhos de ferro devem ser horizontaes, sem inclinações nem rampas; não devem ter curvas de raios muito pequenos, porque a força centrifuga faria saltar as carruagens para fóra dos carris. Quando se der ao caminho

de ferro curvas muito pronunciadas é necessario empregar um systema de wagons articulados, com os eixos das rodas moveis, e tendo umas pequenas rodas transversaes que se apoiam de encontro aos carris.

§ 394. *Freios*. Os *freios* são peças de madeira, que têm por fim diminuir a velocidade dos comboios, quando se pretende parar. Os freios têm uma escavação pela qual se assentam sobre a circumferencia das rodas, e cuja pressão se augmenta por meio de parafusos e alavancas.

§ 395. *Agulhas*. Chamam-se *agulhas* as partes de dois carris de ferro moveis por meio de uma alavanca, destinadas a passar o comboio de uma via para outra, quando esta é uma bicurfação d'aquella. As agulhas têm um movimento de rotação em torno de certos pontos, o que permite que um comboio, que vem de uma via A, siga o caminho B ou C segundo as agulhas fizerem que A seja o prolongamento de B ou C. As agulhas, que são muito adelgaçadas nos extremos, encostam-se aos carris no movimento que se lhes dá, para conseguir o prolongamento e o comboio muda de via.

§ 396. *Plataforma gyrante*. Quando se quizer fazer passar um *wagon* de uma via para outra que lhe é perpendicular, emprega-se a *plataforma gyrante*, em que ha duas vias ferreas perpendiculares entre si; a plataforma gyra em torno de um eixó vertical, que lhe fica por baixo. Se o *wagon* está na via A, trazendo-o sobre a plataforma e dando o movimento de rotação conveniente, até que fique em prolongamento com a via B, facilmente passa para esta. Póde observar-se nas estações de caminho de ferro.

§ 397. *Navios de vapor*. Fulton foi o primeiro que teve a gloria de resolver definitivamente o problema da navegação a vapor. Elle construiu em 1807, na America, um navio movido com uma machina de vapor, que fazia um serviço regular e rapido entre Nova-York e Albania. Foi em 1812 que a Europa viu com assombro pela primeira

vez um navio de vapor que navegava no Clyde, e desde essa epocha os progressos sobre a navegação a vapor têm sido espantosos.

As machinas, que se empregam para a locomoção dos navios não differem das que temos descripto; são de duplo effeito e têm por fim dar movimento a um *propulsor*. Hoje empregam-se duas especies de propulsores: *rodas de pás e helice*. Os navios de vapor podem ser pois de rodas ou de helice.

§ 398. **Navios de vapor de rodas.** N'esta especie de navios o propulsor de rodas tem um eixo transversal, que recebe movimento de rotação da machina de vapor. Em cada extremidade d'este eixo, pela parte de fóra do navio, sobre os flancos, existe uma roda composta de dois ou tres circulos de ferro parallellos, cujos raios sustentam transversalmente umas pás de madeira. O movimento opera-se na parte de dentro da agua de prôa á pôpa; as pás, tendo um ponto de apoio no liquido, recebem da parte d'este uma pressão de pôpa á prôa, que determina o movimento do navio n'este sentido.

§ 399. **Navios de vapor de helice.** A idéa de empregar o helice como agente propulsor foi devida ao engenheiro Ericson, que obteve satisfatorios resultados. A fórmula dos helices é muito variavel. Compõe-se de um eixo horizontal, parallello á quilha do navio, cuja pôpa atravessa, tendo na extremidade livre azas inclinadas á maneira das azas d'um moinho de vento. O eixo recebe movimento de rotação de uma machina de vapor; as azas, que tambem participam d'este movimento, apoiando-se sobre a agua, impellem o navio para deante. Hoje, em logar das azas, usa-se de dois segmentos helicoidaes, formando cada um meia revolução ao redor do eixo.

§ 400. **Caldeiras maritimas.** A principal condição das caldeiras dos navios de vapor é occupar um pequeno espaço e produzir uma forte e rapida evaporação. A fórmula das caldeiras maritimas é muito diversa da das caldeiras



das machinas fixas, porque têm de se sujeitar á fórma do lugar onde devem ser collocadas. Nunca ha uma só caldeira, mas umas poucas, reunidas por tubos munidos de torneiras para poderem estabelecer ou interromper a communicacão quando se quizer. Esta disposiçào tem grande vantagem; porque podem funcionar todas ou parte d'ellas, e não se interrompe o serviço, quando sobrevier algum accidente em alguma d'ellas.

O typo mais usado de caldeiras maritimas é o das caldeiras tubulares. Estas dão excellentes resultados; as chammas e os productos da combustão, antes de irem para a chaminé, percorrem uma serie de tubos de cobre, que ficam immergidos no meio da agua das caldeiras. Evidentemente se vê que a superficie de aquecimento fica muito augmentada.

## CAPITULO XXII

## Meteorologia

§ 401. Meteorologia. A *meteorologia* é a parte da physica que estuda os meteoros. Chamam-se *meteoros* os phenomenos que se produzem no seio da atmosphaera.

Os meteoros podem ser: *aerios*, quando provêm do ar em movimento; como vento, tufão, tromba e cyclone; *aquosos*, quando resultam da condensação do vapor aquoso na atmosphaera e da sua precipitação; como chuva, neve, nevoeiro, orvalho, saraiva, etc.; *luminosos*, quando provêm da reflexão e refração da luz, atravez das moleculas aquosas suspensas no ar, ou os que têm luz propria, como arco iris, auroras boreaes, estrellas cadentes; *electricos* os que se manifestam sob a acção da electricidade, como relampago, raio, trovão.

Os phenomenos meteorologicos estão n'uma tal dependencia reciproca, e comprehendem no seu estudo um tão grande numero de factos, muitas vezes de natureza tão complexa, que a sua descripção methodica, se não é impossivel, pelo menos é assaz difficil.

Antes de nos occuparmos do estudo dos meteoros, occupar-nos-hemos da medida da quantidade de vapor aquoso contido no ar, ou hygrometria, que explica alguns meteoros.

## Hygrometria

§ 402. Hygrometria. A *hygrometria* tem por objecto determinar a quantidade de vapor de agua contido n'um volume de ar determinado; esta quantidade é muito variavel.

A atmosphera nunca está completamente secca, contém sempre vapor aquoso, porque, se expozermos ao ar em qualquer tempo substancias hygrometricas, como potassa caustica, chloreto de calcio, acido sulphurico, estas substancias absorvem vapor aquoso.

O vapor de agua existente na atmosphera tem por origem principal a espontanea evaporação da massa de agua que se acha á superficie da terra. A observação mostra que nas condições ordinarias da temperatura uma superficie de agua deixa evaporar em vinte e quatro horas quasi um litro de agua por metro quadrado; cada kilometro quadrado da superficie do mar fornece, durante 24 horas, 1000000 litros de agua; a superficie total de todos os mares produzirá, em 24 horas,  $400000000 \times 1000000$  litros de agua; se a esta quantidade junctarmos o vapor procedente da evaporação dos rios, das fontes e dos lagos, vê-se que a atmosphera recebe quotidianamente uma enorme quantidade de vapor, que de certo deverá alterar o seu equilibrio, se ella não restituir á terra o que d'ella recebeu; a atmosphera faz esta restituição enviando a chuva, a neve e a saraiva.

Como o vapor aquoso, contido na atmosphera, tem uma consideravel influencia sobre um grande numero de phenomenos, torna-se necessario procurar meios proprios para o determinar.

§ 403. Estado hygrometrico do ar. Chama-se estado hygrometrico do ar a relação entre a quantidade do vapor aquoso, que um certo volume de ar contém a uma temperatura dada, e o que conteria á mesma temperatura, se estivesse saturado. Como a relação entre as quantidades de vapor é a mesma que a das forças elasticas correspondentes; póde definir-se que o estado hygrometrico do ar é a relação entre a força elastica do vapor, que elle contém, e a força elastica do vapor que conteria a mesma temperatura, se estivesse saturado. Representando por  $F'$  a tensão do vapor contido em um certo volume



de ar, por  $F$  a do que o saturaria a mesma temperatura, e por  $E$  o estado hygrometrico, teremos

$$E = \frac{F'}{F}$$

no ponto de saturação será  $F' = F$ , portanto será  $E = 1$ : se não houvesse humidade alguma, seria  $F' = 0$  e  $E = 0$ , caso que nunca se dá.

§ 404. O estado hygrometrico do ar não depende da quantidade absoluta do vapor de agua contido na atmosphaera, mas da maior ou menor distancia a que se acha o ar do estado de saturação; quando o ar é frio, póde ser muito humido com pouco vapor; quando for quente, póde estar muito sêcco com muito vapor. O ar contém em geral mais vapor no verão que no inverno, e comtudo é menos humido, porque, sendo a temperatura mais elevada, o vapor está mais longe do seu ponto de saturação.

Deduz-se da segunda definição que, variando a temperatura, o ar póde conter a mesma quantidade de vapor e não ter comtudo o mesmo estado hygrometrico; quando a temperatura se eleva, a força elastica do vapor, que conteria o ar no estado de saturação, cresce muito rapidamente com a tensão do vapor que se achava no ar, e então a relação d'estas forças, quer dizer o estado hygrometrico, vem a ser menor.

§ 405. **Substancias hygrometricas.** Dá-se o nome de substancias hygrometricas áquellas que têm grande affinidade para a agua, de modo que facilmente a absorvem; como os cabellos, o chlorureto de calcio, o acido sulphurico.

§ 406. **Hygrometros.** Os *hygrometros* são instrumentos destinados a medir o estado hygrometrico do ar. Ha quatro especies principaes de hygrometros: hygrometros de *absorção*, de *condensação*, os *psychrometros* e os hygrometros *chimicos*.

Os hygrometros de absorção fundam-se na proprie-

dade que têm as substancias organicas de se alongarem, quando estão humidas, e se encurtarem quando seccas. Ha muitas especies de hygrometros de absorpção, mas nós estudaremos o hygrometro de cabello ou hygrometro de Saussure, o mais usado.

Os hygrometros de condensação têm por fim conhecer, pelo resfriamento do ar, a que temperatura o vapor que elle contém seria sufficiente para o saturar; os hygrometros de condensação são dois: o de Daniel e o de M. Regnault.

Os psychrometros determinam o estado hygrometrico do ar pela evaporação da agua, ou antes pelo resfriamento que ella produz. Os physicos não estão de accordo sobre as fórmulas analyticas que Mr. Augusto de Berlim, seu inventor, tem dado para uso d'estes instrumentos.

Os hygrometros chimicos determinam o estado hygrometrico do ar pela affinidade que têm para o vapor de agua.

§ 407. **Hygrometro de cabello ou de Saussure.** Este hygrometro é de absorpção; funda-se no seguinte principio: o cabello desgordurado tem a propriedade de se alongar, quando está humido, e de se encurtar, quando está secco. Desgordura-se o cabello immergindo-o n'uma solução quente de carbonato soda, durante 30 ou 40 minutos, ou mergulhando-o no ether sulphurico durante 24 horas.

Este instrumento compõe-se de um quadro metallico, ABCD, fig. 105, em que está fixa uma extremidade de um cabello desgordurado, F, por meio de uma pinça, que se aperta com o auxilio de um parafuso de pressão P; a outra extremidade, enrolando-se n'um dos gargalos de uma roldana *k*, fica n'ella solidamente fixa. Sobre outro gargalo da roldana está enrolado um fio de seda, que suspende um pequeno peso *p*, destinado a manter o cabello n'uma tensão continua e sempre igual. O eixo da roldana tem uma agulha, que se move sobre um quadrante vertical; ao quadro está adaptado um pequeno thermometro.

A graduação do hygrometro de cabello é muito simples. São necessarios dois pontos fixos, sempre os mesmos, nas mesmas circumstancias physicas; um ponto de extrema seccura, e outro de extrema humidade. Obtem-se estes pontos collocando o hygrometro n'um recipiente, cheio de ar perfeitamente secco, por meio de substancias muito avidas de agua, como o chlorureto de calcio ou carbonato de potassa; observa-se que o cabello encurta e a agulha desce gradualmente sobre o quadrante e fica estacionaria no mesmo ponto muitos dias; marca-se *zero* n'este ponto. Evidentemente este ponto indica a extrema seccura do ar. Colloca-se depois o instrumento n'um recipiente cheio de ar perfeitamente saturado de humidade, o que se consegue molhando continuamente as paredes do recipiente, com agua distillada; observa-se que o cabello se alonga, a agulha sobe rapidamente sobre o quadrante e fica estacionaria n'um ponto 3 ou 4 horas, marca-se n'este ponto sobre o quadrante 100; é claro que este ponto indica a extrema humidade no ar do recipiente. Divide-se depois o arco comprehendido n'estes pontos extremos em 100 partes iguaes, que representam gráus do hygrometro.

§ 408. O hygrometro, assim graduado, não indica a quantidade de vapor contido no ar no momento dado, indica só que n'esse momento o ar é mais ou menos humido; porque os movimentos da agulha não são proporcionaes ás variações do estado hygrometrico; isto é, o gráu de humidade, não é proporcional ao numero de gráus do hygrometro, por isso não póde determinar o estado hygrometrico do logar. Para o obter é necessario recorrer ás tabellas construidas por Gay-Lussac, para as temperaturas ordinarias, nas quaes indica os diversos estados hygrometricos do ar correspondentes aos gráus do hygrometro.

§ 409. Resultado das observações hygrometricas. O hygrometro, á superficie da terra, quasi nunca marca 100°, ainda mesmo que chova; tambem nunca desce



abaixo de  $30^{\circ}$ . A média annual das indicações hygrometricas é quasi  $72^{\circ}$ . Na viagem aerostatica de Gay-Lussac observou elle que na altura de 7000 metros, á temperatura de  $-10^{\circ}$ , o hygrometro marcava  $72^{\circ}$ .

§ 410. **Hygrometros chimicos.** Toda a substancia hygroskopica é um *hygrometro chimico*. Estes são mais exactos. Introduza-se n'um tubo de vidro uma d'estas substancias hygrometricas, por ex.: o chlorureto de calcio, cujo peso seja previamente determinado. Atravez d'este tubo faz-se passar um certo volume de ar por meio de um aspirador; o chlorureto de calcio absorve a humidade; o seu augmento de peso representa pois o peso do vapor de agua contido no volume de ar que o atravessou.

§ 411. **Hygroscopos.** Chamam-se *hygroscopos* os appparelhos que indicam se ha maior ou menor humidade no ar, mas não fazem conhecer a sua quantidade. Ha muitas especies de hygroscopos. Estes instrumentos são fundados sobre a propriedade, que tem as cordas de tripa torcidas, de se destorcerem quando estão humidadas e de se torcerem quando estão seccas. Os hygroscopos são pouco sensiveis, funcionam muito lentamente, e as suas indicações são demoradas.

### Meteoros aërios

§ 412. **Ventos.** Chamam-se *ventos* as correntes de ar mais ou menos rapidas; que se manifestam na atmosphera em diversas direcções e com variadas velocidades; ou *vento* é o ar em movimento.

Os ventos têm uma grande importancia na natureza: favorecem a fecundação das plantas ora agitando os seus ramos, ora trazendo o pollen de grandes distancias; renovam o ar das cidades, adoçam os climas do norte levando-lhes o calor do meio dia; moderam o rigor das zonas torridas; sem ventos não haveria chuvas no interior

dos continentes; são elles que transformam os desertos aridos em prados fertilisantes.

§ 413. **Causas do vento.** A causa do vento é a ruptura do equilibrio em algumas partes da massa atmospherica, causada principalmente pelas variações da temperatura, ou pela prompta condensação dos vapores no seio da atmospherica.

Quando a superficie da terra aquece pela incidencia dos raios solares, o ar em contacto com esta, participando do seu calor, dilata-se e sobe para as regiões frias; enquanto que o ar frio dos logares circumvizinhos vem substituir o ar dilatado. Vê-se, pois, que uma elevação de temperatura dá logar a duas correntes de direcções oppostas; uma das camadas inferiores, dirigindo-se para o logar mais quente; a outra das camadas superiores, dirigindo-se para o logar mais frio.

A seguinte experiencia representa as duas correntes em direcções oppostas, que se produzem na atmospherica. Se abirmos a porta que communica duas casas, uma quente e outra fria, na qual se tenham collocado de ante-mão duas velas accesas, uma no limiar da porta e a outra no alto d'ella, observa-se que a chamma d'esta, que era vertical antes de se abrir a porta, se inclina para a casa fria, o que indica a corrente superior; e a da vela inferior inclina-se para a casa quente, e denuncia a corrente inferior.

A subita condensação de uma grande quantidade de vapor no seio da atmospherica, resolvendo-se em chuva, deve produzir um immenso vazio n'essa região da atmospherica; o ar dos logares circumvizinhos deve necessariamente precipitar-se para o encher; logo manifestar-se-ha vento.

§ 414. **Direcção dos ventos.** Os ventos podem ter por origem qualquer ponto do horizonte, por isso podem ser tantas as direcções ou *rumos*, quantos são os pontos d'aquelle: distinguem-se porém 8 direcções ou rumos principaes; quatro são os cardeaes e os outros quatro

intermediarios, que ficam a igual distancia entre elles. Se dividirmos o horizonte em quatro partes iguaes por dois diametros perpendiculares, os extremos d'estes representarão os quatro ventos cardeaes, que se representam por N, norte; S, sul; E, este; O, oeste; dividindo cada um d'estes intervallos ou quadrantes em duas partes iguaes, temos outros quatro rumos, que são: NE, nordeste; SE, sueste; SO, sudoeste; NO, noroeste. Vê-se pois que o horizonte foi dividido em 8 partes iguaes, e cada parte ou arco corresponde a  $45^{\circ}$ . Dividindo cada um d'estes intervallos ou arcos em duas partes iguaes, obtemos ainda mais 8 direcções ou rumos intermediarios, que se designam antepondo-lhes o nome do rumo principal. Continuando a dividir em duas partes iguaes cada um d'estes intervallos, obtêm-se mais 16 direcções ou rumos, que os nauticos representam todos em uma figura, em fórmula de estrella, que se denomina *roza dos ventos*.

§ 415. A indicação da direcção dos ventos é geralmente dada pelos *cataventos* e *flammulas*. O catavento ordinario é formado por uma haste vertical, movel em torno do seu eixo, á qual está fixa superiormente uma lamina metallica, e inferiormente no plano d'esta um ponteiro, que indica o rumo do vento sobre um mostrador horizontal. A flammula é uma especie de bandeirinha, que se colloca no tópo dos mastros, pela direcção da qual se conhece o rumo do vento.

§ 416. **Velocidade do vento.** A velocidade do vento é o numero de metros que percorre em um segundo. As velocidades dos ventos são muito variaveis, passam por todas as transições.

Diz-se que o vento é *sensivel*, quando a sua velocidade é de  $1^m$ ; *fraco*, quando é de  $3^m$ ; *moderado*, quando é de  $10^m$ ; *forte*, quando é de  $15^m$ ; *muito forte*, quando é de  $20^m$ ; *tempestade*, quando é de  $30^m$ ; *furacão*, quando é de  $40^m$ .

§ 417. **Anemometros.** Os anemometros são instru-



mentos destinados a medir a velocidade dos ventos. Ha varios: o de Buguer, o de Wolf, o de Peloni, o de Ons-en-Bray e o de Robinson. O mais simples de todos elles é o seguinte: Imagine-se um catavento ordinario, munido de um eixo horizontal com duas azas; este eixo tem um parafuso sem fim, que engrena n'uma roda dentada; a corrente do ar põe as azas em movimento, e estas gyram tanto mais rapidamente, quanto mais forte for o vento. O numero de voltas, contado desde o começo até ao fim da observação, marca a velocidade do vento.

O anemometro empregado nos nossos observatorios é o de Robinson, aperfeiçoado por Casella, o qual dá a velocidade total no fim d'um determinado periodo de tempo.

§ 418. **Classificação dos ventos.** Os ventos podem ser *regulares* ou *irregulares*. Os ventos *regulares* são os que sopram durante o anno n'uma direcção constante; os ventos *irregulares* são os que sopram ora n'uma, ora n'outra direcção, sem lei conhecida.

*Ventos regulares.* Os ventos regulares dividem-se em *constantes* e *periodicos*. Os ventos *regulares constantes*, chamados ventos *geraes* ou *alizados*, são os que sopram n'uma direcção determinada e constante, durante um tempo muito longo. Observam-se estes ventos longe das costas, sem interrupção, nas regiões equatoriaes, sobre os oceanos Atlantico e Pacifico, na direcção do nordeste para o sudoeste no hemispherio boreal; e do sueste para o noroeste no hemispherio austral.

Os ventos *geraes* ou *alizados* resultam da acção combinada do calor solar e do movimento de rotação da terra.

Os ventos *regulares periodicos* são aquelles que sopram na mesma direcção, nas mesmas estações, ou ás mesmas horas do dia; são as *monções*, as *brizas* e o *soão*.

As *monções* são os ventos que sopram seis mezes n'uma direcção e outros seis na direcção opposta. Observam-se estes ventos no mar das Indias, no golpho de Bengala,

no mar da China e no golpho da Arabia. No nosso hemispherio sopram estes ventos, desde o mez de abril até setembro para a terra, *monção da primavera*; e desde o mez de outubro até março para o mar, *monção do estio*.

*Brizas* são ventos periodicos que sopram, de manhã, da terra para o mar; e de tarde, do mar para a terra. De manhã o ar da terra é mais frio que o ar do mar, porisso estabelece-se a corrente da região mais fria para a mais quente, *briza da manhã*; e de tarde o ar da terra é mais quente que o do mar, e portanto produz uma corrente do mar para a terra, *briza da tarde*.

As brizas fazem-se sentir sobre as costas e a pouca distancia, são regulares nos tropicos. Na vizinhança das montanhas tambem se observam *brizas diversas*.

O *soão* é um vento periodico, que sopra nos desertos da Asia e da Africa, é caracteristico pela sua elevadissima temperatura e pelas columnas de area que eleva para a atmosphaera e transporta a grandes distancias. Quando sopra este vento, escurece o ar, accelera-se a respiração, produz uma sede ardentissima, queima a pelle e causa danos mortiferos nos seres vivos.

*Ventos irregulares*. Os ventos irregulares são aquelles cuja direcção varia, e cuja volta não póde ser prevista por lei actualmente conhecida. Estes ventos podem soprar em qualquer ponto do horizonte; distinguem-se pelas direcções indicadas na *roza dos ventos*. Nos nossos climas são irregulares; nas regiões polares vem a sel-o muito mais, onde mudam de direcção em cada instante, e ás vezes parecem soprar ao mesmo tempo de todos os lados.

§ 419. **Furacões**. Os *furacões* são ventos de uma violencia prodigiosa e de curta duração, que se manifestam na zona torrida e nos climas de elevada temperatura; propagam-se com um movimento de translação n'uma direcção sempre constante, e com a mesma intensidade; caracteriza-os a sua excessiva velocidade, que ás vezes é de 10000 kilometros por hora; nos climas temperados

são mais raros e menos violentos; nas regiões polares reduzem-se a ventos muito fortes.

É admiravel o poder mechanico do ar em movimento. Parece que a força do ar devia ser muito limitada, visto a sua leveza; mas a energia, que as moleculas do ar não tem pela sua massa, ganham-na pela sua velocidade e produzem effeitos admiraveis e desastrosos, que a mão do homem não pôde moderar nem evitar. Arrancam gigantescas arvores, abatem edificios solidamente construidos, levam a grandes distancias massas de enorme peso, como grossas barras de ferro, peças de artilheria, penedos de volumes consideraveis; elevam a immensa altura grandes massas de agua do mar, atiram para terra navios de grande lote, ou levam-nos para grandes distancias; até fazem perecer milhares de pessoas, como succedeu em outubro de 1831 em Balasore, na India, onde um furacão entre Madrasta e Calcutá fez perecer quinze mil pessoas; finalmente põem a terra e o mar em extrema convulsão.

Os furacões são muito frequentes na costa da Serra-Leoa, no começo e no fim das estações chuvosas, na mudança das monções. Umas vezes apparecem de subito; outras são precedidos de alguns signaes precursores. Nota-se no ceo limpido e claro uma nuvem branca, redonda da grandeza da palma da mão; esta nuvem vai-se alargando pouco a pouco, e torna-se espessa, o dia parece ser de calma e uma leve briza apenas se faz sentir; a temperatura abaixa, as nuvens circumvizinhas fazem-se negras e o ceo vai-se tornando cada vez mais escuro; vêem-se fracos mas successivos e rapidos relampagos; ouve-se primeiramente ao longe um fraco trovão, que parece aproximar-se cada vez com maior fracasso; a terra e o ceo ficam envolvidos n'uma profunda escuridão, e logo após estes signaes desencadeia-se um furacão.

§ 420. *Cyclones*. Os *cyclones* são massas consideraveis de ar, que caminham segundo uma curva parabo-



lica, e gyram ao mesmo tempo horizontalmente sobre si mesmas, com um rapido movimento de rotação.

Estes meteoros não são pequenas tempestades locais; provenientes do desvio do vento, pela configuração do solo e encontro das diversas correntes ordinarias do ar, estendem-se muitas leguas quadradas, são verdadeiros furacões geraes, animados d'um duplo movimento, de rotação ao redor de um eixo vertical, e de translação em virtude do qual avançam até ás zonas temperadas.

Os cyclones são verdadeiros turbilhões ou redemoinhos de vento de 200 a 300 kilometros de diametro, nos quaes a força do vento augmenta da circumferencia para o centro, onde reina uma calma de extensão variavel; n'esta zona de calma ha grande rarefacção do ar, o mar é violentamente agitado em todos os sentidos, não existem nuvens, e o sol resplandece com todo o seu fulgor; crê-se estar em bom tempo, mas fica-se cercado de todos os lados por uma vasta cintura de medonhas tempestades, impossiveis de evitar ou prevenir.

O caracteristico dos cyclones é a rotação horizontal de energia constante, que na sua marcha não descreve uma parabola regular, mas sim uma espiral involvente a uma parabola.

A velocidade de rotação é que constitue principalmente a violencia do cyclone, em que as moleculas aerias gyram ao redor do centro com uma velocidade de rotação de 200 kilometros por hora; esta prodigiosa velocidade explica os desastrosos effeitos produzidos pela passagem d'este terrivel meteor.

A velocidade de translação fica comprehendida entre os limites de 25 a 45 kilometros por hora.

Os cyclones nascem geralmente nas latitudes de 5 a 10 gráus e na longitude de 45 a 60 gráus; á medida que avançam para as regiões mais frias perdem em violencia o que ganharam em extensão, e extinguem-se dando chuvas torrencias.

A causa dos cyclones, dizem alguns physicos, é o encontro das duas correntes de ar que circulam em sentidos inversos; outros suppõem que estes meteoros têm por causa a electricidade; o que é certo é que estes turbilhões nascem dos dois lados do equador, em logares e epochas que correspondem á volta dos ventos geraes.

Observam-se os cyclones nos mares da China, no das Indias, aonde tomam o nome de *tufões*, e nas Antilhas. A sua passagem é assignalada por espantosos desastres tanto no mar como na terra.

§ 421. **Trombas.** As *trombas* são columnas escuras ou negras de vapor, que vêm das nuvens á superficie da terra, animadas de um movimento de rotação muito rapido, e de outro de translação.

A tromba é o phenomeno meteorologico mais extraordinario nos seus effeitos e incomprehensivel nas suas causas. Formam-se as trombas no mar e na terra, porisso dizem-se *trombas do mar* e *trombas da terra*.

As *trombas do mar* formam-se geralmente com grandes calores; umas vezes parecem sahir do seio do mar e elevar-se até ás nuvens; outras vezes parecem descer das nuvens ao mar. No momento da sua formação apparece um ponto sobre uma nuvem, que, alongando-se na fórma de um cone, vem abaixando rápidamente e fluctuando sob a acção do vento; ao mesmo tempo as aguas do mar elevam-se tambem em fórma de um outro cone, semelhante ao fumo que se eleva sahindo de uma caldeira; quando os dois cones se unem pelos seus vertices, a tromba fica constituida; algumas vezes o cone superior desdobra-se, de sorte que de uma nuvem podem provir muitas trombas. Após o desaparecimento da tromba do mar sobrevêm uma chuva torrencial.

As *trombas terrestres*, sempre precedidas de um calor suffocante, formam-se pelo rapido abaixamento de uma nuvem sobre a terra, que, pondo-se em contacto com esta, eleva um turbilhão de pó e de corpos leves em fórma de

cone, acompanhado de um som confuso e muito intenso; no progresso da sua marcha produz terríveis efeitos, analogos aos dos furacões.

As trombas têm por causa, segundo alguns physicos, o encontro de dois ventos oppostos; mas tem-se observado a formação das trombas em perfeita calma; as trombas, segundo outros, são produzidas pelo estado electrico das nuvens e da terra.

### Meteoros aquosos

§ 422. **Nuvens.** As *nuvens* são agglomerações de vapores condensados em gottas de extrema pequenez, occupando as altas regiões da atmospherá; provêm da condensação dos vapores que se elevam da terra. A altura das nuvens é variavel; é, termo medio, de 1200 a 1500 metros, no inverno, e de 300 a 400 metros, no verão, algumas vezes é de 7000 metros.

As nuvens dividem-se, segundo a fórma que apresentam, em *cumulos*, *cirros*, *stratus* e *nimbus*.

Os *cumulos* são nuvens grossas, redondas, brancas, com aspecto de montanhas, sobrepostas umas por cima das outras; mais frequentes no estio que no inverno, denominam-se porisso *nuvens de verão*; formam-se de manhã, e geralmente dissipam-se de tarde; apparecem muitas vezes quando faz calor, ou depois das chuvas; quando se multiplicam e têm por cima *cirros*, é presagio de tempestade. Os nauticos denominam os *cumulos* pelo nome de *balas de algodão*, ou simplesmente *algodões*.

Os *cirros* são pequenas nuvens, brancas, de aspecto de filamentos; são nuvens mais elevadas, formadas de pequenas particulas de gelo ou flocos de neve. A apparição d'estas nuvens precede muitas vezes uma mudança de tempo; no estio annunciam chuva e no inverno geada. Os maritimos chamam a estas nuvens *rabos de gallo*.



Os *stratus* são nuvens delgadas, muito largas e contínuas, que se fórmam ao pôr do sol, perto do horizonte, e desaparecem de manhã. Os *stratus rubros* annunciam bom tempo, são frequentes no outomno e raros na primavera.

Os *nimbus* são nuvens de chuva, não têm fórmula característica, são cinzentos e escuros com bordos franjados. Os marítimos chamam-lhe *aguaceiros*.

§ 423. Tem-se discutido muito sobre a causa da suspensão das nuvens. Alguns physicos, suppõem que as nuvens são formadas de uma infinidade de vesículas, muito pequenas, ôcas, semelhantes ás bolas de sabão, e cheias de ar mais quente que o ar ambiente, por effeito da absorpção do calor solar; de modo que estas vesículas fluctuam no ar como fluctuariam pequenos balões.

Outros admittem que as nuvens se formam de pequenas góttas de agua, cheias, fluctuando na atmosphera, aonde se sustentam pelas correntes ascendentes de ar quente; a sua immobilidade é apparente.

Se uma nuvem no seu curso descendente, encontrar uma camada de ar quente, a agua condensada, dissipando-se pela parte inferior, reforça a superior pela addição de novos vapores que se condensam; é porisso que as nuvens parecem ter sempre uma altura constante; e pela mesma razão que as nuvens ao meio dia são mais altas que de manhã e de tarde.

§ 424. Nevoeiros. Os *nevoeiros* são vapores condensados proximamente á superficie do solo, que diminuem e perturbam a transparencia da atmosphera; póde dizer-se que os nevoeiros são *nuvens da terra*. Os nevoeiros raras vezes persistem, dissipam-se no mesmo dia em que se formam; porém, em alguns paizes, duram dias inteiros. Os nevoeiros que se dissipam pouco tempo depois da sua formação, ou que são frios, depois de dias chuvosos, prognosticam bom tempo.

§ 425. Orvalho. Dá-se o nome de *orvalho* ás pe-

quenas góttas, limpidas e transparentes, que se depositam sobre alguns corpos expostos ao frio, durante as noites frias. O orvalho provém da condensação do vapor aquoso existente na atmosphera, condensação promovida pelo resfriamento, devido á irradiação do calor dos corpos existentes á superficie da terra para o espaço. O orvalho, deposita-se de preferencia sobre os corpos máus conductores e de grande poder emissivo, taes como as folhas, vidro, relva, areia, etc. porque, resfriando-se mais que os outros, devem condensar mais vapor. O orvalho fórma-se de manhã, na vizinhança dos mares, rios, lagos, e desaparece ao nascer do sol.

§ 426. As causas que influem sobre a producção do orvalho são todas aquellas que favorecem a irradiação nocturna. São quatro.

1.<sup>a</sup> *Exposição.* Um corpo que estiver cercado de muros, edificios, montanhas, arvores, etc. resfria com lentidão, visto que estes corpos, que o cercam, são obstaculo á irradiação do corpo, e por conseguinte diminuem a quantidade de orvalho, que n'elle se póde depositar.

2.<sup>a</sup> *Estado do céo.* O céo deve estar puro e limpido, porque, se a atmosphera estiver carregada de nuvens, estabelecer-se-ha uma reciproca irradiação entre as nuvens e a terra, o que impede o resfriamento.

3.<sup>a</sup> *Natureza dos corpos.* Os corpos que tiverem maior poder emissivo, são os que se resfriam mais depressa; por conseguinte cobrem-se de orvalho com mais vantagem. Os metaes, sobre tudo os polidos, não se prestam para o deposito do orvalho, pela razão de terem pouco poder emissivo.

4.<sup>a</sup> *Agitação do ar.* Uma violenta agitação reaquece o solo resfriado, e ao mesmo tempo determina a evaporação do orvalho já formado; pelo contrario um ar frio e humido, renovando as camadas do ar que levam o vapor da agua, favorece o desenvolvimento do orvalho.

§ 427. Geada. Chama-se *geada* a pequena camada

de flocos de neve sobre os corpos frios, que costumam receber orvalho; a geada provém da immediata congelação dos vapores. Apparece depois dos ventos frios, e quando a temperatura está abaixo de zero.

§ 428. **Chuva.** Dá-se o nome de *chuva* á queda de gôttas de agua, mais ou menos pequenas, que provém da condensação dos vapores aquosos existentes na atmosphaera. A chuva é geralmente produzida pelas nuvens nimbus á medida que se fórmam; os cumulos tambem dão chuva, quando o ar está muito humido; ás vezes ha chuva sem nuvens. As gôttas de chuva são tanto mais volumosas quanto maior é a altura d'onde ellas vem.

A quantidade de chuva, que cáe n'um tempo dado, depende não só do resfriamento que experimenta uma nuvem, mas tambem da sua temperatura primitiva. Uma nuvem de 30° de temperatura produz mais chuva quando passa a 26°, que uma outra nuvem de 20° que passa a 16°; sendo o abaixamento de temperatura o mesmo, a quantidade de vapor na primeira é muito maior que na segunda. É esta a razão, por que as chuvas nas regiões equatoriaes são mais abundantes do que nas temperadas; pela mesma razão as chuvas no verão dão mais agua que no inverno.

§ 429. **Pluviometro.** O *pluviometro* ou *udometro*, é o apparelho que serve para medir a quantidade de agua da chuva que cáe em um logar. Compõe-se de um vaso cylindrico, coberto superiormente por meio de uma tampa afunilada, aonde cáe a chuva, que penetra no interior do vaso por um pequeno orificio que tem no centro; da base do cylindro parte um tubo de vidro, no qual a agua se eleva á mesma altura que no interior do vaso, altura que se mede por meio de uma escala graduada em millimetros, collocada ao lado do tubo. Esta altura, chamada *espessura liquida*, representa a camada liquida que adquiriria a agua da chuva, se cahisse sobre um terreno horizontal e impermeavel, e sem evaporação.



§ 430. **Neve.** Chama-se *neve* a queda do vapor de agua solidificado sem passar pelo estado liquido, na atmosphera existente.

A neve é a agua solidificada sob a fórma de pequenos crystaes estrellados, fluctuando na atmosphera. Quando a temperatura das nuvens é inferior a 0°, o vapor aquoso gela e crystallisa-se; esta crystallisação toma fórmas geometricas, de uma admiravel e constante regularidade; a neve cáe em flocos estrellados de fórma hexagonal, fórma fundamental de todos os flocos de nevê. Após a sua queda sobre o solo derrete-se, depois torna a congelar-se formando uma camada de *gêlo*, dura e unida de estructura irregular.

§ 431. **Saraiva.** A *saraiva* é a queda da neve sob a fórma de massas compactas, globulosas e transparentes, por occasião das trovoadas. A saraiva cáe na primavera e no estio, ás horas mais quentes do dia; é geralmente precursora das tempestades. O volume das massas globulosas da saraiva é variavel; observa-se desde o tamanho de uma avellã até o de um ôvo do peso de 200 a 300 grammas.

### Meteoros luminosos

§ 432. **Arco-iris.** Chama-se *arco-iris* o arco que se fórma na atmosphera, composto de sete arcos concentricos, representando successivamente as côres na seguinte ordem: *rubro, alaranjado, amarello, verde, azul indigo e rôxo*, côres do espectro solar. Algumas vezes observa-se um só arco-iris, outras vezes dois; um interior de côres muito vivas, outro exterior de côres fracas, mas a ordem d'estas côres é inversa; no arco interior a côr rubra é mais elevada e no exterior a rôxa; pôdem existir muitos outros arcos, cujas côres, sendo cada vez mais fracas, escapam á nossa vista.

O arco-iris é um meteoro luminoso produzido pela reflexão, refração e decomposição dos raios solares, projectados sobre as gottas de agua, que constituem uma nuvem chuvosa. Para observar um arco-iris é necessaria a presença do sol acima do horizonte; a resolução de uma nuvem em chuva; e a collocação do observador com a frente para a nuvem e as costas para o astro luminoso.

É pela decomposição da luz branca do sol, quando penetra nas gottas de chuva, e pela sua reflexão sobre a face interna que se produz o phenomeno do arco-iris. Todas as vezes que a luz solar, ou artificial, penetrar nas gottas de agua sob um certo angulo, observar-se-ha um arco-iris.

Nem todos os raios refractados pelas gottas de chuva e reflectidos na sua concavidade, são proprios para produzir o phenomeno; aquelles que podem dar origem ao arco-iris têm o nome de raios *efficazes*.

§ 433. **Auroras polares.** Chamam-se *auroras boreaes* ou *austraes* os arcos luminosos, extremamente notaveis, que com frequencia se observam nas regiões polares e cujos extremos tocam no horizonte. Estes mysteriosos meteoros offerecem aspectos variadissimos, mas com marcha constante; nascem, desenvolvem-se e antes de desaparecer passam pelas phases brilhantes.

No momento da sua apparição, em tempo sereno, observa-se no horizonte um segmento circular *rôxo-escuro*, o qual é circumdado de arcos luminosos, cujos extremos se perdem no horizonte; o brilho d'estes arcos augmenta consideravelmente, e muitas vezes é comparavel ao da lua cheia, ao da luz crepuscular, ou ao da luz do dia.

Quando a aurora polar, boreal ou austral é completa, apresenta tres partes e tres phases distinctas; o *arco*, os *raios* e a *coróá*. O arco é a parte que primeiramente se observa; o seu plano é perpendicular á direcção da agulha de inclinação, eleva-se parallelamente a si mesmo, emittindo por todas as partes raios luminosos, que parecem dirigir-se

para um ponto do céu, collocado no prolongamento da agulha; estes raios, ora continuos ora descontínuos, convergem, invadindo toda a abobada celeste, para um ponto, onde formam uma cupula que se denomina *corôa*.

Após a apparição da corôa, annuncio do fim do phenomeno, os raios luminosos perdem o seu brilho, a sua intensidade decresce e tudo desaparece.

As auroras polares têm por causa as descargas lentas da electricidade que partem do solo para neutralisar a electricidade da atmospherá. Onde é que se fórman as auroras boreaes? É no seio da atmospherá ou nos limites d'ella?

§ 434. *Estrellas cadentes*. Chamam-se *estrellas cadentes* os pontos luminosos, similhantes a estrellas, que se movem no céu com extrema rapidez, e desaparecem atravessando em breves instantes muitas constellações. As estrellas cadentes não são verdadeiras estrellas, astros luminosos; são corpos petreos de pequenas dimensões, animados de extrema velocidade, que atravessam a atmospherá terrestre e se tornam incandescentes pelo seu atrito contra as moléculas do ar.

Toda a gente pôde observar estes meteoros luminosos em uma noite serena, sem nuvens, collocando-se n'um lugar d'onde possa observar uma grande parte do céu.

D'onde provém as estrellas cadentes? Nos espaços celestes, existe um grande numero de pequenos corpos, que se movem, obedecendo ás attracções do Sol e dos outros planetas. A terra, no seu movimento de translação, encontra um certo numero d'estes corpos; os que ficam mais proximos d'esta e sob a sua acção são attrahidos, penetrando na atmospherá, precipitam-se sobre a superficie da terra; os que estão mais afastados continuam no seu movimento.

Em certas epochas do anno, sobre tudo nos mezes de agosto e novembro, o numero de estrellas cadentes é consideravel e tomam então uma direcção determinada,



o que faz ver que estes pequenos corpos não estão uniformemente espalhados nas diversas regiões que a terra atravessa.

§ 435. **Aerolites.** As estrellas cadentes quando chegam á superficie da terra, tomam o nome de *aerolites*; são massas petreas, globulosas, mais ou menos volumosas, animadas de grande velocidade: no seu trajecto sinuoso apresentam-se sob a fórma de esferas igneas, projectando traços de luz que persistem alguns minutos ou segundos. Estas esferas fracturam-se ora na atmosphera ora em contacto com a terra.

A analyse chimica mostra que os aerolites são compostos de scilica, de ferro, de enxofre, de manganezio, de nickel, de cobalto, de chromo: não ha mineraes conhecidos analogos aos aerolites.

§ 436. **Fogo-fatuo, fogo de Sanct'Elmo.** Chama-se *fogo-fatuo* aos clarões das chammas erraticas que apparecem em certos logares, como cemiterios, logares pantanosos e todos aquelles onde se decompõem materias organicas, animaes e vegetaes. Estas chammas são produzidas pela inflamação das emanações gazosas que se desenvolvem e se elevam n'estes logares; geralmente estas emanações contêm phosphoro, e por isso tornam-se luminosas na obscuridade.

Chamam-se *fogo de sanct'Elmo* as chammas de côr rôxa muito brilhantes e moveis, que se observam no alto mar durante as tempestades.

### Meteoros electricos

O estudo d'estes meteoros fica guardado para depois do estudo da electricidade, que é a sua causa.

---

## CAPITULO XXIII

## Climatologia

§ 437. **Climatologia.** A *climatologia* é a sciencia que ensina as leis, que presidem a constituição dos climas.

*Clima* é o conjuncto de circumstancias physicas, caracterisadas pela temperatura media, ligadas a uma certa localidade e apreciadas na sua acção sobre os seres organisados. Este conjuncto de circumstancias é a temperatura, humidade, pressão atmospherica, ventos, pureza e serenidade do ar.

§ 438. **Temperaturas medias.** Chama-se *temperatura media do dia* o quociente que se obtém, dividindo a somma das observações thermometricas, feitas successivamente em intervallos iguaes do dia pelo numero de observações; estas observações fazem-se geralmente de hora em hora; por isso basta dividir a somma das vinte e quatro observações por 24, o quociente será a *media do dia*: a experiencia mostra que esta media coincide com a media das temperaturas maxima e minima do dia, que se determinam pelos thermometros de maxima e minima, devendo estes ficar ao abrigo dos raios solares e de todo o corpo que possa influenciar n'elles pela sua irradiação.

A *temperatura media do mez* é o quociente da somma das medias diarias dividida pelo numero de dias do mez.

A *temperatura media annual* é o quociente da somma das medias mensaes dividida por 12.

A *temperatura media de um logar* é o quociente da somma das medias de muitos annos, dividida por esse numero de annos.

Estas temperaturas são observadas ao ar livre, com o thermometro á sombra, e ao abrigo da irradiação dos corpos vizinhos.

A temperatura media de Coimbra é  $15^{\circ},5$ .

§ 439. **Temperatura durante o dia e anno.** No nosso paiz a temperatura maxima é, termo medio, ás tres horas da tarde, e a minima ás seis horas da manhã; durante o anno a temperatura maxima é em julho e agosto, e a minima nos meados de janeiro. A razão d'esta marcha regular da temperatura durante o dia e anno é, no primeiro caso, pela distancia do sol ao horizonte nas diversas horas; no segundo, pela differente posição d'este astro, quando passa pelo meridiano, e pelas mudanças de grandeza dos dias e noites.

§ 440. **Causas que modificam a temperatura do ar.** As principaes causas que fazem variar a temperatura do ar são: a *latitude*, a *altitude*, a *direcção dos ventos* e a *proximidade dos mares*.

1.º *Influencia da latitude.* A influencia da latitude, que é a mais consideravel, depende da maior ou menor obliquidade dos raios solares. É por esta razão que o calor decresce, desde o equador, onde a incidencia dos raios é perpendicular, até os polos, onde a incidencia é cada vez mais obliqua. Nas regiões temperadas e glaciaes, esta perda é em parte compensada pela grandeza dos dias no verão. No equador sendo constante a grandeza dos dias, a temperatura é invariavel; nos paizes do norte, onde os dias são muito deseguaes, a temperatura é muito variavel; mas no estio eleva-se algumas vezes e chega a ser igual á do equador.

2.º *Influencia da altitude.* A altitude, altura acima do nivel dos mares, imprime á temperatura do ar um decrescimento muito mais rapido, que o que resulta da latitude. As viagens aerostaticas, a existencia de neves perpetuas na crista das altas montanhas, mostram que a temperatura decresce rapidamente com a altura acima



do nivel do mar. A lei d'este decrescimento ainda não é conhecida. A causa d'esta diminuição de temperatura é devida ao grande poder diathermico do ar no estado de pureza, a sua fraca densidade, a diminuição de pressão, etc. nas altas regiões de atmosphaera.

3.<sup>o</sup> *Influencia da direcção dos ventos.* É bem notoria a influencia dos ventos sobre a temperatura do ar; porque, participando elles da temperatura das regiões que têm percorrido, devem modificar a temperatura das regiões que vão percorrer.

4.<sup>o</sup> *Influencia da proximidade dos mares.* A temperatura dos mares é quasi uniforme e superior á dos continentes. Emquanto á uniformidade da temperatura dos mares, a experiencia mostra que, nas regiões temperadas, a differença da temperatura no mar, entre o maximo e minimo é de 2 a 3 gráus, e emquanto que nos continentes esta differença é de 14 a 18 gráus: tambem a observação mostra que sob os tropicos, e sobre tudo nas regiões polares, a temperatura dos mares é mais elevada que a da atmosphaera.

Nas ilhas a uniformidade da temperatura é muito sensivel, mesmo durante os calores mais intensos; é por isso que os estios são em geral menos quentes e os invernos menos frios. A temperatura dos paizes proximos do mar eleva-se e é mais uniforme; a causa d'esta uniformidade são as brizas.

§ 441. *Linhas isothermes.* Chamam-se *linhas isothermes* as linhas traçadas sobre a superficie da terra, que têm a mesma temperatura media. Se a superficie da terra fosse homogenea a distribuição do calor seria determinada pelas latitudes, e as linhas isothermes seriam parallelas ao equador; mas como a temperatura á superficie terrestre varia sob a influencia de muitas causas locais, as linhas isothermes não são parallelas entre si, nem ao equador, são sinuosas. *Zonas isothermes* são os espaços comprehendidos entre duas linhas isothermes mais proximas.

Chamam-se linhas *isothericas*, aquellas que têm a mesma temperatura media estival, e *isochiménicas* ás que têm a mesma temperatura media invernal.

§ 442. Divisão dos climas. Os climas, segundo as suas temperaturas medias, dividem-se em sete: 1.º clima *ardente* de 25º a 28º; 2.º clima *quente* de 20º a 25º; 3.º clima *doce* de 15º a 20º; 4.º clima *temperado* de 10º a 15º; 5.º clima *frio* de 5º a 10º; 6.º clima *muito frio* de 0º a 5º; 7.º clima *gelante* de gráus abaixo de zero.

Alguns admittem só tres climas geraes: clima *quente* ou o da zona equatorial; clima *temperado* ou o das zonas entre os tropicos e os circulos polares; clima *frio* ou o das zonas polares.

Os climas dividem-se em *constantes*, *variaveis* e *excessivos*; os primeiros são aquelles em que a differença da temperatura, entre o inverno e o verão não excede de 6º a 8º; os segundos em que esta differença passa de 16º a 20º; e os terceiros em que esta mesma differença excede a 30º.

Os climas tambem se dividem em climas *continentaes* e *insulares* ou *marinhos*: os primeiros são aquelles, cuja temperatura media apresenta grandes differenças no decurso de um anno, entre os limites extremos do calor e frio; taes são os climas de Lisboa, de Paris, de Berlim, de S. Petersburgo, de Nova-York e de Pekin: os segundos são aquelles cujas temperaturas extremas de inverno e de estio não apresentam differenças sensiveis; taes são os climas das Ilhas; por exemplo: o clima da Ilha da Madeira e o dos Açores. As costas maritimas possuem climas analogos aos insulares.

§ 443. Distribuição da temperatura á superficie do globo terrestre. A superficie da terra, que é composta de partes heterogeneas, mares e terras, com differentes poderes, emissivo e absorvente; as configurações d'estas, a sua extensão relativa, a natureza do solo, a ausencia e abundancia de vegetação, a altura das terras,

etc., devem necessariamente fazer variar a temperatura do globo: na verdade a observação confirma o que a theoria prevê.

A temperatura do globo terrestre decresce desde o equador até aos polos, mas este decrescimento não é segundo uma lei geral; uma variada multiplicidade de causas perturbadoras, geraes e locaes, determina este decrescimento não uniforme. Numerosas observações, mostram que as temperaturas medias dos logares mais notaveis da terra são as seguintes:

Abyssinia .....	31°,0	Coimbra.....	15°,5
Pondichéry .....	29,3	Constantinopla.....	13,7
Calcutá .....	28,5	Pekin.....	12,5
Jamaica.....	26,1	Paris .....	10,8
Ilha de França.....	24,9	Londres.....	10,4
Rio de Janeiro.....	23,1	Bruxellas.....	10,2
Alger.....	17,5	S. Petersburgo.....	7,5
Napoles.....	16,7	Cabo do Norte.....	0,0
Mexico.....	16,6	Mar da Groelandia ...	— 7,7
Lisboa .....	15,6	Ilha de Melville.....	—18,5

As temperaturas mais elevadas que se têm observado são de 47°, 50° e 54° nos desertos de Africa; e as mais baixas são de — 50°, e — 57° ao norte de America.

§ 444. **Temperatura dos mares.** A elevação e o abaixamento da temperatura da superficie dos mares, são muito lentos e menores que os do solo; d'ahi resulta uma uniformidade na temperatura dos mares e do ar em contacto com elles. Esta temperatura em geral decresce com o augmento da latitude.

Na zona torrida a temperatura da superficie do mar é de 26 a 27°; entre os tropicos é geralmente igual á do ar, e nas regiões polares é sempre superior á da atmosphera.

A temperatura no fundo dos mares cresce com a latitude. Na zona torrida a temperatura diminue com o augmento da profundidade; nas regiões tropicaes e temperadas mantem-se constantemente a grandes profundi-



dades entre  $1^{\circ},7$  e  $3^{\circ},5$ ; nas regiões polares a temperatura augmenta com a profundidade.

A baixa temperatura, nas camadas inferiores do mar, explica-se pelo effeito das correntes submarinhas, que levam para o equador a agua fria dos mares polares; enquanto que as correntes quentes, que se dirigem do equador para os polos, attenuam a intensidade do frio n'estas localidades.

Durante muito tempo admittiu-se que no fundo dos mares havia uma camada de temperatura invariavel de  $4^{\circ}$ ; mas as sondagens feitas pelos officiaes da armada franceza, ingleza e americana, mostram que a media da temperatura a grandes profundidades é de  $2^{\circ},6$ .

§ 445. Temperatura dos lagos e das fontes.

A temperatura dos lagos é muito mais variavel que a dos mares. A sua superficie gela no inverno, e no verão tem a temperatura de  $26^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ; o seu fundo conserva sensivelmente uma temperatura de  $4^{\circ}$ , que é o maximo da densidade de agua.

A temperatura das fontes depende da das camadas terrestres que atravessam, e por conseguinte fica dependente da profundeza d'onde ellas procedem.

Se uma fonte tiver por origem a camada invariavel, a sua temperatura será de  $11$  a  $12^{\circ}$ ; se provier de um plano inferior á camada invariavel, então terá uma temperatura elevada conforme o augmento da profundeza; as aguas então serão thermaes.

§ 446. Oceano. Chama-se *oceano* a immensa extensão de agua salgada que cobre o globo terraqueo. A superficie do globo terrestre é 5100000 myriametros quadrados, a do oceano é 3700000, e a dos continentes é 1400000; segue-se que a superficie dos mares é quasi tres vezes maior que a das terras.

Os mares estão muito desegualmente repartidos sobre o globo. No hemispherio austral a superficie dos mares é maior que no boreal na razão de 13 para 9.

O fundo dos mares é muito irregular; a sondagem mostra que é formado por extensas planicies, montes e montanhas, etc.; isto é, que o fundo dos mares é analogo em desigualdades á superficie da terra firme. Compõe-se de terrenos de diversa natureza, principalmente de calcareos e sciliciosos, onde se encontram animaes inferiores muito notaveis pelas suas fórmas, côr e phosphorescencia.

O Oceano divide-se em cinco grandes bacias: o oceano Pacifico, o oceano Atlantico, o mar das Indias, o glacial Arctico e o glacial Antartico. Chama-se *mar de Sargassa* a grande extensão do oceano onde não ha correntes maritimas, as aguas estão em repouso e a sua superficie está coberta de uma abundante vegetação de hervas fluctuantes em tão grande quantidade, que retardam a marcha dos navios.

A superficie dos mares não é immovel, está sempre em continua agitação, apresenta ondulações mais ou menos extensas e violentas, devidas umas vezes á acção dos ventos, são as *vagas*: outras vezes são oscillações regulares e periodicas, elevando-se e abaixando-se, devidas á acção attractiva do Sol e da Lua, são as *marés*: e finalmente oscillações circulares, procedentes da desigual repartição do calor, e da acção dos ventos, são as *correntes maritimas*.

§ 447. *Correntes maritimas*. Existem no mar *correntes*, que podem ser consideradas como verdadeiros rios no oceano, ou como arterias de um grande systema circulatorio, que exercem uma grande influencia nas harmonias do globo; estabelecem uma especie de equilibrio entre as temperaturas extremas dos diversos climas; transportam para os polos agua quente dos tropicos e trazem para a zona torrida a agua fria das regiões glaciaes. O curso d'estas correntes é tão regular como o dos corpos celestes. Com razão dizia o descobridor do novo mundo «as aguas vão com os céos.»

As correntes principaes e mais notaveis são tres: a do Atlantico, a do Pacifico e a do mar das Indias. A cor-

rente do Atlantico, sãe da Guiné septentrional, segue a direcção do equador até encontrar o cabo de S. Roque; ahí bifurca-se, seguindo um ramo para o norte e outro para o sul, este segue a costa do Brazil, e fórma a *corrente do Brazil*, até perder-se nas regiões polares. O ramo que segue para o norte, arteria principal, e mais importante, porque completa a corrente do Atlantico, dirige-se pela costa do norte do Brazil e das Guyanas, recebe no seu seio as aguas do Amazonas e do Orenoque, entra no mar das Antilhas, segue para a bahia de Honduras, atravessa o canal de Yucatan, entra no golfo do Mexico, onde toma o nome particular de *Golfestrim*, corrente do golfo; segue depois a costa do Mexico e dos Estados Unidos; ali torna a bifurcar-se seguindo um ramo para as regiões polares do norte, e outro passa entre a Irlanda e a Inglaterra, entra no mar do Norte, atravessa o canal da Mancha, costeia a França, Portugal e a Africa até encontrar o ponto de partida. Fórma, pois, por assim dizer, um circulo para cujo centro convergem todos os objectos arrastados das costas, como plantas, madeira, etc. que, accumulando-se, formam uma grande ilha fluctuante. Calcula-se que as aguas gastam tres annos para percorrer todo este circuito.

A corrente do Pacifico atravessa-o em toda a sua largura, seguindo a direcção do equador, pouco mais ou menos; ao encontrar a costa da Asia bifurca-se, indo um dos ramos para o norte, onde se encontra com a corrente polar, que desce pelo estreito de Behring e volta depois ao longo da costa do Mexico. O outro ramo segue para o sul contornando a Australia, onde se encontra com diversas contra-correntes, que vêm do mar das Indias, occasionando nos seus encontros immensos perigos.

A corrente do mar das Indias alonga-se na costa da Australia, volta então para oeste e dirige-se para o sul em direcção a Madagascar, e continuando é impellida para este pela corrente polar que vai do cabo da Boa Esperança,



Além d'estas correntes superficiaes, que se podem chamar correntes de agua quente, ha outras vindas dos polos e por isso chamadas correntes frias. Assim do polo do sul dirijem-se tres para o equador. Uma bifurca-se quasi ao sul do Brazil, mas do lado do mar Pacifico; um dos ramos vai dobrar o cabo Horn, o outro sobe ao longo da costa do Chili. Outra dirige-se para o cabo da Boa Esperança e fórma dois ramos que seguem pelas costas de Africa. A terceira dirige-se para o mar das Indias.

Todas estas correntes têm por causa a differença de temperatura, e por conseguinte a densidade das aguas quentes do mar sob os tropicos e a das aguas frias dos mares glaciaes; e tambem a direcção dos ventos, configuração das costas e o relevo do fundo dos mares.

### Previsão do tempo

§ 448. A previsão do tempo, tão necessaria como util, principalmente á navegação e á agricultura, depende do conhecimento de certos *signaes*, chamados *prognosticos do tempo*: como a força e direcção do vento a differentes altitudes, a altura barometrica, a temperatura do ar, o seu estado hygrometrico, o estado do céo e finalmente os movimentos da agulha magnetisada; estes signaes, observados simultaneamente sobre uma grande extensão da terra, dão resultados que merecem a maxima confiança; mas isoladamente n'uma localidade são incertos. Os signaes da maior importancia são a direcção do vento e a altura barometrica.

§ 449. Maury e Fitz-Roy, reconhecendo a importancia das observações meteorologicas, simultaneas, continuas e combinadas sobre differentes pontos do globo, promoveram o congresso internacional de Broxellas, em 1853, para adoptar um plano uniforme sobre a direcção dos ventos e das correntes maritimas.

Pela annuencia dos principaes estados da Europa e da America estabeleceu-se uma vasta rede de observatorios meteorologicos, ligados entre si por fios telegraphicos, de modo que, em qualquer observatorio d'esta rede, seguindo as correntes atmosphericas, póde prevenir-se com alguns dias de antecendencia os paizes para onde se dirigem.

Todos os observatorios d'esta rede se correspondem com o de Paris, e lhe transmittem todos os dias as observações das 8 horas da manhã, relativas ao estado do céu, á pressão atmospherica, direcção e força dos ventos. Estas indicações servem para formar a *carta synoptica*.

§ 450. *Carta synoptica*. A carta synoptica é a representação graphica do estado da pressão e a dos ventos da Europa: todos os pontos, da mesma altura barometrica, são ligados por uma curva continua, que ás vezes é fechada; a força e a direcção dos ventos são dadas por varios signaes convencionaes. Do estudo da carta synoptica deduzem-se probabilidades do tempo para o dia seguinte, que se transmittem até uma hora da tarde n'um *boletim meteorologico* a todos os portos de mar a que interessam. Do estudo comparativo das cartas synopticas de muitos dias descobre-se a marcha das depressões barometricas, e prevê-se com confiança, com alguns dias de antecendencia, o estado do tempo, no ponto para onde caminham aquellas depressões.

§ 451. *Prognosticos tirados dos ventos*. O estudo dos ventos é de alta importancia na previsão dos tempos; póde dizer-se que é a base essencial do prognostico do tempo.

Os cataventos e as flammulas dão a direcção e velocidade dos ventos á superficie da terra; as nuvens e os balões a das altas regiões; a velocidade de uma nuvem é tanto mais fraca, quanto mais elevada for.

Relativamente a Portugal o estudo dos ventos reduz-se, além do das correntes equatoriaes e polares, ao de uma corrente do Atlantico boreal, que, soprando da America do

norte, passa para as Ilhas Britannicas, onde se transforma em vento de nordeste e em vento do norte á medida que se estende sobre o continente, e cuja velocidade media é de 36 kilometros por hora, mas que varia com as estações.

O encontro das correntes equatoriaes com a do Atlantico boreal, produz constantemente nas costas do nosso Portugal fortes ventanias, tufões e furacões. Estes tufões e furacões, aspirando o ar frio das altas regiões da atmosphera, condensam os vapores contidos nas correntes equatoriaes; d'onde resulta que estas tempestades produzem chuva.

Se os tufões forem muitos e continuados, as chuvas são prolongadas.

As mudanças atmosphericas no nosso paiz procedem da corrente Atlantica boreal, e por conseguinte as tempestades, que se formam, dão origem ás borrascas tão frequentes no inverno.

Para prever o tempo é necessario seguir de uma maneira contínua a marcha das correntes atmosphericas do mar do Norte e do Baltico.

§ 452. Prognosticos tirados da altura barometrica. O barometro é o verdadeiro instrumento do tempo, porque as suas indicações precedem 48 horas e mais as mudanças do tempo.

Quando as variações barometricas forem muito lentas durante muitos dias, ha probabilidades de bom tempo; se forem muito rapidas, presagiam máu tempo.

Para estabelecer um prognostico com certas probabilidades de exactidão, é necessario observar simultaneamente o barometro, o thermometro e o hygrometro. Se o barometro sobe e o thermometro e o hygrometro descem, ha bom tempo; e se aquelle desce e estes sobem, ha máu tempo, quer dizer, ha chuva.

A velocidade e a direcção do vento tambem têm uma grande influencia sobre a altura barometrica. No equador a pressão é fraca, nos tropicos o barometro sobe. Com



os ventos do norte, seccos e frios, o barometro sobe, e desce com os do sul, quentes e humidos.

Um vento humido não produz immediatamente chuva; porém, se encontrar uma atmosphaera quente e secca, e se n'ella persiste, a chuva apparece. Um vento secco e frio póde dar chuva, se penetrar n'uma região quente e saturada de humidade; porém, a persistencia d'este vento póde fazer cessar a chuva.

A observação mostra que uma baixa pressão é sempre um prognostico de uma grave perturbação na atmosphaera; comtudo póde haver um bom tempo, mas de curta duração.

§ 453. Prognosticos tirados do thermometro e do hygrometro. As indicações dadas por estes instrumentos não têm o mesmo valor que as dos barometros e cataventos. Se no inverno o thermometro estiver um pouco abaixo de zero, o hygrometro marcar humidade e o soprar do vento for entre norte e leste, ha probabilidades de neve; no verão, se o barometro desce, e o thermometro e hygrometro sobem, e estas variações coincidirem com a apparição de cumulos no horizonte, ha grandes probabilidades da vinda d'um furacão.

§ 454. Avisos meteorologicos. O observatorio meteorologico de Paris, que está em communicação com os principaes observatorios da Europa, da America e da Asia, recebendo todos os dias as observações meteorologicas de diferentes pontos do globo, confecciona cartas synopticas, com auxilio das quaes prevê, com muitos dias de antecedencia, as perturbações atmosphericas, e por consequente fica conhecendo em que direcção caminham os ventos fortes, os furacões, as borrascas, as chuvas, etc.

O mesmo observatorio de Paris, que tambem está em communicação com os portos de mar, por meio de fios telegraphicos, participa a estes portos as perturbações da atmosphaera e as tempestades que para elles se dirigem. Estes avisos são logo affixados n'esses portos, e immediatamente transmittidos aos navios que se acham no alto

mar por meio de signaes convencioneados; do topo de um mastro destinado a este serviço é que se fazem estes signaes.

§ 455. Signaes das perturbações atmosphericas e das tempestades. Estes signaes são quatro, e têm as seguintes significações:

1.º PAVILHÃO AMARELLO. Tempo duvidoso; o barometro tende a descer.

2.º GUIÃO VERMELHO. Má apparencia, mar forte; o barometro baixa.

3.º FLAMMULA AMARELLA E AZUL. Apparencia de bom tempo; o barometro sobe.

4.º CYLINDRO NEGRO. Tempestade, que póde desencadear na costa.

---

## CAPITULO XXIV

## Optica

§ 456. A *optica* é a parte da *physica* que tracta da luz. Divide-se em *catoptrica* e *dioptrica*. A *catoptrica* estuda a propagação e a reflexão da luz; a *dioptrica* estuda a refração da luz.

§ 457. Luz. A luz é o resultado do movimento vibratorio extremamente rapido das moléculas dos corpos, que se transmite por intermedio do ether, e que produz em nós, pela sua acção sobre a retina, o phenomeno de visão. É principalmente por intermedio da luz que o homem estabelece relações com o mundo exterior.

§ 458. Theorias da luz. As hypotheses ou theorias, que se têm imaginado para explicar a origem da luz, são duas: a das *emissões*, devida a Newton; e a das *ondulações*, admittida por Descartes e hoje geralmente seguida.

*Theoria das emissões.* Esta theoria consiste em suppor que os corpos luminosos emittem continuamente no espaço, com uma prodigiosa velocidade, particulas muito tenues de uma substancia imponderavel, que, impressionando a nossa retina, produzem o phenomeno de visão.

*Theoria das ondulações.* Esta theoria suppõe que a luz é devida a um movimento vibratorio muito rapido das particulas dos corpos luminosos, movimento que se propaga sob a fórma de ondas analogas ás do som, até ao órgão da vista, pelo intermedio do ether. Estas ondas entram na pupilla, atravessam os meios do globo ocular e quebram-se na retina; d'este choque verdadeiramente



mehânico é que provém o conhecimento da existencia da luz.

§ 459. **Constituição do ether.** O ether é um fluido particular infinitamente elastico, em contacto com todos os corpos, que penetra todos os poros e se acha espalhado por todo o universo; a sua natureza é desconhecida; elle escapa á observação directa.

A sciencia considera o ether como uma materia formada de atomos, todos de igual massa, volume e de fórma espherica, animados de igual movimento de rotação, e porisso com a mesma elasticidade; um meio formado só de atomos de ether tem a mesma densidade: no movimento vibratorio transversal do ether não ha variação de densidade; o contrario succede no movimento longitudinal. No interior dos diversos corpos o ether apresenta diverso gráu de mobilidade em translação, d'onde resultam notaveis propriedades electricas. O movimento, em qualquer ponto do ether, propaga-se em todos os sentidos sob a fórma de ondas ethereas, do mesmo modo que o som se propaga no ar pelas ondas sonoras.

§ 460. **Efeitos das ondulações ethereas.** As vibrações do ether, impressionando o nosso corpo, determinam a sensação do calor; impressionando a retina, produzem a luz e por conseguinte a visão; actuando sobre certos corpos, promovem composição e decomposição. As ondulações do ether podem ser pois *calorificas*, *luminosas* e *chimicas*: a differença d'estas ondulações está na duração do periodo das vibrações; as calorificas são mais longas e de maior amplitude; as luminosas são mais curtas e de menor amplitude; as chimicas são as mais curtas de todas. Estas differentes especies de ondulações são transversaes, encontram-se em proporções variaveis nas diversas luzes artificiaes. Os corpos aquecidos começam a emittir radiações obscuras; os que têm 600° de temperatura produzem radiações luminosas, a sua côr é encarnada, o numero d'estas vibrações não é inferior a 4960000000000000

por segundo, este numero augmenta com a intensidade da onda; para as radiações chemicas o numero de vibrações excede o dobro d'aquelle. Estas differentes especies de ondas podem converter-se umas nas outras, d'onde se segue o seguinte principio:

*Todo o movimento luminoso se póde transformar em movimento calorifico e chimico; reciprocamente, todo o movimento calorifico ou chimico se póde converter em movimento luminoso.*

Depois que se observou que a luz produz som, segue-se tambem que o movimento luminoso póde transformar-se em movimento sonoro.

§ 461. **Corpos luminosos e illuminados.** Chamam-se corpos *luminosos* os que têm luz propria e por conseguinte são visiveis por si mesmos, como o sol, as estrellas, os corpos em ignição: corpos *illuminados* os que recebem luz dos outros corpos e são invisiveis na obscuridade.

§ 462. **Corpos diaphanos, translucidos e opacos.** Os corpos *diaphanos* ou transparentes são os que deixam passar atravez da sua massa toda a luz, permittindo ver os objectos distinctamente, como o ar, a agua, o vidro; os *translucidos* são os que deixam passar a travez da sua massa pouca luz, não permittindo ver os objectos senão confusamente, como o papel, certas agathas, o vidro despolido; os *opacos* são os que não deixam passar atravez da sua massa luz alguma, por ex.: os metaes, as pedras, as madeiras.

Estas propriedades são relativas; um corpo opaco póde tornar-se diaphano ou translucido, reduzindo-o a laminas muito delgadas; um corpo diaphano póde tornar-se translucido ou opaco, augmentando-lhe a espessura.

§ 463. **Raio de luz. Feixe de luz.** Chama-se *raio de luz* a linha que segue a luz na sua propagação; *feixe de luz* a reunião de raios de luz, que partem de um ponto luminoso. O feixe de luz póde ser paralelo, convergente

ou divergente, conforme os seus raios forem parallellos, convergentes ou divergentes.

§ 464. Propagação da luz n'um meio homogéneo. Chama-se *meio* o espaço, cheio ou vazio, em que se produz um phenomeno; a agua, o ar, o vidro são meios; chama-se *meio homogéneo* aquelle em que todas as suas partes têm a mesma densidade e composição. A propagação da luz no meio homogéneo está submettida a leis, umas relativas á sua direcção e outras á sua intensidade.

As leis da propagação da luz, relativas á sua direcção, são duas :

1.<sup>a</sup> LEI. *N'um meio homogéneo a luz propaga-se em linha recta.*

Na verdade, se interpozermos um corpo opaco entre o corpo luminoso e a pupilla do olho do observador, a luz fica interceptada e o corpo luminoso deixa de ser visto; fazendo entrar um raio da luz solar n'um quarto escuro por um orificio estreito da porta de uma janella, vê-se um traço luminoso perfeitamente rectilíneo, illuminando o pó e todos os corpos leves, fluctuantes no ar, que encontra no seu trajecto.

2.<sup>a</sup> LEI. *A luz propaga-se em todas as direcções, a sua propagação é espherica.*

Collocando um corpo opaco a differentes distancias ao redor d'um foco luminoso, vemos este corpo em cada posição que occupa: além d'isto, os feixes das luzes artificiaes são divergentes; os da luz solar são parallellos por causa da grande distancia a que se acha o sol da terra.

As leis da propagação da luz, relativas á sua intensidade, são duas :

1.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade da luz está na razão inversa do quadro da distancia.*

Supponhamos uma esphera ôca de um certo raio; no seu centro um ponto luminoso; cada unidade da sua superficie interior receberá uma quantidade determinada de luz.



Supponhamos outras espheras, tambem ôcas, de raio duplo, triplo... , concentricas á primeira; a superficie d'estas será quatro, nove... vezes maior que a da primeira; por conseguinte conterà quatro, nove... vezes mais unidades de superficie: como a quantidade de luz emittida do centro é a mesma, segue-se que cada unidade receberá necessariamente quatro, nove... vezes menos luz.

2.<sup>a</sup> LEI. *A intensidade da luz varia com a inclinação da superficie que a emitte ou a recebe.*

Demonstra-se pelo calculo que a intensidade da luz emittida ou recebida por uma superficie obliqua, é directamente proporcional ao seno do angulo, que fazem os raios de luz com a superficie; segue-se pois que uma superficie é tanto menos illuminada, quanto maior for a sua inclinação.

É em virtude d'este principio, que uma esphera luminosa nos parece uma superficie plana, quando se olha para ella de muito longe; porque os seus raios podem ser considerados como sensivelmente parallellos: assim a superficie do sol e da lua parecem-nos planas, sendo esphericas.

§ 465. **Sombra e penumbra.** Chama-se *sombra* de um corpo o espaço escuro onde este corpo impede que a luz penetre. *Penumbra* é a transição insensivel e gradual da sombra para a luz, ou inversamente.

Para determinar a fórma e extensão da sombra, projectada por um corpo, temos a attender a dois casos; se o corpo é illuminado por um só ponto luminoso, ou por uma extensão luminosa, por ex.: uma esphera.

Supponhamos que o corpo, de fórma espherica, é illuminado por um ponto luminoso.

Seja  $L$ , fig. 106, o ponto luminoso, e  $m$  o corpo espherico, cuja sombra pretendemos determinar. Tire-se pelo ponto luminoso uma tangente  $Lx$  ao corpo, e fazendo gyrar esta ao redor do corpo, conservando-a sempre tangente e passando pelo ponto  $L$ , esta tangente

descreverá um cone, cujo vertice será o ponto luminoso; a porção d'este cone  $mx$ , que fica para traz do corpo  $m$ , é a sua sombra geometrica. Collocando n'esta sombra um cartão a uma certa distancia do corpo  $m$ , este dará a fórma e extensão da sombra do corpo.

Supponhamos que o corpo é illuminado por uma esphera luminosa. Seja  $AC$  a esphera luminosa,  $DE$  a opaca, e  $OoS$  a linha dos centros, fig. 107. Tire-se a tangente  $ADS$  commum ás duas espheras, esta encontrará a linha dos centros em  $S$ ; fazendo-a girar em redor do ponto  $S$ , conservando-se sempre tangente as duas espheras, obtemos um cone  $ASC$ , cuja secção  $DSE$  será a sombra, projectada pela esphera opaca  $DE$ . Tirem-se outras duas tangentes internas  $AEB$  e  $CDK$  ás mesmas espheras; estas tangentes encontrarão a linha dos centros no ponto  $F$ . Como estas tangentes representam raios luminosos, segue-se que os espaços  $KDS$  e  $BES$  receberam pouca luz do corpo luminoso, e esta será tanto mais fraca, quanto mais os pontos d'estes espaços estiverem proximos dos limites da sombra absoluta  $SDE$ . O espaço  $SDE$  é a sombra, os espaços  $SDK$  e  $SEB$  são a penumbra; todos os outros pontos são completamente illuminados.

§ 466. **Eclipse.** Dá-se o nome de *eclipse* á invisibilidade total ou parcial de um corpo pela immersão na sombra de outro. Os principaes eclipses são o do *sol* e da *lua*: os eclipses das estrellas têm o nome de *occultações*.

*Eclipse da lua.* O eclipse da *lua* é a immersão d'este astro na sombra projectada pela terra. Para que haja este phenomeno é preciso que a terra collocando-se entre o sol e a lua, intercepte os raios solares, que devem chegar á superficie d'este astro; além d'isto é preciso que este satellite no momento de opposição esteja no *nó*.

O sol envia raios em todas as direcções, os que se dirigem para a terra são ahi detidos pela presença d'este corpo opaco; resulta pois, por causa d'esta interceptão, haver para traz da terra uma superficie conica de sombra.



Para que a lua possa eclipsar-se é preciso que ella, estando no plano da ecliptica ou muito proximo d'elle, penetre no cone da sombra. E na verdade, ella póde penetrar; porque, sendo a distancia do vertice do cone da sombra ao centro da terra 216 raios terrestres, e a distancia do centro da lua ao da terra 60 raios terrestres; além d'isto, sendo o diametro da lua um quarto do da terra, e o diametro de uma secção transversal no cone da sombra, a uma distancia de 60 raios terrestres, maior que o diametro da lua, segue-se evidentemente que a lua no seu movimento ao redor da terra, póde não só encontrar o cone da sombra projectada pela terra, mas até immergir-se n'elle toda inteira.

Se a lua, no seu movimento ao redor da terra, estivesse sempre no plano da ecliptica, é certo que haveria eclipse da lua em cada lua cheia, e do sol em cada lua nova; mas a lua descreve uma orbita, que faz com a ecliptica um angulo de pouco mais de  $5^{\circ}$ , por conseguinte a lua acha-se umas vezes por cima, outras por baixo d'este plano, e a uma distancia que varia de instante a instante. Póde acontecer porém, que, quando a lua for cheia, passe fóra do cone da sombra, ou fique immersa, toda ou em parte.

O eclipse da lua póde ser *parcial*, quando só uma parte d'este astro penetrar no cone da sombra da terra; póde ser *total*, quando toda ella penetrar directamente no interior do cone; n'estes casos é preciso que, no momento da opposição a lua se ache no plano da ecliptica, ou muito proximo d'elle.

*Eclipse do sol.* O eclipse do *sol* é a occultação do sol pela interposição da lua entre este astro e a terra, quando a lua é nova, quer dizer, quando ella está em conjuncção com o sol. Quando se der esta circumstancia, a lua deve occultar á nossa vista uma porção mais ou menos grande do disco solar. Procuremos saber se a lua póde occultar-nos completamente o sol.



Suppondo que a lua está em conjuncção com o sol, comparemos o comprimento do cone de sombra, que a lua projecta atraz de si, desde o seu vertice até ao centro d'este astro, com a distancia entre o centro da terra e o centro da lua. O maior valor do comprimento do cone da sombra lunar é 59,73, e o menor valor da distancia entre a lua e a terra é 55,95; evidentemente nas circumstancias de posição da lua, correspondentes a estes valores, a sombra do cone lunar deve estender-se até á terra e passar além; logo todo o espaço da terra, immerso na sombra da lua, tem um eclipse total do sol; por outro lado, o menor valor do comprimento do cone da sombra lunar é 57,76, e o maior valor da distancia entre a lua e a terra é 63,80. Evidentemente n'esta situação da lua o cone da sombra lunar não póde chegar á terra; por conseguinte não ha eclipse total em ponto algum da superficie da terra; de todos os pontos do hemispherio terrestre voltado para o sol vê-se, senão a totalidade do disco solar, pelo menos uma sua parte.

Ha porém uma particularidade a notar. Se prolongarmos o cone da sombra da lua pelo seu vertice, obteremos um outro cone com o vertice commum, que interceptará no seu interior uma certa porção da superficie terrestre; evidentemente para todos os pontos d'esta superficie haverá um *eclipse annular*: de cada um d'estes pontos se verá a lua projectar-se como um circulo obscuro no meio do disco solar, o qual ficará circumscripto pelo anel luminoso, que é a porção excedente do disco do sol.

Logo, quando a lua se collocar entre o sol e a terra, haverá eclipse total ou annular para certos pontos da terra, segundo as distancias do sol e da lua á terra forem maiores ou menores. Ao mesmo tempo que houver eclipses totaes ou annulares do sol para certos pontos da terra, para outros, e em maior numero, haverá eclipses parciaes.

Os eclipses do sol podem ser *parciaes*, quando a lua occulta

sómente uma porção do disco solar; *totaes* quando o sol fica occulto na sua totalidade; *annulares*, quando o disco do sol se apresenta em fôrma de annel, tendo no seu centro um circulo negro.

§ 467. **Velocidade da luz.** A luz não se propaga instantaneamente; existe sempre um intervallo de tempo entre o instante da producção do phenomeno luminoso e o da sua percepção. A luz percorre no vazio quasi 400000 kilometros por segundo. Determina-se esta velocidade pelas observações astronomicas. Ræmer, astronomico dinamarquez, foi o primeiro que determinou a velocidade da luz pela observação do eclipse do primeiro satellite de Jupiter; elle achou que a luz solar para chegar á terra gasta 8 minutos e 13 segundos; quasi identico resultado obteve Struve pelas observações directas das estrellas. N'estes ultimos tempos Foucault, Fizeau e Corun, por meio de apparatus collocados a grandes distancias, acharam que a velocidade da luz era de 315000 kilometros por segundo, numero menor que o dado por Ræmer.

Vê-se que a velocidade da luz é prodigiosa. Para fazer idéa d'esta velocidade, basta dizer que uma locomotiva com uma velocidade de 70 kilometros por hora, gastaria dois seculos para percorrer a distancia entre o sol e a terra.

Não obstante esta grande velocidade da luz, os phenomenos celestes não se observam, senão bastante tempo depois de produzidos. A luz das estrellas mais proximas da terra gasta mais de 3 annos para chegar á nossa vista; ha estrellas cuja luz ainda não chegou á terra.

§ 468. **Imagens atravez de pequenas aberturas.** Chama-se *imagem* de um corpo a representação d'este corpo, sob a acção da luz, sobre uma superficie qualquer. Quando os raios luminosos de um objecto penetram n'uma camara escura, por uma abertura muito estreita, obtem-se d'este objecto, sobre a face interna da camara, voltada á abertura, uma imagem, invertida e pequena; a sua fôrma

é independente da fórma da abertura, fig. 108. A inversão das imagens provém do encruzamento, na sua passagem pela abertura, dos raios luminosos que dimanam dos objectos exteriores; os que provêm dos pontos mais elevados de um objecto, dão imagens nos pontos mais baixos da face da camara escura ou do cartão n'ella collocado; e reciprocamente os que dimanam dos pontos mais baixos do objecto dão imagens nos pontos mais elevados da face ou do cartão; d'onde resulta uma imagem invertida e pequena do objecto.

Se a abertura tiver qualquer fórma e for muito pequena, a imagem será independente da fórma da abertura; porque, se imaginarmos que uma recta indefinida se move em volta da abertura como ponto fixo, conservando-se sempre como tangente ao objecto exterior, evidentemente ella descreverá dois cones, que, tendo por vertice commum a abertura, terá por bases, uma o objecto exterior e a outra a parte illuminada na camara escura, quer dizer, uma imagem semelhante á do objecto.

Se o cartão ou a face da camara escura, que recebe a imagem, for perpendicular á linha dos centros do objecto exterior e do da abertura, a imagem será semelhante ao objecto; se for obliqua, a imagem será tanto mais alongada quanto maior for a obliquidade.

§ 469. **Photometros.** Chamam-se *photometros* osapparelhos destinados a comparar as intensidades relativas das diversas luzes. Ha grande numero de photometros; porém, todos elles não têm o desejado gráu de precisão. O mais simples d'elles é o de Rumford, que passamos a expor.

Compõe-se este instrumento de um anteparo translucido GH e de uma haste cylindrica, opaca, de madeira ou de metal, AB, fig. 109, a qual, illuminada pelas luzes que se querem comparar, projecta sombras sobre o anteparo. Para usar d'este apparelho, traça-se sobre um pavimento uma recta indefinida BD, do ponto B tirem-se



duas rectas  $Bx$  e  $By$ , formando com a primeira dous angulos iguaes,  $xBD$  e  $yBD$ . No vertice d'estes angulos fixe-se verticalmente uma haste de páu  $BA$ , atraz d'esta e parallelamente a ella um anteparo translucido  $GH$ . Colloquem-se duas luzes,  $L$  e  $L'$ , cujas intensidades queremos comparar, a igual distancia da haste, uma sobre a linha  $Bx$  e a outra sobre a  $By$ . A haste  $AB$  projectará sobre o anteparo duas sombras  $C$  e  $C'$ ; a sombra  $C$  será illuminada pela luz  $L'$  e a  $C'$  pela luz  $L$ .

Se estas sombras forem de igual intensidade, o que se póde apreciar exactamente, observando-as por traz do anteparo, as luzes tambem o serão; se forem de desigual intensidade, fazendo variar a distancia de uma das luzes, ora aproximando ora afastando, obtem-se uma posição tal onde a intensidade das sombras será a mesma, o que indica que o anteparo é igualmente illuminado pelas duas luzes  $L$  e  $L'$ . Se a distancia da luz  $L$  for duas, tres... vezes maior que a distancia da luz  $L'$ , segue-se que a intensidade da luz  $L$  será quatro, nove... vezes maior que a intensidade da luz  $L'$ .

Representando por  $I$  e  $I'$  as intensidades das luzes, e por  $D$  e  $D'$  as suas respectivas distancias ás sombras projectadas; temos, segundo a lei das intensidades da luz,

$\frac{I}{D^2}$  para uma luz,  $\frac{I'}{D'^2}$  para a segunda; sendo iguaes estas intensidades, temos  $\frac{I}{D^2} = \frac{I'}{D'^2}$  ou  $\frac{I}{I'} = \frac{D^2}{D'^2}$ .

Logo: as intensidades das luzes são directamente proporcionaes aos quadrados das suas distancias ás sombras projectadas.

§ 470. Unidade de luz. Dá-se o nome de *unidade de luz* á intensidade da luz de uma lampada de Carcel, que gasta 42 grammas de azeite por hora; um bico de gaz, que gasta 100 litros por hora, equivale a 0,77.

## CAPITULO XX

**Reflexão da luz; suas leis.  
Espelhos**

§ 471. Reflexão da luz. Chama-se *reflexão da luz* á mudança de direcção, que soffre um raio luminoso, quando incide sobre uma superficie polida.

Seja AB, fig. 110, uma superficie polida, CR o raio luminoso, *incidente* sobre esta superficie no ponto R; C'R o mesmo raio *reflectido*; AD a normal ou perpendicular á superficie reflectidora no ponto R: o angulo CRD é o angulo de *incidencia*, e o angulo C'RD é o angulo de *reflexão*.

§ 472. Leis da reflexão. As leis da reflexão da luz são duas, identicas ás do calor radiante.

1.<sup>a</sup> LEI. *O angulo de incidencia é igual ao angulo de reflexão.*

2.<sup>a</sup> LEI. *O raio incidente e o raio reflectido estão no mesmo plano normal á superficie reflectidora.*

A demonstração d'estas leis é muito simples. Tome-se um semicirculo graduado AFB, fig. 111, situado no plano vertical, tendo no seu centro um pequeno espelho horizontal, MN; na parte media e superior d'este semicirculo está marcado zero, e de cada lado d'este os gráus. Duas allidades, munidas de dois tubos C e D, cujas superficies internas são negras para absorverem os raios luminosos, se movem sobre o limbo, e se podem fixar em qualquer posição, tendo os seus eixos dirigidos segundo a direcção dos raios do semicirculo.

Fazendo passar um raio luminoso pelo eixo do tubo C, e collocando por tentativas outro tubo D n'uma posição tal, que pela sua abertura exterior se possa observar o raio reflectido em O no espelho MN, achamos que o arco FC é igual ao arco FD; quer dizer, que o angulo de incidencia é igual ao angulo de reflexão  $\text{COF} = \text{FOD}$ .

O raio incidente e o reflectido são duas rectas que se cortam, e por conseguinte determinam a posição do plano; ora, como este coincide com o plano do semicirculo, segue-se que os raios CO e OD estão no plano normal á superficie reflectidora.

§ 473. Luz diffusa. Chama-se *luz diffusa* a luz reflectida irregularmente. Quando a superficie dos corpos é polida, a reflexão da luz faz-se regularmente segundo as leis acima enunciadas; se a superficie não é polida, a reflexão faz-se em muitos planos, e a luz é reflectida irregularmente em todas as direcções. É a luz diffusa que nos faz ver os corpos; porque a luz reflectida regularmente dá só a imagem do corpo que emite a luz, e não dá a imagem do corpo que a reflecte; mas a diffusão dos raios irregularmente reflectidos produz o mesmo effeito, como se a superficie reflectidora fosse por si mesma luminosa; por conseguinte propria para dar a imagem de todos os seus pontos. Logo a reflexão irregular, que existe á superficie dos corpos, é uma condição necessaria para a sua visibilidade.

A luz incidente sobre a superficie de um corpo divide-se em tres porções distinctas; uma é absorvida pelo corpo; a outra é reflectida regularmente, e a terceira é reflectida irregularmente. Nos corpos opacos não ha absorpção da luz, nos diaphanos não ha reflexão.



## Espelhos

§ 474. **Espelhos.** Dá-se o nome de *espelhos* a todos os corpos, cujas superficies são perfeitamente polidas; por conseguinte reflectem regularmente a luz, produzindo imagens dos objectos que se lhes apresentam.

Os espelhos, quanto á sua fórma, podem ser *planos* ou *curvos*. Os espelhos curvos podem ser *esphericos*, *parabolicos*, *ellipticos*, *conicos*, etc. segundo tiverem a fórma de uma esphera, parabola, ellipse, ou cone, geometricamente definida.

Os espelhos podem ser *metallicos* ou de *vidro*. Os espelhos metallicos apresentam uma só superficie de reflexão, não formam senão uma imagem. Os espelhos de vidro têm duas superficies de reflexão, uma a do vidro, e a outra, chamada o *aco dos espelhos*, é uma camada de amalgama de estanho, applicada posteriormente á lamina de vidro; dão origem a muitas imagens, que se podem observar facilmente olhando obliquamente n'um espelho de vidro a chamma de uma vela. Esta multiplicidade de imagens provém das reflexões successivas, que se fazem de uma a outra superficie atravez da espessura do vidro.

§ 475. **Imagens reaes e virtuaes.** Chama-se *imagem* de um objecto a representação real ou apparente d'este objecto pela acção dos raios luminosos. As imagens podem ser *reaes* e *virtuaes*. As imagens reaes são as que se formam pela convergencia dos raios luminosos depois da reflexão nos espelhos; podem ser recebidas n'um cartão e obrar chimicamente sobre certas substancias. Formam-se para o mesmo lado do objecto; estas imagens existem realmente na convergencia dos raios.

As imagens virtuaes são as que *tendem* a formar-se pela divergencia dos raios depois da reflexão nos espelhos; não se podem receber n'um cartão; formam-se para traz do espelho no ponto da convergencia do prolonga-

mento dos raios reflectidos. As imagens virtuaes não existem realmente, porque os raios luminosos não passam para traz do espelho; as imagens virtuaes são uma illusão optica. Taes são as imagens dadas pelos espelhos planos.

A illusão optica consiste em fazer ver os objectos em logares que realmente não occupam, augmentando ou diminuindo as suas dimensões. Como julgamos da situação dos objectos pela direcção dos raios que recebemos, segue-se que, se recebermos um raio luminoso reflectido, julgaremos a situação do objecto, que emette este raio, na direcção do raio reflectido, e por conseguinte em uma situação differente da que tem.

### Espelhos planos

§ 476. Formação das imagens nos espelhos planos. A determinação da posição e grandeza da imagem de um corpo, n'um espelho plano, reduz-se a determinar a imagem de cada um dos pontos d'este corpo. Primeiramente, determinemos a imagem de um ponto n'um espelho plano.

Seja MN um espelho plano; A, um ponto collocado defronte d'elle, cuja imagem se pretente determinar, fig. 112. Abaixese do ponto A sobre o espelho MN a perpendicular AD e prolongue-se esta indefinidamente; tire-se pelo ponto A um raio luminoso AR, que, incidindo sobre o espelho no ponto R, formará, reflectindo-se, um angulo de reflexão igual ao de incidencia; tire-se a normal RP e seja RO o raio reflectido; evidentemente será o angulo de incidencia ARP igual ao de reflexão PRO. Produza-se o raio reflectido RO até encontrar a perpendicular; é claro que a perpendicular e o raio reflectido encontrar-se-hão em um ponto A'; este ponto A' será a imagem do ponto A.

Os triangulos ADR e DRA' são iguaes, por terem um

lado  $RD$  commum, os angulos em  $D$  rectos e os angulos  $DRA$  e  $DRA'$  iguaes, por serem complementos dos angulos de incidencia e de reflexão; logo será  $AD$  igual a  $DA'$ : segue-se, pois, que qualquer raio que parte de um ponto luminoso  $A$ , incidindo sobre uma superficie plana, se reflecte n'uma direcção tal, que o seu prolongamento para traz do espelho vai encontrar a perpendicular  $AA'$  em um ponto  $A'$  symetrico com  $A$ . O que se diz a respeito do raio  $AR$  é para o raio  $AL$ , e para todo e qualquer raio que parta do ponto  $A$ . Logo todos os raios emittidos pelo ponto  $A$  e reflectidos pelo espelho seguem depois da sua reflexão a mesma direcção que se fossem emittidos pelo ponto  $A'$ . O observador vê o ponto  $A$  no lugar de  $A'$  como se ahí realmente estivesse.

Segue-se, pois, que a *imagem de um ponto, dada por um espelho plano, fica situada para traz do espelho, sobre o prolongamento da perpendicular abaixada d'este ponto sobre a superficie do espelho, e a uma distancia igual á do ponto ao espelho.*

Logo: para determinar a imagem de um ponto, que fica defronte de um espelho plano, basta abaixar uma perpendicular d'este ponto sobre o espelho, prolongal-a, e tomar sobre este prolongamento uma distancia igual áquella que vai do ponto ao espelho; a extremidade d'este prolongamento será a imagem do ponto.

§ 477. Para determinar a imagem de um objecto qualquer, que se acha defronte de um espelho, basta determinar as imagens de cada um dos pontos d'este objecto, segundo a construcção acima indicada, depois unil-os; a figura resultante será a imagem do objecto. Assim para construir a imagem do objecto  $AB$ , que está defronte do espelho  $MN$ , fig. 113, abaixem-se das extremidades do objecto sobre o espelho as perpendiculares  $AC$  e  $BD$ , prolonguem-se estas, e tomem-se sobre estes prolongamentos distancias  $CA' = CA$ , e  $DB' = DB$ ; evidentemente  $A'B'$  será a imagem exacta de  $AB$  em



grandeza e fórma. Logo nos espelhos planos a imagem do objecto que fica para traz do espelho é da mesma grandeza do objecto, symetrica e, além d'isto, virtual.

Do que fica exposto conclue-se: que um objecto em posição vertical em frente de um espelho, que faz com o horizonte um angulo de  $45^\circ$ , tem a sua imagem horizontal e reciprocamente.

§ 478. Formação das imagens nos espelhos planos paralelos. Um objecto collocado entre dois espelhos planos paralelos dá uma infinidade de imagens, que ficam situadas por detraz dos espelhos, e sobre uma mesma linha perpendicular as duas superficies reflectidoras.

Sejam  $M$  e  $M'$  os dois espelhos planos paralelos;  $l$  o objecto collocado entre elles fig. 114. É claro que este objecto dará por detraz de cada um d'estes espelhos,  $M$  e  $M'$ , duas imagens,  $a$  e  $b$ ; mas a imagem  $a$ , reflectindo-se sobre o espelho  $M'$ , dará uma imagem  $a'$  symetrica com  $a$ ; a imagem  $a'$ , reflectindo-se sobre o espelho  $M$ , dará uma outra imagem  $a''$  symetrica com  $a'$ ; a imagem  $a''$ , reflectindo-se sobre  $M'$ , dará uma outra imagem  $a'''$  symetrica com  $a''$ , e assim continuadamente. A imagem  $b$ , reflectindo-se sobre o espelho  $M$ , formará uma imagem  $b'$  symetrica com  $b$ ; a imagem  $b'$ , reflectindo-se sobre  $M'$ , dará uma nova imagem  $b''$  symetrica com  $b'$ , e assim successivamente. Vê-se, pois, uma serie indefinida de imagens de intensidade cada vez menor, ao passo que se afastam.

Este phenomeno da multiplicidade das imagens tem applicação, quando queremos augmentar apparentemente a extensão das salas e das galerias, e augmentar o esplendor das luzes.

§ 479. Formação das imagens nos espelhos inclinados. Um objecto, collocado entre dois espelhos inclinados, produz muitas imagens, mas não indefinidas como nos espelhos paralelos. O numero d'estas imagens é limitado, e varia segundo o angulo que estes espelhos fizerem entre si.

Supponhamos que os espelhos são perpendiculares entre si. Um objecto collocado entre estes espelhos dá tres imagens.

Sejam  $M$  e  $N$ , fig. 115, os dois espelhos perpendiculares entre si; seja  $a$  o objecto situado entre elles. Evidentemente, este objecto  $a$  dará uma imagem  $a'$  no espelho  $M$ , e outra  $a''$  no espelho  $N$ ; estas imagens são symetricas com o objecto  $a$ .

Imaginem-se prolongados estes espelhos, o  $M$  até  $M'$  e o  $N$  até  $N'$ ; a imagem  $a'$  dará no prolongamento do espelho  $N$ , que é  $N'$ , uma imagem  $a'''$ , symetrica com  $a'$ ; identicamente  $a''$  tambem dará no prolongamento de  $M$ , que é  $M'$ , uma outra imagem  $a''''$  symetrica com  $a''$ . Logo o objecto  $a$  dará tres imagens symetricas  $a'$ ,  $a''$  e  $a'''$ .

Se os espelhos fizessem entre si um angulo de  $72^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $45^\circ$ , teriamos quatro, cinco e sete imagens. O numero de imagens cresce ao passo que o angulo diminue.

§ 480. Kaleidoscopio. A construcção d'este instrumento funda-se sobre a propriedade, que tem os espelhos inclinados, de apresentar muitas imagens segundo o gráu da sua inclinação. Compõe-se de um tubo de cartão, no interior do qual, e proximo de uma das extremidades, estão collocados dois espelhos, inclinados um sobre o outro, formando um certo angulo. Ao extremo do tubo mais proximo dos espelhos estão adaptados dois discos de vidro, sendo o exterior despolido; entre estes discos estão diversos fragmentos de vidro corado, pequenos pedaços de renda, etc. Observando pelo outro extremo do tubo, vêem-se estes objectos e suas imagens symetricas dispostas segundo as posições em que se acham situados a respeito dos espelhos; o que produz diferentes vistas, e algumas vezes muito agradaveis e interessantes.

## Espelhos esphericos

§ 481. Espelhos esphericos. Chamam-se *espelhos esphericos* aquelles cuja curvatura é a de uma esphera; ou as superficies das calotes esphericas. Estes espelhos podem ser *concavos* ou *convexos*, segundo a reflexão dos raios luminosos se opera na face interna ou externa do espelho.

Chama-se *centro de curvatura* ou centro geometrico o centro da esphera de que o espelho faz parte; *centro de figura* o meio do espelho; *eixo principal* a recta que une os centros de figura e de curvatura; *eixo secundario* toda a recta que passa pelo centro de curvatura; *abertura de espelho* o angulo formado pelas rectas, tiradas do centro de curvatura aos extremos do espelho; *normal* a um ponto do espelho é a perpendicular ao plano tangente n'esse ponto, isto é, o raio da esphera que passa por este ponto.

Seja MN, fig. 116, o espelho espherico concavo; O é o seu *centro de curvatura*; C o *centro de figura*; COX é o *eixo principal*; AB um *eixo secundario*; o angulo MON é a *abertura* do espelho; OM é a *normal* no ponto M.

Os espelhos esphericos podem ser considerados como formados de espelhos planos infinitamente pequenos; por conseguinte a theoria da reflexão da luz nos espelhos esphericos reduz-se á da reflexão nos espelhos planos.

§ 482. Focos dos espelhos esphericos concavos. Chamam-se *focos* os pontos aonde concorrem os raios reflectidos ou os seus prolongamentos. Os focos podem ser *reaes* e *virtuaes*; os focos *reaes* são aquelles aonde concorrem os raios reflectidos; estes focos existem realmente na convergencia dos raios reflectidos; os focos *virtuaes* são aquelles onde concorrem os prolongamentos dos raios reflectidos; estes focos não existem realmente, porque os raios reflectidos, sendo divergentes, não podem con-



correr senão nos seus prolongamentos, que indicam a direcção dos raios luminosos; mas não a realidade dos raios.

Os focos reaes podem ser *principaes* e *conjugados*. Os focos principaes são os que têm uma posição fixa, situada no eixo principal a igual distancia do centro de figura e do de curvatura; os conjugados têm uma posição variavel, dependente da situação do objecto.

§ 483. **Determinação dos focos nos espelhos esphéricos concavos.** Nos espelhos esphéricos concavos distinguem-se tres especies de focos: *foco principal*, *foco conjugado* e *foco virtual*. A determinação d'estes focos é muito simples.

1.º *Foco principal.* O foco principal é o ponto aonde concorrem, depois da reflexão, todos os raios, incidentes sobre um espelho de pequena abertura e parallellos ao seu eixo principal. Este ponto é fixo e occupa o meio da distancia entre os dois centros de curvatura e de figura.

Na verdade seja MN, fig. 117, o espelho concavo; RD um raio luminoso, parallello ao eixo principal COX, incidente sobre o espelho no ponto D; OD a normal no ponto de incidencia, e DF o raio reflectido. Como os espelhos esphéricos são formados de espelhos planos infinitamente pequenos, o raio RD reflectir-se-ha segundo as leis de reflexão dos espelhos planos, e por consequente será o angulo de incidencia RDO igual ao de reflexão ODF. A intersecção F do raio reflectido DF com o eixo principal COX, será o *foco principal*. Este ponto F é o meio de CO, distancia dos centros de figura e de curvatura; porque, sendo iguaes os angulos RDO e ODF, e os angulos RDO e DOF, por serem alternos internos, segue-se que o angulo ODF será igual a DOF; logo o triangulo ODF será isosceles, e será OF igual a DF.

Como suppozemos que o arco CD é muito pequeno, a recta DF é quasi igual a FC, e esta, por consequente, igual a OF; logo F, foco principal, será o meio de CO.

Sendo o arco de  $8^\circ$  a  $10^\circ$ , todo o raio paralelo ao eixo principal, incidindo sobre o espelho concavo, vem, depois da reflexão, concorrer no ponto F, ou muito proximo d'elle.

Logo: *todos os raios paralelos ao eixo principal, incidentes sobre o espelho concavo, vêm, depois da reflexão, concorrer a um ponto F, situado ao meio da distancia do centro de figura e de curvatura.*

Este ponto é o *foco principal*; e a distancia FC é a *distancia focal*.

Reciprocamente, se o ponto luminoso estivesse no foco principal d'um espelho concavo, todos os raios emitidos por este ponto luminoso se reflectiriam parallelamente ao eixo principal.

2.<sup>o</sup> *Foco conjugado.* O foco conjugado é o ponto aonde concorrem, depois da reflexão, todos os raios incidentes sobre o espelho, não parallelos ao eixo principal. Este ponto é variavel, e fica situado entre o foco principal e o centro de curvatura.

Com effeito: seja MN, fig. 118, o espelho concavo; LK um raio luminoso, não paralelo ao eixo principal, emitido por um ponto luminoso situado no mesmo eixo principal, áquem do centro de curvatura O; OK a normal, e KL' o raio reflectido, que, segundo as leis da reflexão sobre os espelhos planos, formará o angulo de reflexão OKL', igual ao de incidencia OKL. A intersecção L' do raio reflectido com o eixo principal será o *foco conjugado*. Este ponto ficará entre o foco principal e o centro de curvatura; porque, sendo o angulo de reflexão OKL' menor que o angulo OKF, formado pela normal e pela recta FK, tirada do ponto de incidencia ao foco principal, evidentemente o ponto L' ficará entre F e O. Logo: o ponto L', foco conjugado, ficará situado entre o foco principal e o centro de curvatura. Todo o raio emitido pelo ponto L virá interceptar o eixo principal no ponto L', suppondo a abertura do espelho muito pequena. Este ponto é o foco conjugado do ponto luminoso L. Estes

dois pontos estão reciprocamente ligados um ao outro, de tal modo que, se o ponto luminoso estivesse em  $L'$ , o seu foco conjugado seria  $L$ .

Se o foco luminoso se aproximasse ou afastasse do centro de curvatura  $O$ ; o seu foco conjugado aproximar-se-ia ou se afastaria d'este, visto que os angulos de incidencia e de reflexão diminuem ou augmentam ao mesmo tempo.

Para conhecermos a relação das distancias do foco conjugado e do ponto luminoso,  $L'O$  e  $LO$ , ao centro da curvatura, qualquer que seja a posição do ponto luminoso sobre o eixo principal, basta lembrarmo-nos de que  $OK$  é bissectriz do angulo do vertice do triangulo  $LKL'$ , e por consequente temos  $LK : KL' :: LO : OL'$ .

Como  $LK$  é maior que  $KL'$ , será  $LO$  maior que  $OL'$ ; logo o foco conjugado  $L'$ , do ponto luminoso  $L$ , situado áquem do centro de curvatura, ficará mais proximo d'este centro, que o ponto luminoso.

Se o ponto luminoso estivesse no centro de curvatura, o seu foco conjugado coincidiria com este, porque os angulos de incidencia e de reflexão seriam nullos, e os raios incidentes reflectir-se-iam sobre si mesmos.

3.º *Focos virtuales.* O foco virtual é o ponto aonde concorrem os prolongamentos dos raios reflectidos. Este ponto é variavel, e fica situado para traz do espelho.

Seja  $MN$ , fig. 119, um espelho esphérico concavo;  $L$  o ponto luminoso, situado entre o foco principal e o centro de figura;  $LK$  o raio incidente,  $OK$  a normal e  $KE$  o raio reflectido. Segundo as leis da reflexão será o angulo de incidencia  $LKO$  igual ao de reflexão  $OKE$ ; mas o angulo  $LKO$  é maior que o angulo  $FKO$ , formado pela recta  $KF$  e pela normal  $OK$ ; logo o angulo  $OKE$  será maior que  $OKI$ ; formado pela normal e pela recta  $IK$  paralela ao eixo principal; logo o raio reflectido  $KE$  será divergente em relação ao eixo principal  $COX$ , e por consequente não poderá encontrar directamente este eixo para formar o foco conjugado; suppondo, porém, que o raio reflectido



se prolonga para traz do espelho, este prolongamento interceptará o eixo principal no ponto  $L'$  situado para traz do espelho. Este ponto é o *foco virtual*. O observador collocado em  $E$  vê o ponto luminoso, em  $L'$ , na direcção do raio reflectido, como se este raio partisse d'este ponto; effeito analogo áquelle que apresentam os espelhos planos. O foco virtual ficará tanto mais proximo do espelho, quanto mais proximo estiver o ponto luminoso do mesmo espelho.

Do que fica exposto conclue-se que o foco principal e o foco conjugado ficam situados para a mesma parte do objecto em relação ao espelho; emquanto que o foco virtual fica situado para a parte opposta do espelho.

§ 484. Até aqui temos supposto que o ponto luminoso está a uma distancia infinita, ou sobre o eixo principal, e então o seu foco fica situado sobre o mesmo eixo; se porém o ponto luminoso estiver fóra do eixo principal, o seu foco ficará situado sobre o eixo secundario, que passa por esse ponto luminoso; e segundo a distancia do ponto luminoso ao espelho, este foco será principal, conjugado ou virtual em relação ao eixo secundario que passa por este ponto. Devemos notar que todo o eixo secundario, como o eixo principal, representa um raio luminoso incidente, que se confunde com a normal e com o raio reflectido.

§ 485. Determinação graphica dos focos nos espelhos concavos. Conhecidos os centros de figura e curvatura de um espelho, pode-se com facilidade determinar o foco de um ponto luminoso qualquer, quer esteja no eixo principal, quer fóra d'elle.

*Foco principal.* Se o ponto luminoso está no eixo principal, o seu foco principal determina-se tomando o meio do raio da curvatura; se o ponto luminoso está no eixo secundario, o seu foco principal determina-se tomando o meio do raio da curvatura que coincide com este eixo.

*Foco conjugado.* Se o ponto luminoso estiver no eixo

principal e áquem do centro da curvatura, determina-se o seu foco conjugado, tirando um raio incidente qualquer  $LK$ , fig. 118, a anormal  $KO$ , e a recta  $KL'$  de modo que faça o angulo de reflexão  $OKL'$  igual ao de incidencia  $LKO$ ; o ponto  $L'$ , intersecção da recta  $KL'$ , raio reflectido, com o eixo principal, será o foco conjugado; se o ponto luminoso estivesse entre o foco principal e o centro de curvatura, o seu foco conjugado determinar-se-ia da mesma maneira.

Se o ponto luminoso  $L$  estiver fóra do eixo principal, fig. 120, a construcção mais facil, para determinar o seu foco conjugado é a seguinte. Tire-se o eixo secundario  $LOD$  e um raio incidente  $LI$  paralelo ao eixo principal  $COX$ : una-se o ponto de incidencia ao foco principal por meio de uma recta  $IF$ ; prolongue-se esta até encontrar o eixo secundario, a intersecção  $L'$ , d'esta recta com o eixo secundario será o foco conjugado. Tambem poderiamos obter o mesmo foco depois de tirarmos o eixo secundario, fazendo uma construcção analoga á que se fez, suppondo o ponto luminoso no eixo principal, visto que este eixo e o secundario representam um raio luminoso incidente, que se confunde com a normal e com o raio reflectido.

*Foco virtual.* Este foco determina-se identicamente pelas mesmas construcções que as do foco conjugado.

§ 486. **Construcção das imagens nos espelhos concavos.** Os espelhos concavos dão imagens *reaes* e *virtuaes*. A imagem de um objecto, collocado deante de um espelho concavo, obtem-se sem difficuldade, construindo, como temos exposto, os focos dos extremos d'este objecto.

1.º *Construcção das imagens reaes.* As imagens reaes nos espelhos concavos fórnam-se quando o objecto está áquem do centro de curvatura, ou entre este centro e o foco principal. Com effeito, seja  $AB$  o objecto situado aquem do centro de curvatura, cuja imagem se pretende

determinar, fig. 121. Determinem-se primeiramente os focos dos extremos d'este objecto; estes focos darão a posição das imagens d'estes pontos; para isso tirem-se dos pontos A e B os eixos secundarios AI e BE; tire-se do ponto A um raio incidente AK, paralelo ao eixo principal; este raio, passando pelo foco depois da reflexão, virá interceptar o eixo secundario AI em A', e formará n'este ponto a imagem do ponto A; identicamente o raio BG, paralelo ao eixo principal, passando pelo foco, depois da reflexão, virá interceptar o eixo secundario BE em B', e formará n'este ponto a imagem do ponto B; logo A'B' será a imagem de AB. Esta imagem será *real, invertida, ficará situada entre o foco principal e o centro de curvatura, e será mais pequena que o objecto*; e tanto mais pequena, quanto mais afastado estiver o objecto.

Reciprocamente; se o objecto estivesse em A'B' entre o foco principal e o centro de curvatura, a sua imagem formar-se-ia em AB. Esta imagem seria tambem *real, invertida e maior que o objecto, e tanto maior, quanto mais afastado estiver o objecto do centro de curvatura*.

Se o objecto estivesse no foco principal, então não haveria nem imagem real nem virtual. Os raios, emitidos pelo objecto, depois da reflexão, sahiriam parallellos. É de notar que as imagens reaes podem ser vistas de duas maneiras; ou recebendo-as sobre um cartão ou collocando-se o observador áquem da imagem na direcção dos raios reflectidos. N'este caso observa-se no espaço uma imagem que se designa sob o nome de *imagem aerea*.

2.<sup>o</sup> *Construcção das imagens virtuaes*. As imagens virtuaes, nos espelhos concavos, formam-se quando o objecto está collocado entre o *centro de figura e o foco principal*. Com effeito seja AB o objecto collocado entre o espelho MN e o foco principal F, fig. 122. Determinem-se primeiramente os focos dos extremos d'este objecto; estes focos darão a posição das imagens d'estes pontos; para isso tirem-se os eixos secundarios AI e BE; tire-se do



ponto A, um raio incidente AK; este raio, depois da reflexão, virá interceptar, para traz do espelho, o eixo secundario AI em A', e formará n'este ponto a imagem do ponto A; identicamente o raio incidente BG, depois da reflexão, virá interceptar, para traz do espelho, o eixo secundario BE no ponto B', e formará n'este ponto a imagem do ponto B: logo A'B' será a imagem de AB. Esta imagem será *virtual, direita, ficará situada para traz do espelho e será maior que o objecto.*

§ 487. **Focos dos espelhos esphericos convexos.** Nos espelhos esphericos convexos ha só focos virtuaes; um d'estes é o *foco virtual principal*, e os outros são *focos virtuaes conjugados*. Seja MN, fig. 123, o espelho convexo, LR, PG, raios parallellos ao eixo principal OCH. Estes raios, depois da reflexão, tomam direcções RK, GS divergentes, e prolongados, vão concorrer em um ponto F, que é o *foco virtual principal* do espelho. Este foco está situado ao meio do raio de curvatura OC; o que se pôde demonstrar pela consideração do triangulo isosceles RFO.

Se os raios partissem de uma distancia finita, de um ponto situado sobre o eixo principal, obteriamos um *foco virtual conjugado*, mas situado entre o *foco virtual principal* e o *centro de figura*.

§ 488. **Construcção das imagens nos espelhos convexos.** Os espelhos convexos dão imagens virtuaes. A imagem de um objecto collocado deante de um espelho convexo obtém-se construindo os focos dos extremos d'este objecto. Seja AB o objecto collocado deante do espelho a uma distancia qualquer, cuja imagem pretendemos determinar, fig. 124.

Tirem-se os eixos secundarios OAD e OBE dos pontos A e B; tirem-se d'estes mesmos pontos, os raios AK, BG parallellos ao eixo principal; estes raios virão passando pelo foco depois da reflexão interceptar os respectivos eixos secundarios em A' e B', e formarão n'estes pontos as imagens de A e B; logo A'B' será a imagem de AB.

Esta imagem será *virtual, direita e mais pequena que o objecto*.

§ 489. *Aberração de esphericidade*. Na theoria da formação das imagens e dos focos, nos espelhos esphericos, temos observado que os raios reflectidos vêm concorrer n'um unico ponto, na hypothese da abertura do espelho ser muito pequena. Quando porém esta exceder a  $12^\circ$ , os raios luminosos, que se reflectem perto dos bordos do espelho, vão encontrar o eixo principal mais perto do espelho, do que os que se reflectem das partes mais proximas do centro de figura; d'onde resulta uma formação de imagens confusas. A este effeito dá-se o nome de *aberração de esphericidade pela reflexão*, para distinguir da aberração de esphericidade pela refração.

§ 490. Formulas relativas aos espelhos esphericos. Por meio de formulas muito simples é facil determinar a relação que existe entre a posição relativa de um objecto e a da sua imagem, como tambem calcular a grandeza d'esta imagem, quando se conhece a distancia do objecto, sua grandeza e o raio do espelho.

Seja MN, fig. 118, o espelho concavo, COX o seu eixo principal, C o centro de figura, O o de curvatura, L a posição do objecto no eixo principal, L' o foco conjugado, LK o raio incidente, KL' o raio reflectido e KO a bissectriz do angulo do vertice do triangulo LKL'. Chamando  $R=CO$ ,  $p=LC$  e  $p'=L'C$ ; temos

$$LK : KL' :: LO : OL' \quad \text{ou} \quad LC : L'C :: LO : OL'$$

visto suppormos o arco CK muito pequeno, e por conseguinte  $LK=LC$  e  $KL'=L'C$ . Como  $LC=p$ ,  $L'C=p'$  e  $CO=R$ , será  $LO=p-R$ , e  $L'O=R-p'$ ; substituindo estes valores na segunda proporção, em virtude da sua propriedade fundamental, temos

$$p(R-p') = p'(p-R)$$

fazendo as convenientes operações, e reduzindo, vem

$$Rp + Rp' = 2pp'$$

ou / 
$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots (\alpha)$$

tirando o valor de  $p'$  acha-se

$$p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}} \dots\dots\dots (\beta)$$

formu'a que faz conhecer a distancia da imagem ao espelho, quando se conhece a distancia do objecto e o raio de curvatura.

§ 491. Discussão da fórmula dos espelhos concavos. Examinemos os diferentes valores que toma  $p'$  correspondentes a  $p$ .

1.º Supponhamos que o objecto está a uma distancia infinita do espelho concavo; então será  $p = \infty$ ; e será a fracção  $\frac{R}{p} = 0$ ; e por conseguinte teremos  $p' = \frac{1}{2} R$ ; quer dizer, que a imagem forma-se no foco principal, e assim devia ser, visto os raios incidentes serem parallellos ao eixo principal.

2.º Supponhamos que o objecto se approxima do espelho, mas que está aquem do centro de curvatura; então  $p$  decresee, mas é maior que  $R$ . N'esta hypothese o denominador de  $(\beta)$   $2 - \frac{R}{p}$  fica menor, por conseguinte o valor de  $p'$  augmenta; segue-se que a imagem se approxima do centro de curvatura, como o objecto. Mas esta imagem fica sempre entre o foco principal e o centro de curvatura; na verdade para  $p > R$ ; temos  $p' > \frac{1}{2} R$  e  $p' < R$ .

3.º Se o objecto estiver no centro de curvatura, então será  $p = R$ ; o que dará  $p' = R$ ; a imagem coincide com o objecto.

4.º Se o objecto estiver entre o foco principal e o centro de curvatura, será  $p > \frac{1}{2} R$  e  $< R$ ; e teremos  $p' > R$  o que mostra que a imagem fica situada para aquem do centro de curvatura.

5.º Quando o objecto estiver no foco principal, será  $p = \frac{1}{2} R$ ; o que dará  $p' = \infty$ ; a imagem estará no infinito; e na verdade os raios reflectidos serão parallellos.

6.º Se o objecto estiver entre o foco principal e o centro de figura, será  $p < \frac{1}{2} R$ ; o valor de  $p'$  será negativo; o que indica que a distancia da imagem ao espelho é em sentido contrario á do objecto; e com effeito a imagem é virtual.

A fórmula que deduzimos foi para os espelhos esphericos concavos. Com considerações analogas obteriamos a fórmula para os espelhos convexos; mas a mesma fórmula serve para estes espelhos comtanto que se mude  $p$  em  $-p$ , visto que nos espelhos convexos, a imagem e o centro de curvatura estão para o mesmo lado do



espelho, enquanto que o objecto fica para o lado opposto, por isso  $p$  é negativo.

A fórmula para os espelhos esphéricos convexos é

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots (\gamma)$$

e

$$p' = \frac{R}{2 + \frac{R}{p}} \dots\dots\dots (\delta)$$

§ 492. **Espelhos parabolicos.** Os espelhos parabolicos são os que têm a forma de um paraboloide polido na superficie concava; são gerados pela revolução de um arco de parabola AM, em redor do seu eixo AA'. A parabola tem a propriedade de que a normal a um ponto qualquer divide ao meio o angulo formado pela recta, tirada d'este ponto, parallela ao eixo da parabola e pelo raio vector; segue-se, portanto, que todos os raios incidentes, parallelos ao eixo, depois da reflexão, vão rigorosamente concorrer no foco F.

Reciprocamente, sendo collocado um objecto luminoso no foco, os raios incidentes no espelho saem, depois da reflexão, rigorosamente parallelos ao eixo da parabola; segue-se, pois, que a luz assim reflectida tende a conservar a mesma intensidade a grande distancia.

§ 493. **Espelhos cylindricos e conicos.** Estes espelhos, que têm as formas do cylindro e do cone, são polidos na parte convexa, dão imagens virtuaes e deformadas, que não se parecem com os objectos. N'estes espelhos as imagens conservam a mesma grandeza que o objecto no sentido das generatrizes d'estes espelhos, mas são menores no sentido transversal. Estes espelhos produzem *anamorphoses*.

§ 494. **Anamorphoses.** Denominam-se *anamorphoses* certos desenhos irregulares e confusos, pintados em um cartão, cujas imagens, vistas n'estes espelhos, representam figuras regulares e nitidas.

§ 495. **Aplicações dos espelhos.** Os espelhos

planos têm numerosas applicações; empregam-se nos usos domesticos; na ornamentação das salas e galerias para lhes augmentar apparentemente a extensão e o esplendor das luzes; empregam-se frequentemente em muitos apparatus de physica, para dar á luz uma direcção determinada; por conseguinte servem para se poderem ver os objectos em uma direcção differente d'aquella em que se acham. Os instrumentos *porta-luz* e *heliostato*, que se usam frequentemente em experiencias de optica, determinam claramente a mudança da direcção dos raios luminosos. Compõem-se de um espelho plano collocado de tal modo, que faz angulos iguaes com duas rectas incidentes n'um ponto, uma que representa a incidencia do raio luminoso, e a outra a reflexão ou direcção que deve ter. Se o raio incidente é variavel, como o raio do sol e a direcção constante, então o espelho tem dois movimentos, um em torno de um eixo parallello á sua superficie e outro em torno de um eixo perpendicular ao primeiro. No *heliostato* o espelho orienta-se por si mesmo á medida que o sol se move.

Os espelhos esphericos concavos têm variadissimas applicações; póde-se usar d'elles como espelhos ardentes; se expozermos um espelho d'esta especie ao sol e collocarmos no seu foco um corpo inflammavel, vê-se que este corpo se inflamma; estes espelhos servem para dar imagens maiores, collocando o objecto entre o foco principal e o espelho, como nos espelhos de barba; empregam-se em diversos instrumentos de physica, como nos telescopios; servem como reflectidores para levar a luz a grandes distancias, collocando a fonte luminosa no foco principal para obter um feixe de luz parallello; servem tambem para ver as imagens direitas dos objectos invertidos, e reciprocamente, para o que é necessario attender muito á sua collocação.

Os espelhos esphericos convexos tambem têm applicações, mas menos importantes que os concavos; servem

para desenhar paizagens e outros objectos de que elles dão uma imagem direita mas reduzida. Nos jardins, nas alamedas e nas salas empregam-se muitas vezes globos de vidro estanhado por dentro, ou negro, que dão a imagem do conjuncto dos objectos circumvizinhos em pequenas dimensões. Estes globos têm o nome de *periscopicos*.

Os espelhos parabolicos, posto que muito difficeis de construir, são melhores reflectores que os espelhos esphericos concavos; empregam-se frequentemente nas lanternas das carruagens, nas dos comboios dos caminhos de ferro. Estes espelhos eram antigamente muito empregados nos pharoes, mas apesar do seu grande alcance perdiam muita luz na reflexão, e deterioravam-se rapidamente, hoje usam-se de preferencia apparatus de refração.

Se collocarmos uma fonte luminosa no foco commum a dois espelhos parabolicos iguaes, cortados por um plano passando pelo foco e perpendicular ao eixo, unidos pelas suas intersecções, obteremos pela reflexão nos dois espelhos dois feixes parallellos em duas direcções oppostas; este systema pôde vantajosamente ser empregado na illumination.

Os espelhos cylindricos e conicos usam-se para produzir effeitos de caricatura.



## CAPITULO XXVI

## Refracção da luz; suas leis

## Prismas

§ 496. **Refracção.** Chama-se *refracção* o desvio que soffre um raio luminoso, quando passa obliquamente de um meio para outro; por ex.: do ar para a agua ou para o vidro, e vice-versa; dizemos obliquamente, porque, se o raio fosse perpendicular á superficie que separa os dois meios, não haveria desvio e o raio continuava a propagar-se em linha recta.

O raio luminoso, refractando-se, umas vezes aproxima-se da normal, outras vezes afasta-se.

Seja, fig. 125, AB a superficie da separação de dois meios transparentes, ar e agua; LR o raio incidente, PRP' a normal á superficie AB no ponto R; RD o raio refractado; LRP é o angulo de incidencia; e DRP' é o angulo de refracção. Vê-se que o raio refractado RD aproxima-se da normal RP'. Se a luz partisse do ponto D, n'este caso DR seria o raio incidente, e LR o raio refractado, que se afasta da normal RP.

O meio em que o raio refractado se aproxima ou se afasta da normal chama-se *mais* ou *menos refrangente* do que o meio em que o raio incidente se propaga, que se chama *menos* ou *mais refrangente*; assim a agua, meio em que fica situado o raio refractado RD, é mais refrangente que o ar, meio em que se propaga o raio incidente LR.

A luz, quando passa de um meio para outro, não penetra completamente n'esse meio; uma parte reflecte-se

à superfície de separação dos dois meios, e a outra penetra no segundo meio; d'onde se segue que *ha sempre uma* perda de luz, quando um raio luminoso atravessa um meio transparente. Frequentes vezes a refração é acompanhada de um phenomeno chamado *dispersão*, que consiste n'uma certa coloração que a luz toma.

§ 497. **Refração simples e dupla.** A refração *simples* é aquella em que o raio luminoso simples na incidencia fica ainda simples depois da refração; a refração *dupla* é quando o raio incidente, sendo simples, dá depois da refração origem a dois raios. Observa-se a refração simples nos meios não crystallisaveis, como ar, agua, vidro ordinario; a refração dupla observa-se em certos crystaes, como o sphato de Islandia, crystal da rocha, carbonato de cal; as substancias em que se dá a refração dupla chamam-se *birefrangentes*; algumas substancias tornam-se accidentalmente birefrangentes, quando se altera a sua estructura pela compressão. A refração dupla nunca se dá nos liquidos nem nós gazes.

Os objectos vistos através dos corpos birefrangentes parecem duplos.

§ 498. **Leis da refração simples.** As leis da refração simples são tres; a saber:

1.<sup>a</sup> LEI. Quando um raio luminoso passa de um meio menos refrangente para outro mais refrangente, quebra-se e aproxima-se da normal; reciprocamente, quando um raio luminoso passa de um meio mais refrangente para um meio menos refrangente, quebra-se e afasta-se da normal.

2.<sup>a</sup> LEI. O seno do angulo de incidencia e o seno do angulo de refração estão n'uma razão constante, para os mesmos meios e na mesma ordem.

3.<sup>a</sup> LEI. O raio incidente, o raio refractado e a normal estão no mesmo plano, perpendicular á superfície da separação dos meios.

Demonstram-se estas leis experimentalmente pelo seguinte apparatus. Seja ADB, fig. 126, um vaso semi-

circular cheio de agua até o centro C, ao qual está fixo um limbo vertical e graduado. Seja RC um raio incidente, situado no plano vertical do limbo; este raio, passando para a agua, toma a direcção CL, isto é, quebra-se e aproxima-se da normal FD, tirada no ponto da immergencia do raio; se não houvesse agua, o raio RC propagar-se-hia em linha recta; a agua pois, desviando-o d'esta direcção, fal-o approximar da normal. Medindo sobre o limbo o angulo de incidencia RCF e o angulo de refracção LCD, obtêm-se com facilidade os senos RS e LP; a relação

d'estes é sensivelmente igual a  $\frac{4}{3}$ ; isto é  $\frac{RS}{LP} = \frac{4}{3}$ .

Um outro raio R' C um pouco mais obliquo, dirigido como o primeiro, refractar-se-ha na agua, approximar-se-ha da normal e tomará a direcção CL'; medindo o angulo R'CF de incidencia, e o L'CD de refracção, acham-se os senos

R'S' e L'P', cuja relação é  $\frac{4}{3}$ ; isto é,  $\frac{R'S'}{L'P'} = \frac{4}{3}$ : logo temos

$$\frac{RS}{LP} = \frac{R'S'}{L'P'} = \text{constante.}$$

A disposição do apparelho e os principios de Geometria no espaço mostram que, estando os raios, incidente e refractado no plano do limbo e passando este pela normal, é perpendicular á superficie da separação dos meios.

§ 499. **Indice de refracção.** Chama-se *indice de refracção* a relação entre os senos do angulo de incidencia e o de refracção. Designando por  $n$  o indice de refracção e por  $i$  e  $r$  os angulos de incidencia e de refracção, teremos

$$n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}.$$



O indice de refração varia segundo os meios; é igual a  $\frac{4}{3}$ , quando a passagem da luz é do ar para a agua; é igual a  $\frac{3}{2}$  do ar para o vidro. Se considerarmos a propagação da luz em ordem inversa, o valor do indice tambem se inverte; será igual a  $\frac{3}{4}$  quando a passagem da luz for da agua para o ar, e igual a  $\frac{2}{3}$  do vidro para o ar.

§ 500. Diz-se que o indice de refração é *absoluto* quando a luz passa do vacuo para um meio transparente; *relativo* quando a luz passa de um meio para outro.

§ 501. Discussão. Para conhecermos a posição dos raios luminosos e a refrangibilidade dos meios, façamos as seguintes hypotheses na fórmula da refração simples,

$$n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}.$$

Supponhamos primeiramente  $n > 1$ ; será  $\text{sen } i > \text{sen } r$  e portanto  $i > r$ ; segue-se que o raio refractado aproxima-se da normal, e que o segundo meio é mais refrangente que o primeiro.

Suppondo  $n = 1$ , teremos  $\text{sen } i = \text{sen } r$ , e portanto  $i = r$ ; a luz não se refracta passando do primeiro meio para o segundo; estes meios são igualmente refrangíveis.

Seja  $n < 1$ ; será  $\text{sen } i < \text{sen } r$ , e portanto  $i < r$ ; a luz refractada desvia-se da normal, e o segundo meio é menos refrangente que o primeiro.

Para  $n = 0$ , teremos  $\text{sen } i = 0$  e por conseguinte  $i = 0$ , será  $r = 0$ ; logo o raio incidente e o raio refractado formaram uma linha recta parallelá á superficie que separa os dois meios.

§ 502. Passagem da luz nos meios de faces

parallelas. Quando um raio luminoso, atravessa um meio, o ponto por onde elle entra n'este meio, chama-se *ponto de immergencia*; e o ponto por onde sáe tem o nome de *ponto de emergencia*; os raios refractados na sahida chamam-se *raios emergentes*.

Quando a luz atravessa um meio de faces parallelas, os raios *emergentes* são parallelos aos *incidentes*, de modo que a luz não soffre desvio algum.

Seja XY, fig. 127, uma lamina de vidro de faces parallelas; SA um raio luminoso incidente, que, refractando-se na espessura da lamina, se approxima da normal e toma a direcção de AD; sahindo da lamina de vidro para o ar afasta-se da normal e toma a direcção de BD, parallela a SA. Designando por  $i$  o angulo de incidencia e por  $r$  o de refracção, na entrada do raio; e por  $i'$  e  $r'$  os mesmos, na sua sahida; teremos, para o indice de refracção em

A, do ar para o vidro,  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ ; para o de refracção em D,

do vidro para o ar,  $\frac{\text{sen } i'}{\text{sen } r'}$ ; como o primeiro indice é igual

ao segundo invertido, teremos  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\text{sen } r'}{\text{sen } i'}$ ; mas as

normaes em A e D sendo parallelas, os angulos  $r$  e  $i'$  são eguaes por serem alternos internos; logo serão eguaes os angulos  $i$  e  $r'$ , e a recta DB será parallela a SA. Este principio é conhecido pelo nome de *reciprocidade de raios luminosos*.

§ 503. **Angulo limite.** Chama-se *angulo limite* o angulo de incidencia no meio mais refrangente correspondente ao maior angulo de refracção no meio menos refrangente; sendo recto o maior angulo de refracção, segue-se que o angulo limite é o que corresponde ao angulo recto de refracção. Sabemos que quando um raio luminoso passa de um meio mais refrangente para outro menos refrangente, da agua para o ar, afasta-se da nor-

mal, e n'este caso o angulo de incidencia é menor que o de refracção; segue-se, pois, que, fazendo variar a posição do raio luminoso incidente, haverá para o angulo de incidencia um valor tal, que o valor correspondente do angulo de refracção será recto; isto é, que o raio refractado será paralelo á superficie da separação dos meios.

Seja, fig. 128, OL um raio luminoso, propagando-se na massa da agua ADB; este raio, refractando-se, toma a direcção de OB.

O valor do angulo de incidencia LOD é tal, que o angulo de refracção correspondente COB é recto. O angulo LOD é o *angulo limite*. Qualquer outro raio incidente L'O, fazendo um angulo maior que o angulo limite, não pôde refractar-se, e por conseguinte não pôde sahir do liquido; reflecte-se sobre a superficie da separação AB, tomando a direcção de OM, como se fosse sobre um espelho, fazendo um angulo de incidencia L'OD igual ao de reflexão DOM.

O valor do angulo limite determina-se pelo indice de refracção  $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ ; sendo  $i$  o maior dos dois angulos no meio menos refrangente; quando for  $i=90$ ; será  $\text{sen } r = \frac{1}{n}$ ;

o angulo limite é tanto maior, quanto menor for o indice de refracção.

§ 504. Reflexão total. Chama-se *reflexão total* a reflexão de um raio incidente na superficie de separação dos meios, sendo o angulo de incidencia maior que o angulo limite. Quando o raio luminoso KO, fig. 128, passa de um meio mais refrangente para um menos refrangente, e faz o angulo de incidencia maior que o angulo limite, não pôde refractar-se, e por conseguinte não pôde sahir do liquido; elle reflecte-se sobre a superficie de separação AB, como se reflectiria sobre um espelho; quer dizer, que toma na agua uma direcção OM, fa-



zendo o angulo de incidencia  $L'OD$  igual ao de reflexão  $DOM$ .

Na reflexão total os raios luminosos não perdem nada da sua intensidade; porisso póde ser utilizada para obter imagens mais brilhantes que as que dão os espelhos planos mais bem polidos.

§ 505. *Phenomenos devidos á refracção.* Os principaes effeitos da refracção são tres: a mudança apparente de posição e fórma dos corpos immersos em meios mais ou menos refrangentes que o ar; a elevação dos astros, e a miragem.

1.º *Mudança apparente de posição e de fórma dos corpos.* Quando observamos um corpo immerso em agua, vemos-o n'um logar muito differente do que elle occupa; vemos-o mais alto, isto é, mais proximo da superficie d'este meio.

Seja  $L$  um objecto immerso em agua, contida n'um vaso  $mn$ , fig. 129. Os raios luminosos  $LA$  e  $LB$ , que partem d'este objecto, passando do meio mais refrangente para o menos refrangente, da agua para o ar, afastam-se da normal, tomam as direcções de  $AC$  e  $CD$ , cujos prolongamentos vão concorrer sensivelmente em  $L'$ , ponto mais elevado que  $L$ , situado sobre a vertical  $LK$ . O observador, collocado na direcção dos raios refractados, vê o objecto  $L$  em  $L'$ , ponto mais elevado, e tanto mais quanto maior for a obliquidade dos raios. É, pelo mesmo effeito, que uma vara de páu, mergulhada obliquamente na agua, parece-nos quebrada no ponto da sua immergencia, porque a parte, immersa na agua, vemos-a mais elevada. Se collocarmos no fundo de um vaso, de paredes opacas, um objecto qualquer, por ex. uma moeda de prata, e formos afastando gradualmente o vaso até que a moeda não possa ser vista, e, ficando n'esta attitude, deitarmos pouco a pouco agua no vaso, a peça de moeda vem a ser visivel.

2.º *Elevação dos astros.* É pelo effeito da refracção atmospherica, que vemos os astros em um logar mais

elevado, acima do horizonte, do que na realidade occupam. Na verdade o raio luminoso que dimana do astro atravessa as camadas atmosphericas, cujo poder refrangente cresce progressivamente desde o limite superior até a terra; por conseguinte descreve uma curva, cuja concavidade fica voltada para a terra; como o observador vê os objectos na direcção do prolongamento do ultimo elemento da curva; segue-se que, em lugar de vermos os astros na sua posição real, vemos-os mais elevados acima do horizonte. O effeito da refracção atmospherica é nullo quando os astros estão no zenith; cresce com a obliquidade dos astros, é maximo quando estão no horizonte; é porisso que vemos muito tempo acima do horizonte os astros que estão abaixo d'elle; é por esta razão que no nosso paiz o dia prolonga-se 8,5 minutos; nas regiões polares a presença do sol acima do horizonte prolonga-se mais de um mez. É por effeito da refracção que o Sol e a Lua, nos parecem maiores e achatados, quando estão proximos do horizonte ou sobre elle.

Nos nossos climas a refracção atmospherica não eleva os astros senão um meio gráu.

3.<sup>o</sup> *Miragem.* A miragem é um phenomeno atmospherico, que nos faz ver na atmosphaera, ou por baixo da terra, a imagem invertida dos objectos n'ella situados, como se fossem reflectidos sobre um espelho plano, ou sobre um lençol de agua. A miragem é uma illusão optica, produz-se no ar sereno.

Observa-se frequentemente na Arabia, no Egypto e sobretudo nos vastos plainos arenosos fortemente aquecidos pelos raios solares. Foi o sabio Monge, que acompanhou Napoleão Bonaparte, na expedição do Egypto, o primeiro que deu uma theoria completa d'este curioso meteor, conhecido desde a mais alta antiguidade.

§ 506. *Theoria da miragem.* Quando a superficie da terra arenosa estiver fortemente aquecida, pela acção dos raios solares, as camadas do ar em contacto com a

terra dilatam-se e tornam-se menos densas; a densidade d'estas camadas cresce, a partir do solo, até uma certa altura; acima d'esta altura a densidade das camadas atmosphericas vai decrescendo segundo as leis physicas. Os raios luminosos que dimanam dos objectos pouco elevados e distantes, encontrando camadas de ar cada vez menos densas, afastam-se sempre da normal, descrevendo uma curva, cuja convexidade fica voltada para terra; o angulo de incidencia, fazendo-se cada vez maior n'estas continuadas refrações, chega ao angulo limite, além do qual não ha refração, mas sim reflexão total; então os raios reflectem-se sobre a ultima camada, soffrem uma nova serie de refrações e descrevem uma nova curva, cuja convexidade fica tambem voltada para a terra, como mostra a fig. 130. O observador que recebe os raios luminosos vê os objectos na direcção do ultimo elemento da curva; por isso a imagem dos objectos parece ficar para baixo da terra, invertida e symetrica, como se os raios partissem directamente d'esta imagem, na direcção do prolongamento do ultimo elemento da curva.

A miragem tambem se observa no mar, quando o ar está calmo e mais frio que a agua.

A miragem póde ser *invertida*, quando as imagens invertidas dos objectos ficam situadas superiormente aos mesmos objectos; como as imagens dos navios e das costas.

### Prismas

§ 507. **Prismas.** Em optica chama-se *prisma* a um meio transparente terminado por duas faces planas, formando um certo angulo; a intersecção d'estas duas faces é uma recta, que tem o nome de *aresta* do prisma; o angulo que estas faces fazem é um angulo diedro, tem o nome de angulo *refrangente*; toda a secção perpendicular á aresta chama-se secção principal.

Os prismas, que se empregam nas experiencias, são



prismas triangulares rectos, e a sua secção principal é um triangulo ABC fig. 131; nesta secção A é o vertice do prisma e a recta BC é a base.

§ 508. Passagem da luz atravez dos prismas. Os prismas, que se usam em optica, são de *crown-glass* e de *flint-glass*, vidros notaveis pela sua pureza e transparencia. É muito facil determinar a marcha da luz, através dos prismas, pelas leis da refração.

Supponhamos um ponto O, fig. 131, situado no plano da secção principal ABC, e OR o raio incidente: este raio, passando do ar para o vidro, do meio menos refrangente para o mais refrangente, deve approximar-se da normal PRN, tirada no ponto de incidencia, e tomará a direcção RL; este raio RL, passando do vidro para o ar, do meio mais refrangente para o menos refrangente, deve afastar-se da normal PLN', tirada no ponto de emergencia, e tomará a direcção de LK para a base do prisma; o observador, collocado nesta direcção, verá o ponto O em O', prolongamento de KL. D'onde se segue que os *objectos, vistos através dos prismas, parecem sempre mais elevados para o vertice do prisma; a imagem é virtual.*

*Angulo de desvio.* Chama-se *angulo de desvio*, ou simplesmente *desvio*, o angulo OIK formado pelos raios incidente e emergente. Este angulo determina o desvio que o prisma imprime á luz; augmenta com o indice de refração e com o angulo refrangente do prisma: varia com a incidencia dos raios, é *minimo* quando o angulo de incidencia for egual ao de emersão.

---

## CAPITULO XXVII

## Lentes

§ 509. **Lentes: suas diferentes especies.** Chamam-se *lentes*, em optica, os meios transparentes terminados por superficies curvas esphericas, ou por uma superficie espherica e uma plana, que têm a propriedade de convergir ou divergir os raios luminosos que as atravessam. São construidas, como os prismas, de *crown-glass* e *flint-glass*.

As lentes podem ser *convergentes* ou *divergentes*. As convergentes são as que têm maior grossura na parte media que nos bordos; as divergentes são as que têm maior espessura nos bordos que na parte media.

As lentes convergentes, segundo a sua fórma, podem ser *biconvexas*, A; *plano-convexas*, B; e *concavo-convexas*, menisco convergente, C, fig. 132.

As lentes divergentes podem ser, segundo a sua fórma, lentes *biconcavas* A'; *plano-concavas* B'; e *concavo-convexas* menisco divergentes, C', fig. 133.

Nas lentes, cujas superficies são esphericas, os centros das esferas a que pertencem as superficies das lentes são *centros de curvatura*; a recta que passa por elles é o *eixo principal*; nas lentes, que têm uma superficie plana, o eixo principal é perpendicular a esta superficie e passa pelo centro da superficie espherica.

Chama-se *centro optico* o ponto do eixo principal que tem a propriedade de que os raios, que atravessam a lente, passando por elle, não soffrem desvio. Chama-se *eixo se-*

*cundario* a recta que passa pelo centro optico, sem passar pelos centros de curvatura.

§ 510. Determinação do centro optico. Seja AB, fig. 134, uma lente biconvexa; C e C', os centros de curvatura das respectivas superficies; CC' o eixo principal da lente. Para determinar o centro optico tirem-se os dois raios de curvatura CR, C'R', parallellos entre si: unam-se as extremidades d'estes raios por uma recta RR'; a intersecção d'esta recta com o eixo principal é o *centro optico* da lente. Se tirarmos dous planos tangentes á lente um em R e outro em R', evidentemente estes planos serão parallellos; todo o raio que atravessar a lente segundo a direcção de RR' atravessa na realidade um meio de faces parallelas, por conseguinte sae sem desvio angular. Logo *todo o raio luminoso incidente que passa pelo centro optico de uma lente é parallello ao raio emergente*; isto é o angulo de incidencia é igual ao de emergencia.

Se a curvatura das faces for a mesma, então o centro optico O ficará a igual distancia das duas faces da lente, visto que os triangulos CRO e C'R'O são eguaes; se as curvaturas das faces forem deseguaes, então o centro optico dividirá o eixo principal, e por conseguinte a espessura da lente, em segmentos proporcionaes aos raios; visto que os mesmos triangulos são semelhantes.

§ 511. Focos nas lentes convergentes. Os focos nas lentes são pontos onde concorrem os raios refractados, ou os seus prolongamentos. Ha tres especies de focos; *foco principal*, *foco conjugado* e *foco virtual*.

1.º *Foco principal*. O foco principal de uma lente convergente é o ponto do eixo principal onde os raios, parallellos a este eixo, antes de penetrarem na lente, vão convergir depois de a terem atravessado.

Seja LR o raio parallello ao eixo principal CC' fig. 135. Este raio, passando pela lente, refracta-se no ponto R, de uma quantidade que indica o indice de refração  $n$ , aproxima-se da normal C'R e toma a direcção RK;



chegando ao ponto **K** sae, torna a refractar-se de uma quantidade indicada pelo indice de refração invertido

$\frac{1}{n}$ , afasta-se da normal **CK**, e vem encontrar o eixo

principal em **F**; nestas duas refrações o raio luminoso approxima-se, tanto na incidencia como na emergencia, do eixo principal. Todos os outros raios parallellos ao eixo principal refractam-se do mesmo modo, soffrem os mesmos desvios e vêm sensivelmente convergir no ponto **F**. Este ponto é o *foco principal*. A distancia **FB** é a *distancia focal*. Esta distancia varia com os raios de curvatura das faces da lente, e com o poder refrangente da substancia de que a lente é formada; é tanto menor, quanto menores forem os raios de curvatura e maior o poder refrangente.

Reciprocamente, se o ponto luminoso estivesse no foco principal, todos os raios dimanados d'este ponto, atravessando a lente, sahirão parallellos ao eixo principal. Evidentemente, a intensidade d'estes raios não decresceria senão muito lentamente pela fraca absorpção, pelo ar. Um foco luminoso de pequena dimensão era sufficiente para illuminar uma grande distancia.

2.º *Foco conjugado*. Nas lentes convergentes o foco conjugado forma-se quando o raio luminoso é dimanado d'um objecto existente no eixo principal para além do foco principal; este raio divergente, atravessando a lente, vai encontrar o eixo principal do outro lado da lente, em um ponto muito afastado do outro foco principal.

Seja **L** o ponto luminoso situado no eixo principal da lente, além do foco principal **F** fig. 136; seja **LR** o raio luminoso incidente que parte de **L**. Se compararmos a marcha do raio incidente **LR** com a do raio parallello **OR**; observa-se que o angulo da incidencia **LRP**, feito pelo raio **LR** e pela normal **RP**, é maior que o angulo **ORP** feito pelo raio parallello e pela mesma normal; segue-se pois

que o angulo de refracção  $KRC$  do raio divergente será maior que o angulo de refracção do raio paralelo; logo o raio  $LR$ , depois de ter atravessado a lente, irá encontrar o eixo principal em um ponto  $L'$ , muito afastado do foco principal  $F'$ . Este ponto  $L'$  é o *foco conjugado* do ponto  $L$ , visto que todos os raios dimanados d'este ponto, refractando-se do mesmo modo, devem vir convergir em  $L'$ . Reciprocamente, se o ponto luminoso estivesse em  $L'$ , o seu foco conjugado seria em  $L$ .

Á medida que o objecto  $L$  se aproxima da lente, a divergencia dos raios incidentes e dos emergentes augmenta, e o foco conjugado afasta-se; se  $L$  coincidissem com o foco principal, os raios emergentes seriam parallellos ao eixo principal, e por conseguinte não haveria foco.

*Foco virtual.* Nas lentes convergentes o foco virtual fórma-se quando o ponto luminoso fica situado entre o foco principal e a lente.

Seja  $L$  o ponto luminoso, fig. 137, situado entre o foco principal e a lente;  $LR$  o raio incidente; sendo o angulo de incidencia  $LRP$  formado por este raio e pela normal  $CP$ , maior que o angulo de incidencia  $FRP$ , formado pelo raio  $FR$ , que parte do foco principal, com a mesma normal, segue-se que o angulo de refracção do raio  $LR$  será maior que o angulo de refracção do raio  $FR$ ; e como este raio  $FR$  sae da lente parallello ao eixo principal, o raio  $LR$  tomará uma direcção divergente  $KM$ , e por conseguinte não póde dar foco real, porque não encontra o eixo principal; mas, se prolongarmos  $KM$ , o seu prolongamento virá encontrar o eixo em  $L'$ , para o mesmo lado do ponto luminoso. Este ponto  $L'$  é o *foco virtual* do ponto  $L$ . Quanto mais se aproximar  $L$  da lente, tanto mais  $L'$  se aproximará tambem.

§ 512. Determinação experimental dos focos nas lentes biconvexas. O foco principal n'estas lentes determina-se recebendo sobre a lente um fasciculo solar parallello ao eixo principal; collocando depois pelo outro

lado da lente um cartão, procura-se por tentativas o ponto aonde este fasciculo vai concentrar; este ponto é o foco principal. Para obter o foco conjugado de um ponto situado sobre o eixo principal, colloca-se n'este ponto uma vela accessa; do outro lado da lente um cartão; procura-se depois o ponto aonde os raios luminosos vão concorrer. Este ponto será o foco conjugado.

§ 513. **Construcção das imagens nas lentes convergentes.** N'estas lentes ha imagens *reaes* e *virtuaes*. Construem-se estas imagens quasi identicamente como as imagens nos espelhos concavos. Para determinar a imagem de um objecto n'uma lente biconvexa, basta determinar as imagens dos pontos extremos d'este objecto. Todo o ponto situado no eixo principal tem a sua imagem n'este eixo; todo o ponto que fica fóra do eixo principal, tem a sua imagem situada no eixo secundario, que passa por este ponto.

Para determinar a imagem no eixo secundario de um ponto, que fica fóra do eixo principal, tire-se d'este ponto um raio paralelo ao eixo principal; una-se o ponto de emergencia d'este raio ao foco principal, e produza-se esta recta até encontrar o eixo secundario; a intersecção d'esta recta com este eixo será a imagem do ponto.

1.º *Imagens reaes.* Formam-se estas imagens, quando o objecto estiver collocado *além do foco principal da lente.*

Seja  $ACB$  o objecto situado além do foco  $F$  da lente  $MN$ , cuja imagem se pretende determinar fig. 138. Como o ponto  $C$  está no eixo principal, a sua imagem ficará no foco conjugado  $C'$ . Tirando os eixos secundarios  $AA'$  e  $BB'$  dos extremos  $A$  e  $B$  do objecto; a imagem do ponto  $A$  ficará no seu foco conjugado  $A'$  e a do ponto  $B$  em  $B'$ ; todos os pontos do objecto, comprehendidos entre  $A$  e  $B$ , terão as suas imagens comprehendidas entre  $A'$  e  $B'$ ; logo  $A'C'B'$  será a imagem do objecto  $ACB$ ; esta imagem será *real* e *invertida*.



2.º *Imagens virtuaes.* Formam-se estas imagens, quando o objecto estiver entre o foco principal e a lente.

Seja  $ACB$  o objecto situado entre o foco  $F$  e a lente  $MM$ , fig. 139. O ponto  $C$  situado entre o foco e a lente não tem o foco real, como vimos; mas tem o foco virtual em  $C'$ , onde formará a sua imagem. Tirando os eixos secundarios  $A'Ax$  e  $BBy$  dos extremos  $A$  e  $B$  do objecto; estes extremos não têm focos reaes, mas sim focos virtuaes; o foco de  $A$  é em  $A'$  e o de  $B$  em  $B'$ ; porque os raios emittidos por estes dous pontos  $A$  e  $B$ , sahindo da lente na direcção dos raios divergentes em relação aos seus eixos, não podem encontrar estes eixos, e por consequente não podem formar focos reaes; mas os prolongamentos d'estes raios divergentes interceptaram do mesmo lado do objecto os eixos em  $A'$  e  $B'$ , onde darão focos virtuaes, isto é, as imagens dos pontos  $A$  e  $B$ ; de sorte que  $A'C'B'$  será a imagem do objecto  $ACB$ ; esta imagem será *virtual, directa e maior* que o objecto.

§ 514. *Focos nas lentes divergentes.* As lentes divergentes dão só focos virtuaes. Estudaremos só as lentes divergentes biconcavas.

Seja  $MN$  a lente biconcava, fig. 140;  $CC'$  o seu eixo principal;  $O$  o seu centro optico. Seja  $LR$  um raio luminoso paralelo ao eixo principal; este raio, atravessando a lente, passando do ar para o vidro, refracta-se, aproxima-se da normal  $CR$ , e toma a direcção divergente  $RR$ ; sahindo da lente, torna a refractar-se no ponto da emergencia  $K$ , afasta-se da normal  $KC'$  e toma a direcção  $KD$ , cuja divergencia em relação ao eixo principal é cada vez maior. Este raio não póde encontrar directamente o eixo principal para dar um foco real; mas o seu prolongamento encontrará o eixo no ponto  $F$ , que será o foco virtual principal. Todos os raios paralelos ao eixo principal, refractando-se do mesmo modo, virão convergir sensivelmente no mesmo ponto  $F$ . Logo este ponto  $F$  é o *foco virtual principal* da lente.

Se os raios luminosos partissem de um ponto situado no eixo principal n'uma distancia finita, os raios divergentes formariam um foco virtual, que ficaria entre o foco principal e a lente.

§ 515. **Formação das imagens nas lentes divergentes.** As lentes divergentes dão só imagens virtuaes, qualquer que seja a posição do objecto.

Seja MN a lente biconcava fig. 141, AB um objecto collocado deante da lente, cuja imagem se pretende determinar.

Tirem-se dos extremos A e B os eixos secundarios AOX, BOY; os raios taes como AL, BR, dimanados dos pontos A e B, depois de atravessarem a lente, desviam-se dos seus respectivos eixos; o observador, recebendo estes raios, verá a imagem de A em A', e a de B em B', pontos de intersecção dos prolongamentos dos raios KI e DH com os eixos. A'B' será pois a imagem do objecto AB: esta imagem será virtual direita e mais pequena que o objecto, e tanto mais pequena, quanto mais o objecto estiver mais afastado.

§ 516. **Relação entre a situação da imagem e a do objecto.** Para conhecermos a relação da situação entre a imagem e o objecto, deduzamos a formula das lentes. Seja AB o objecto defronte d'uma lente biconvexa de pequena abertura; ab a sua imagem; sejam  $d$  e  $d'$  as distancias do objecto e da imagem á lente fig. 142.

Seja AE o raio luminoso paralelo ao eixo principal, e supponhamos que os pontos de immergencia e emergencia se confundem em E, vista a pequena espessura da lente. Os triangulos AEA e OFa são semelhantes por serem equiângulos, por isso temos:

$$Aa : AE :: Oa : OF.$$

Como AE é egual proximamente a  $AO = d$  e  $Oa = d'$ ; chamando R o raio de curvatura

temos 
$$d + d' : d :: d' : R$$

ou

$$d' = \frac{R}{1 - \frac{d}{R}}$$

*Discussão da formula.* Procuremos os diferentes valores de  $d'$  correspondentes aos de  $d$ .

1.º Supponhamos que o objecto está a uma distancia infinita; será então  $d = \infty$ ; o valor de  $d'$  será,  $d' = R$ ; isto é que a imagem forma-se no centro da curvatura ou no foco principal.

2.º Supponhamos que o objecto está a uma distancia finita, mas além do centro de curvatura, e se aproxima da lente, isto é,  $d$  diminue,  $\frac{R}{d}$  augmenta,  $1 - \frac{R}{d}$  diminue, por conseguinte  $d'$  augmenta; por tanto, quando o objecto se aproxima da lente, a imagem afasta-se, e reciprocamente.

Quando for  $d = 2R$ , teremos  $d' = 2R$ : quando o objecto estiver a uma distancia da lente igual ao dobro do raio de curvatura, a imagem fica do outro lado á mesma distancia.

3.º Se o objecto estiver no centro da curvatura, será  $d = R$ ; por tanto virá  $d' = \infty$ ; n'este caso a imagem forma-se a uma distancia infinita; isto é, não ha imagem.

4.º Se o objecto estiver entre a lente e o foco principal, será  $d > R$ ; n'este caso será  $\frac{R}{d} > 1$ ; por tanto teremos para  $d'$  um valor negativo: a imagem forma-se pois do mesmo lado da lente; por tanto é virtual.

Para as lentes divergentes a formula seria a mesma mudando n'ella  $d$  em  $-d$ .

§ 517. Grandeza das imagens. A grandeza da imagem comparada com o objecto é dada pela relação

$\frac{d}{d'}$ . Com effeito, os triangulos AOB e A'OB', fig. 138

são semelhantes, por tanto temos  $AB:A'B'::OC:OC'$ ; mas como é  $OC = d$ , e  $OC' = d'$ ; vem  $AB:A'B'::d:d'$ .

Quando o objecto estiver a uma distancia dupla da distancia focal, a grandeza da imagem será igual á do objecto, e ficará do outro lado da lente a uma distancia igual.

Se o objecto estiver a uma distancia menor que o dobro da distancia focal principal, a imagem será maior que o objecto.

§ 518. Aberração da esphericidade. Quando a abertura da lente não for pequena, se exceder a  $12^\circ$ , os raios que passam pelos pontos mais proximos dos bordos



da lente, concorrem em um ponto mais perto da lente que os que passam pelos pontos mais vizinhos do centro optico, se a lente for convergente; o contrario tem logar se a lente for divergente; donde resultam muitos focos com imagens pouco nitidas, isto é, uma certa confusão nas imagens; chama-se a este phenomeno *aberração da esphericidade pela refração*: phenomeno analogo áquelle que se observa nos espelhos sob o nome de *aberração da esphericidade pela reflexão*.

---

## CAPITULO XXVIII

## Dispersão da luz. Achromatismo

§ 519. Dispersão da luz. Chama-se *dispersão da luz* a separação das côres da luz branca do sol, proveniente da sua decomposição. A luz solar, luz natural, é formada de raios de luz de diferentes côres com diversos indices de refração. Entre estes raios diversamente corados distinguem-se sete côres principaes; a saber: a *rubra*, a *alaranjada*, a *amarella*, a *verde*, a *azul*, a *indigo* e a *róxa*.

§ 520. Decomposição da luz. A luz decompõe-se. Se recebermos por uma pequena abertura circular O, practicada na parede de uma camara escura, um fasciculo da luz solar S, n'uma direcção qualquer, fig. 143, este fasciculo formará sobre um cartão E, collocado a uma certa distancia, uma imagem D do sol, que será redonda e branca; mas, se collocarmos sobre o trajecto do fasciculo luminoso, a uma certa distancia da abertura, um prisma ABC; observa-se que a luz se refracta, desvia-se para a base do prisma e fórma sobre o cartão uma imagem IK alongada no sentido vertical, com côres perfeitamente simillantes ás côres do arco-iris. Estas côres, provenientes pela refração da luz branca, que dão a imagem corada do sol, têm o nome de *espectro solar*.

O espectro solar compõe-se de uma infinidade de côres, mas distinguem-se n'elle facilmente as *sete côres principaes*, que são, segundo a ordem ascendente da sua refrangibilidade, partindo de cima para baixo; *rubra*, *ala-*

*ranjada, amarella, verde, azul, anilada e roxa.* Estas côres não occupam espaços eguaes do espectro; a rôxa é a mais extensa, e a alaranjada é a menos extensa.

Se o prisma fosse collocado em sentido inverso, isto é, com o vertice para baixo, o espectro, em vez de se dirigir para baixo, elevar-se-hia e a ordem das côres ficaria invertida. O comprimento total do espectro depende do angulo refrangente do prisma e da natureza da sua substancia.

§ 521 **Côres do espectro solar.** As sete côres do espectro solar, chamadas elementares, são *simples*; os raios diversamente corados do espectro solar são *desigualmente refrangiveis*. Se fizermos passar cada uma das côres do espectro solar por um segundo prisma, observa-se que ha refração, mas não ha decomposição ou dispersão; cada côr fica identicamente a mesma, o que prova que as côres são simples.

A desigual refrangibilidade dos raios diversamente corados do espectro solar, torna-se bem clara pela fórma alongada do mesmo espectro; se todos os raios, que formam o espectro, tivessem a mesma refrangibilidade, não poderiam, sahindo do prisma, separar-se para apparecerem com as suas respectivas côres; a luz ficaria branca como se atravessasse um meio de superficies parallelas. A decomposição da luz branca, atravez do prisma, é devida á desigual refrangibilidade dos raios corados; o rubro é menos refrangivel, o roxo é mais refrangivel; póde demonstrar-se este facto do seguinte modo: collem-se duas tiras de papel, uma roxa e a outra encarnada, uma ao lado da outra, sobre um cartão preto; olhe-se para ellas atravez de um prisma; observa-se que a imagem da roxa desvia mais que a da encarnada.

§ 522. **Causa da decomposição da luz.** As diversas côres do espectro correspondem ás ondas etheras de diversos cumprimentos, e por tanto aos diversos numeros de vibrações.



Estas ondas ethereas, tendo de tornear as moleculas do prisma atravez do qual passam, experimentam uma demora na sua propagação, tanto menor quanto mais compridas forem, d'onde resulta a sua separação; o que constitue o phenomeno da dispersão da luz.

§ 523. *Recomposição da luz.* A recomposição da luz branca, decomposta por um prisma, póde operar-se de muitos modos.

1.º Recebendo o espectro solar, formado por um prisma, sobre outro prisma, da mesma substancia e de egual angulo refrangente, e collocado em sentido inverso, fig. 144. Este segundo prisma conduz ao parallelismo os raios separados pelo primeiro, de modo que o fasciculo emergente  $S'$  é analogo ao immergente  $S$ .

2.º Recebendo o espectro solar sobre uma lente biconvexa; no foco se forma uma imagem branca do sol; evidentemente os raios corados, convergindo, vão reunir-se no foco onde produzem luz branca, fig. 145.

3.º Recebendo o espectro sobre um espelho concavo, os raios corados, pela reflexão, vão reunir-se no foco onde dão uma luz branca, que se vê collocando alli um alvo de vidro despolido.

4.º Por meio do *disco de Newton*. É um disco de cartão de 30 centimetros de diametro, movel ao redor de um eixo horizontal. No centro, e na circumferencia d'este disco estão duas zonas negras; no intervallo das quaes estão colladas pequenas tiras de papel, representando successivamente todas as côres do espectro segundo a ordem natural da sua formação e com a extensão relativa. Fazendo gyrrar rapidamente este disco, parece-nos que é branco, porque todas as tiras coradas simultaneamente se pintam na retina, e por isso o disco parece-nos branco, fig. 146.

§ 524. *Theoria de Newton relativa ás côres.*  
*Côres complementares.* Newton foi o primeiro que decompoz e recompoz a luz branca; concluiu pelas experiencias, que

acima expozemos, que a luz branca não era homogênea, mas formada de sete luzes simples, desigualmente refrangíveis. Segundo Newton, os corpos também decompõem a luz pela reflexão; por conseguinte, a cor dos corpos provém do seu poder reflectidor para diferentes cores simples. Os corpos que reflectem todas as cores, segundo as proporções naturaes que existem no espectro, são *brancos*; os que não reflectem nenhuma ou absorvem todas as cores, são *negros*; um corpo será rubro, verde ou azul segundo reflectir uma grande porção de raios rubros, verdes ou azues; segue-se pois que os corpos não são corados por si mesmos; a cor dos corpos depende da especie de raios que elles reflectem. Se collocarmos um mesmo corpo n'uma camara escura, que se illumina successivamente com cada um dos raios de espectro, este corpo será rubro, amarello, verde e roxo conforme os raios reflectirem na camara; este corpo não terá cor propria; a cor dos corpos varia com a natureza da luz.

*Côres complementares.* Chamam-se *côres complementares* as duas cores que misturadas formam a cor *branca*: qualquer cor tem a sua complementar, porque, sendo a cor branca uma mistura de todas as cores, aquella que não for branca falta-lhe alguma das cores do espectro para formar a cor branca. São complementares as cores, verde e rubro; alaranjado e azul; amarello e roxo.

§ 525. *Composição do espectro. Força luminosa, calorifica e chimica das diversas partes do espectro.* O espectro solar compõe-se de tres partes com propriedades distinctas; parte *luminosa*, parte *colorifica* e parte *chimica*; estas partes têm differente intensidade em differentes pontos.

1.<sup>a</sup> A parte luminosa, ou *raios luminosos*, são os que actuam sobre a retina; constituem o espectro propriamente dicto, e dão successivamente as sete cores simples; a intensidade luminosa é maxima no amarello e no alaranjado, e quasi nulla no roxo e no vermelho.

2.<sup>a</sup> A parte calorifica, ou *raios calorificos*, são impróprios para visão; a intensidade colorifica cresce desde o roxo até ao encarnado e ainda além d'esta extremidade do espectro, adquire um maximo na parte escura, até uma extensão igual ao comprimento do espectro; ha pois um *espectro calorifico*, que se sobrepõe em parte ao luminoso, e as irradiações calorificas são obscuras e menos refrangiveis que os menos refrangiveis raios luminosos, o que se pôde experimentar com o prisma de sal-gemma e uma pilha thermo-electrica.

3.<sup>a</sup> A parte chimica, ou os *raios chimicos*, são impróprios para a visão, com fraco poder calorifico, mas dotados de grande energia chimica; a intensidade chimica é a maxima na côr roxa e na parte escura do espectro além d'esta côr; é quasi nulla no amarello, no alaranjado e no verde.

A acção chimica da luz é muito complexa; umas vezes produz combinações, taes como entre o hydrogenio e o chloro, entre o oxigenio e as materias organicas; outras vezes decomposições, como se observa no protochlorureto de mercurio, no chlorureto de prata, que se ennegrecem; o phosphoro diaphano vem a ser opaco; os principios colorantes de origem vegetal destroem-se pela acção chimica da luz.

§ 526. **Riscas do espectro.** O espectro solar, visto com os instrumentos amplificantes, apresenta, além das sete côres simples, um grande numero de riscas negras, chamadas *riscas do espectro*, muito finas, desegualmente distanciadas umas das outras, e perpendiculares ao comprimento do espectro, que interrompem a continuidade das côres. As mais apparentes d'estas riscas são chamadas *riscas de Fraunhofer*, nome do physico que primeiro as assignalou. Estas riscas formam oito grupos principaes, que se designam pelas oito primeiras letras do alphabeto: A no limite do rubro, B no meio, C no limite do rubro e alaranjado, D no amarello, E no verde, F no azul, G no



indigo, H no roxo; além d'estas ha outras, *a* no rubro e *b* no verde, fig. 147.

As riscas do espectro têm posições fixas e brilho constante; o que pôde servir para medir com precisão o grau de indice de cada côr. Nos espectros das luzes artificiaes e nos da luz das estrellas a posição das riscas é relativamente variavel; no da luz electrica as riscas negras são substituidas pelas riscas brilhantes; no das chamas coradas ou n'aquellas em que se vaporizam certas substancias as riscas tomam brilhos muito variaveis.

§ 527. Espectro de diversas ordens. Os espectros segundo a procedencia da luz podem dividir-se em tres ordens; em *continuos*, *descontínuos com riscas brilhantes*, e *descontínuos com riscas escuras*.

1.º Os espectros *continuos* são os que não apresentam intervallos escuros; são muito brilhantes e produzidos pela luz emittida pelos solidos ou liquidos incandescentes; como a de uma bola de platina incandescente, a do magnésio em ignição e a do ferro em fusão.

2.º Os espectros *descontínuos com riscas brilhantes* são aquelles cujas riscas têm uma côr mais ou menos brilhante, mas separados por intervallos escuros; são os espectros da luz de gaz ou vapôres incandescentes, em que se vaporizam substancias metallicas; a composição d'estas riscas varia com a natureza do metal, e é característica para cada metal.

3.º Os espectros *descontínuos com riscas escuras* são como os do espectro solar; as riscas escuras não provêm da fonte da propria luz, mas dos vapores, atravez dos quaes passa o fasciculo luminoso que dá o espectro, os quaes destroem a côr das vibrações determinadas; as riscas que um vapor faz nascer correspondem exactamente em posição e em numero ás riscas brilhantes que daria o mesmo vapor, se fosse incandescente.

§ 528. Analyse espectral. Chama-se *analyse espectral* a analyse que tem por fim reconhecer na chamma a

presença de corpos, em doses infinitamente pequenas, por meio das riscas características que apresenta o seu espectro; é uma analyse chimica qualitativa de uma sensibilidade e precisão admiraveis. O instrumento com que se fazem estas analyses chama-se *espectroscopio*, que consta de um prisma, onde se decompõe a luz, e de varias lentes por onde se observam os espectros e se mede a distancia relativa das riscas.

Se introduzirmos na chamma de hydrogenio ou na do gaz de illuminação, alimentada pelo oxigenio, um fio de platina, previamente tractado n'uma dissolução salina, vêem-se logo apparecer no seu espectro riscas brilhantes características do metal com a parte do sal introduzido na chamma. Assim a presença do sodio revela-se no espectro pela dupla risca amarella muito brilhante, que occupa o lugar de D das riscas de Fraünhofer no espectro solar; esta mesma risca observa-se em todas as combustões com os saes de soda, logo a risca D caracteriza o *sodio*; o potassio revela-se por uma risca rubra correspondente á A do espectro solar; o calcio por uma risca verde-clara e outras mais fracas no amarello e alaranjado.

Pela analyse espectral MM. Kirchhoff e Bunsen descobriram cæsio e rubio caracterisados, o primeiro pelas duas riscas azues e o segundo pelas duas riscas rubras, muito brilhantes, e duas roxas. MM. Lamy e Richer descobriram thalio e indio pelas riscas verdes e indigos.

A analyse espectral descobre tambem em parte os elementos que constituem a luz dos corpos celestes. Se compararmos as riscas brilhantes e coradas dos espectros produzidos pelos vapores incandescentes com as riscas escuras do espectro solar, veremos que, para diversos corpos, as riscas brilhantes que caracterisam cada um d'elles, occupam exactamente o lugar de certas riscas escuras do espectro solar.

Se collocarmos entre um corpo solido em ignição, cujo espectro é de riscas brilhantes, e o espectroscopio a

chamma de um vapor incandescente, de modo que a luz procedente do corpo solido atravessasse a chamma, antes de penetrar no instrumento, observa-se que o espectro apresenta riscas escuras, que correspondem exactamente ás riscas brilhantes que daria a luz do corpo solido se obrasse só. Este facto mostra claramente que o vapor incandescente, que emite raios de certa côr, absorve as irradiações da mesma côr ou da mesma refrangibilidade procedentes de uma outra fonte; as irradiações absorvidas são pois substituidas no espectro pelas riscas escuras. Este phenomeno designa-se pelo nome de *substituição das riscas*.

§ 529. *Composição solar*. O meio mais simples e facil de conhecer a composição solar é pelo phenomeno de *substituição das riscas*.

Se o sol fosse solido ou gazoso, daria um espectro continuo ou um espectro de riscas brilhantes; mas o espectro solar, apresentando riscas escuras, mostra que a luz solar antes de penetrar o espectroscopio, atravessa certa côr; logo o sol é formado de um nucleo solido ou liquido cercado por uma atmosphaera gazosa, na qual se acham, no estado de vapor ou de gaz, substancias que absorvem irradiações correspondentes, dando logar ás riscas de Fraunhofer. A risca amarella de sodio, correspondente á risca D do espectro solar, mostra que na atmosphaera do sol existe o sodio no estado de vapor; porque só este é que pôde absorver as vibrações luminosas que dão a risca brilhante do espectro. Reconhece-se por este processo que na atmosphaera solar existe no estado de vapor o potassio, o calcio, o maganesio, o ferro, o nickel, o zinco, o hydrogenio, e o oxigenio.

Pela analyse spectral podemos conhecer a composição das estrellas fixas, das nebulosas e dos cometas.

§ 530. *Aberração de refrangibilidade*. Chama-se *aberração de refrangibilidade* a coloração ou irisação dos contornos das imagens dos objectos, vistos atravez das lentes; ella é devida á desigual refrangibilidade das côres



simples. A luz branca que atravessa uma lente não só se refracta, mas tambem se decompõe em sete côres, como nos prismas; estas sete côres não podendo convergir n'um só ponto, cada uma encontra o eixo da lente em logares separados, d'onde resultam em vez de um só foco sete focos. O foco da côr rubra é mais distante da lente, o da côr roxa é mais proximo; entre estes ficam os focos das outras côres segundo o gráo da sua refrangibilidade. A aberração da refrangibilidade é tanto mais sensivel quanto mais convergente fôr a lente, e mais longe estiver o ponto de incidencia.

§ 531. **Achromatismo.** Dá-se o nome de *achromatismo* ao phenomeno da refração de luz sem dispersão; tem por fim evitar a decomposição da luz; chamam-se *lentes achromaticas* as que deixam passar a luz sem a decompor. Formam-se as lentes achromaticas pela superposição de duas lentes de substancias desegualmente dispersiveis; uma é de flint-glass, concavo-convexa divergente; a outra é de crown-glass, biconvexa, de fórmula que uma das faces póde coincindir exactamente com a face concava da primeira. Como a dispersão se faz em sentido opposto a cada uma d'ellas, os raios separados pela primeira são reunidos pela segunda. Em rigor para achromatisar as sete côres são precisas sete lentes; mas na maior parte das applicações é sufficiente a achromatisação de duas côres.

---

## CAPITULO XXIX

**Instrumentos opticos**

§ 532. **Instrumentos opticos; suas especies.** Chamam-se *instrumentos opticos* todos osapparelhos em que entram, como peças essenciaes, as lentes ou lentes e espelhos. Os instrumentos opticos são muitos; mas podem reduzir-se, em relação ás imagens dos objectos, a tres *especies*: instrumentos *amplificantes* os que têm por fim amplificar as imagens dos objectos de pequenas dimensões: são os *microscopios*; instrumentos *aproximantes* os que têm por objecto aproximar as imagens dos objectos situados a grandes distancias, como os planetas, os cometas, as nebulosas, as estrellas; são os *oculos* e os *telescopios*; instrumentos *projectantes* os que projectam as imagens reduzidas ou amplificadas sobre uma superficie; são a *camara escura* e a *camara clara*.

Além d'estas tres especies de que nos occupamos, ha muitos outros, que servem uns para medir angulos, taes como os *goniometros*, os *sextantes*, os *octantes*, etc.; outros para multiplicar as imagens, como o *kaleidoscopio*; outros para dar uma direcção constante á luz do sol, como os *heliostatos*, etc.

§ 533. **Microscopio.** O *microscopio* é um instrumento amplificante, que serve para observar os objectos de pequenas dimensões, que seriam difficeis ou impossiveis de observar a olho nú. O *microscopio* póde ser *simples* ou *composto*.

*Microscopio simples.* Este instrumento, fig. 148, que

tambem tem o nome de *lupa* é uma simples lente convergente de curto foco; serve para dar grandes imagens dos objectos de dimensões muito pequenas. O objecto que se quer observar colloca-se entre a lente e o seu foco principal; o observador, que fica defrente da lente, obtem uma imagem virtual, direita e maior que o objecto.

A posição e a grandeza da imagem não são fixas, variam com a distancia do objecto ao foco. A imagem será tanto maior, quanto mais afastado estiver o objecto da lente e for mais curto o foco.

Para que as imagens dos objectos vistos pela lupa sejam nitidas, é preciso que estes objectos sejam bastantemente esclarecidos com o auxilio de um reflector, como no microscopio de Raspail, e que a imagem se ache á distancia da visão distincta.

*Microscopio composto.* O microscopio composto consta, na sua maior simplicidade, de duas lentes convergentes, uma das quaes M, de curto foco, se chama *objectiva*, porque se acha perto do objecto AB, fig. 149; a outra L, menos convergente, chama-se *ocular*, porque é por ella que o observador olha a imagem do objecto. Estas duas lentes estão fixas no mesmo tubo de modo que os seus eixos coincidem.

Para se servir d'este instrumento colloca-se o objecto AB além do foco principal F da objectiva, mas muito proximo d'elle; este objecto dará uma imagem B'A', real, invertida e amplificada; colloca-se o ocular de modo tal, que a imagem A'B' fique entre elle e o seu foco principal F'; o observador verá a imagem de B'A' em B''A'', imagem virtual e mais amplificada; esta segunda imagem B''A'' é direita em relação á primeira, mas invertida em relação ao objecto; evidentemente o ocular funciona como um microscopio simples sobre a imagem do objecto.

O microscopio composto é pois uma lupa simples applicada á imagem de um objecto, amplificada por uma



lente. A fig. 149 representa a marcha dos raios e a formação da imagem no microscópio composto.

§ 534. **Oculos.** Os oculos são instrumentos approximates, têm por fim approximar e tornar distinctas, pela refração, as imagens dos objectos afastados. Os oculos podem ser *astronomicos* e *terrestres*.

*Oculos astronomicos.* O oculo astronomico ou *luneta astronomica*, destinada a observar os astros, compõe-se essencialmente de duas lentes convergentes, objectiva e ocular, dispostas como no microscópio composto, podendo esta approximar-se ou afastar-se d'aquella a fim de adaptar o instrumento a todas as vistas, visto ser grande a distancia do objecto á objectiva, e mesmo para que se forme a imagem á distancia da visão distincta; a objectiva é de foco comprido, a ocular de foco curto, e por isso muito convergente.

Seja fig. 150 o oculo astronomico; O a objectiva cuja distancia focal é muito grande; L a ocular; AB o objecto, situado a grande distancia da objectiva. A imagem do objecto, dada pela objectiva, será  $B'A'$ , invertida e menor que o objecto, e ficará situada no seu foco principal, visto a distancia do objecto ser grande; esta imagem deve ficar entre a ocular e o seu foco principal. O observador vê em  $B''A''$  uma imagem virtual, direita e amplificada, da imagem  $B'A'$ . Vê-se pois que no oculo astronomico as imagens formam-se da mesma maneira que no microscópio composto, mas que a distancia do objecto ao instrumento é constante.

*Oculo terrestre.* O oculo terrestre, que tambem se appella *longa-vista*, differe do oculo astronomico em dar imagens direitas dos objectos, pela interposição de duas lentes convergentes, eguaes e parallelas, entre a objectiva e a ocular, cujo fim é inverter as imagens, o que é indispensavel para a observação dos objectos terrestres. Estas quatro lentes absorvem muita luz e por isso é preferivel a disposição do oculo de Galileo.

§ 535. *Oculo de Galileo.* O oculo de Galileo compõe-se de uma objectiva convergente M, e de uma ocular divergente L, collocada entre a objectiva e o seu foco principal, fig. 151.

Se não houvesse a ocular L, a imagem do objecto AB, collocado a uma distancia maior ou menor, far-se-hia em B'A', um pouco além do foco principal da objectiva, e seria real e invertida; mas os raios dimanados do objecto atravessando a ocular, refractam-se e afastam-se dos seus respectivos eixos secundarios, de modo que formam nos seus prolongamentos uma imagem em A''B'', virtual, direita e muito amplificada, a qual parece muito proxima.

O *binoculo de theatro* ou de *campo* é composto de dois oculos de Galileo; produz uma imagem para cada olho, as quaes dão a sensação de uma imagem muito brilhante.

§ 536. *Telescopios.* Os telescopios são instrumentos approximantes, que têm por fim approximar e tornar distinctas pela reflexão e refração as imagens dos objectos afastados; são destinados a observar os astros. A objectiva d'estes instrumentos é um espelho concavo que não tem aberração de refrangibilidade, e póde ter grandes dimensões, a ocular é uma lente convergente. O telescopio póde ser de Newton, de Gregorio e de Herschel; estudaremos só o primeiro.

§ 537. *Telescopio de Newton.* Este telescopio compõe-se de um longo tubo de cobre, no fundo do qual está fixo um grande espelho concavo M de metal, fig. 152 que é a *objectiva-reflector*; entre este e o seu foco principal está collocado um espelho plano CD com a inclinação de  $45^\circ$  sobre o seu eixo; em frente d'este espelho plano e lateralmente ao tubo de cobre está um pequeno tubo, no qual fica encaixada uma lente convergente L, a ocular. Se não houvesse o espelho plano CD, evidentemente a imagem do objecto formar-se-ia no foco principal do reflector M; mas este espelho plano reflecte esta



imagem em AB, entre a ocular e o seu foco principal; a ocular, funcionando como uma lupa, dá uma imagem em A'B' invertida e muito amplificada. N'estes ultimos tempos Mr. Foucault tem introduzido notaveis aperfeiçoamentos n'este telescopio.

§ 538. **Camara escura.** A camara escura é um instrumento de projecção, que tem por fim projectar a imagem reduzida dos objectos exteriores. Compõe-se de uma grande caixa de madeira ABCD, cuja parte superior tem uma abertura, na qual está encaixada horizontalmente uma lente convergente L; por cima d'esta fica um espelho plano MN, cuja inclinação se póde fazer variar como se quizer. Os raios dimanados de um objecto exterior incidindo sobre o espelho reflectem-se na lente e vão formar com a maxima fidelidade a imagem n'um cartão DF, collocado no fundo da caixa. Qualquer desenhador póde facilmente seguir com um lapis os contornos da imagem.

Algumas vezes substitue-se o espelho e a lente por um prisma triangular; a face d'este prisma que olha para o objecto é levemente convexa, a que olha para o fundo da caixa é concava, e a terceira é plana.

§ 539. **Camara clara.** Esta camara, que tem o nome de camara lucida, é um pequeno instrumento destinado a dar imagens muito exactas dos objectos; estas imagens formam-se n'um espaço illuminado, ao contrario da camara escura, e podem ser contornadas com um lapis. Compõe-se de um prisma de vidro quadrangular, cujos angulos estão combinados de maneira que possam produzir uma dupla reflexão total, que projecte a imagem sobre um cartão collocado horizontalmente. O desenhador basta seguir os contornos da imagem com um lapis para obter um desenho exacto.

§ 540. **Camara photographica.** A photographia é a arte de fixar sobre um alvo as imagens dos objectos, produzidas pela acção da luz; quando as imagens se fixam sobre placas metallicas, têm o nome de *daguerreotypo*;



quando se fixam sobre papel, têm o nome de *photographia sobre papel*.

A *photographia sobre papel* consta de duas operações distinctas e successivas; a primeira tem por objecto obter a *prova negativa* ou *cliché*, na qual os brancos do objecto são representados por tintas escuras, e os escuros por brancos; a segunda tem por fim tirar com a prova negativa a *prova positiva*, em que os escuros e os brancos da prova negativa são substituidos por brancos e escuros; por conseguinte a prova positiva representa uma imagem natural do objecto. A prova negativa tira-se na camara *photographica* sobre uma lamina de vidro previamente *sensibilisada*; quer dizer, que está em condições de receber a acção da luz, para n'ella se estamparem as imagens.

Para sensibilisar uma lamina basta cobri-la com uma leve camada de collodio ou de albumina, tendo em dissolução iodureto e bromureto de ammonia ou de potassio, e iodureto de cadmio; depois de esgotar este liquido immerge-se n'uma solução de azotato de prata, a fim de obter pela dupla decomposição iodureto e bromureto de prata; a lamina sujeita a estas operações, em uma casa escura, fica prompta para receber a acção da luz, quer dizer, fica sensibilisada.

A *camara photographica*, fig. 154, compõe-se de uma caixa rectangular de madeira G, onde entra uma gaveta D; a sua face anterior tem um grosso tubo de cobre, no qual está encaixada uma objectiva convergente e achromatica, que se move com o auxilio de um botão K; esta objectiva é formada de duas lentes convergentes A e B, encaixadas em dois tubos, de modo que um entra no outro, e podem approximar-se ou afastar-se por meio de uma cremalheria e um carrete que se movem por meio de um botão; disposição que permite fazer variar á vontade as distancias focaes.

A face posterior da gaveta é formada por um alvo de

lamina de vidro despolido, fixo n'um caixilho de madeira E, que se póde tirar quando se quizer.

Para usar d'este instrumento colloca-se a camara á altura do objecto cuja imagem se quer tirar, por meio de um tripé; dirige-se o objectivo para o objecto sufficientemente illuminado; depois colloca-se o alvo de vidro despolido no foco da objectiva, o que se consegue dando um movimento conveniente á gaveta e ao botão.

Conhece-se que o alvo está no foco, quando n'elle se pinta, com extrema nitidez, a imagem real e invertida do objecto; para ver bem esta imagem o photographo cobre-se com um panno preto para a não deixar offuscar com a luz exterior. Conhecido o foco, tira-se o alvo de vidro e em seu lugar põe-se o caxilho em que está a placa sensibilizada, e puxa-se para cima a corrediça. Em alguns segundos os raios de luz dimanados do objecto, decompondo o iodureto de prata, imprimem a imagem sobre a placa; a decomposição do iodoreto é tanto maior, quanta mais luz receber: o tempo da exposição á luz varia conforme as circumstancias da operação; terminada esta, fecha-se o caixilho.

Abrindo o caixilho em uma casa escura e tirando a placa, não se observa traço algum visivel do desenho, porém tractando-a n'uma dissolução de acido pyrogallico apparece immediatamente a imagem negativa. É esta a *prova negativa*. Resta pois fixar a imagem, tirando o excesso do iodureto de prata que não foi alterado pela luz, para o que basta immergir a placa n'uma dissolução de hypo-sulphito de soda durante vinte minutos.

Obtida a prova negativa, facilmente se consegue a *prova positiva*, para o que basta applicar sobre a prova negativa uma folha de papel impregnada de chlorureto de prata, apertar entre duas laminas de vidro o papel e a prova negativa, e expôl-a á acção directa dos raios solares; depois de um certo tempo apparece a imagem positiva no papel.

§ 541. **Lanterna magica.** A lanterna magica é um pequeno aparelho, que serve para obter sobre um alvo, n'uma casa escura, imagens amplificadas de pequenos objectos. Consta de uma caixa de folha de llandres, dentro da qual está um espelho parabolico A, o reflector em cujo foco está uma alampada; em frente d'este reflector está collocada uma lente convergente C, e junto a esta umas laminas de vidro, onde estão pintados, com côres translucidas, varios objectos invertidos. Estas laminas occupam o centro de curvatura de uma outra lente convergente D, que fica situada a uma certa distancia. Os raios luminosos reflectidos pelo espelho parabolico, saindo parallellos ao seu eixo, encontram a lente C, que as faz convergir sobre as laminas de vidro V, em que estão pintados os objectos; os raios de luz que partem d'estes objectos atravessam a lente D e dão uma imagem real, maior e invertida, que se projecta n'um alvo L.

§ 542. **Lentes fragmentadas.** As lentes fragmentadas tambem se denominam lentes *polysonaes* ou lentes *annulares*. Compõem-se de muitas lentes formadas do seguinte modo: no centro uma lente plano-convexa, cercada de anneis ou segmentos annulares de vidro, de que a face plana de cada segmento fica situada do mesmo lado da face plana da lente do centro, e as faces oppostas têm uma curvatura tal, que os focos dos diferentes segmentos coincidem com o foco da lente central. A reunião de todas estas lentes constituem uma só lente com um foco commum. Com esta disposição sahem parallellos todos os raios de uma luz collocada no foco d'esta lente, e alcançarão grandes distancias sem perderem da sua intensidade, senão pela sua passagem no ar. As lentes *polysonaes* têm grande superioridade sobre outras lentes de grandes dimensões, porque estas são de construcção difficil, têm grande aberração de esphericidade e perdem a sua diaphanidade por causa da espessura.

§ 543. **Pharoes.** Os *pharoes* são fachos luminosos



que projectam de noite a luz sobre o horizonte, e servem para guiar os navegantes e preserval-os dos perigos. Collocam-se estes apparatus sobre os principaes cabos, nos pontos mais salientes do litoral, nas entradas dos portos e rios, de modo que indique aos nautas a presença das terras, para navegarem com segurança.

Os pharoes podem ser de primeira, segunda, terceira e quarta ordem, conforme a distancia da projecção da luz; os de primeira ordem projectam a luz á distancia de 100 kilometros; chamam-se *pharolins* os que illuminam a entrada dos portos e rios, e são de quarta ordem.

Os pharoes compõem-se de duas partes distinctas: o *foco luminoso* e o *apparelho optico*.

O *foco luminoso* obtem-se pela combustão de oleos em alampadas; os oleos que produzem bom resultado são o oleo de oliveira, o de coco, o de coka, o petroleo. Recentemente tem-se substituido o foco luminoso da combustão dos oleos pela luz electrica, que é a de maior alcance e mais intensa. As alampadas têm uma ou mais torcidas, conforme a ordem do pharol, cylindricas, concentricas com dupla corrente de ar; as chaminés são de vidro, e estreitam logo acima da chamma; superiormente a estas ha um obturador, que serve para regular a tiragem.

O *apparelho optico* é destinado a dirigir sobre o horizonte os raios do foco luminoso, que tenderiam a divergir para a terra ou para o céu. Este apparelho póde ser de *reflexão* ou de *refracção*.

O apparelho de reflexão compõe-se de um espelho espherico ou parabolico de metal polido, em cujo foco se acha uma grande alampada.

O apparelho de refracção é constituido pelas lentes polysonaes, que são de maior alcance, menos dispendiosas e hoje geralmente usados.

Os pharoes, em relação ao seu apparelho, podem ser pharoes de reflexão e de refracção. A theoria dos pha-

roes funda-se na theoria dos espelhos e na das lentes polysonaes.

Os pharoes podem ser de *rotação, fixos e fluctuantes*.

Os de rotação são aquelles em que o aparelho optico é constituido por muitas lentes polysonaes, e animado de um movimento de rotação em torno de um eixo vertical que passa pelo foco. O observador collocado a distancia vê a luz no momento correspondente em que ella passa por cada uma das lentes polysonaes; os intervallos de tempo ficam pois dependentes da rapidez do movimento de rotação. Os pharoes fixos são os que projectam a luz, sem interrupção, na mesma direcção sobre o horizonte. Os pharoes fluctuantes são os que estão collocados sobre os navios.

Além d'estes ha muitas especies de pharoes, taes como os de *clarões, de côres, etc.*

§ 544. *Phosphorescencia*. A *phosphorescencia* é a propriedade, que tem certos corpos, de se tornarem luminosos na obscuridade, sem desenvolvimento sensivel de calor.

A phosphorescencia póde ter cinco causas:

1.<sup>a</sup> *Phosphorescencia espontanea*; manifesta-se esta em certos animaes, como no *pyrilampo*, em certos *zoophitos*, que vivem nos mares tropicaes, dão á agua um aspecto luminoso; em certos vegetaes, como os cogumelos, cravos, etc.

2.<sup>a</sup> *Phosphorescencia pela elevação de temperatura*; manifesta-se esta em certos diamantes e em certas variedades de spatho de fluor, que á temperatura de 300° ou 400° se tornam luminosos com uma côr azulada.

3.<sup>a</sup> *Phosphorescencia por effeitos mechanicos*; manifesta-se esta quando se friccionam na obscuridade dois crystaes de quartzo, ou quando se quebra um bocado de assucar.

4.<sup>a</sup> *Phosphorescencia pela electricidade*; observa-se esta quando ha um forte attrito do mercurio com o vidro no interior do tubo barometrico; e nas pontas metallicas dos conductores electricos.

5.<sup>a</sup> *Phosphorescencia pela insolação*; observa-se esta em certas substancias, taes como, os sulphuretos de bario, de calcio e de stroncio, o spatho de fluor, a aragonite, que, sendo expostas á acção da luz solar ou diffusa, tornam-se luminosas na obscuridade, durante algumas horas, com uma coloração dependente dos raios do espectro, que têm mais acção sobre a substancia.

§ 545. **Fluorescencia.** A *fluorescencia* é uma especie de phosphorescencia instantanea; a phosphorescencia persiste algum tempo depois da extincção da luz que a produziu, em quanto que a fluorescencia desaparece rapidamente, e extingue-se com a luz. Observa-se nas soluções de sulphato de quinino, de chlorophylla, que, expostas aos raios roxos do espectro solar, mesmo aos invisiveis, apresentam instantaneamente uma luz rôxa muito viva.

---



## CAPITULO XXX

**Magnetismo**

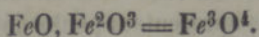
§ 546. **Magnetismo.** Dá-se o nome de *magnetismo* ao complexo de phenomenos que apresentam certos corpos, chamados *magnetes*, ou á causa d'estes phenomenos, ou á parte da physica que estuda estes phenomenos; apezar d'esta triplice accepção, não se deve confundir o magnetismo com o *magnetismo animal*, que exprime a influencia de uma individualidade animal sobre outra, sob o imperio da vontade.

§ 547. **Magnetes.** Chamam-se *magnetes* as substancias que têm a propriedade de attrahir o ferro, o aço, o nickel, o cobalto e o chromo, substancias magneticas.

Os magnetes podem ser *naturaes* e *artificiaes*. Os magnetes *naturaes*, chamados *pedras de iman*, são os que a natureza nos apresenta, gosando naturalmente da propriedade de attrahir as substancias magneticas.

Os magnetes *artificiaes* são as barras ou agulhas de aço temperado, que, não possuindo as propriedades dos magnetes naturaes, as adquirem por certos processos em que os magnetes naturaes lh'as communicam.

§ 548. O magnete natural é um oxido de ferro, conhecido pelo nome de *oxido magnetico*; é composto de um equivalente de protoxido de ferro e de um equivalente de sesquioxido de ferro; a sua formula é



A pedra iman é muito abundante na natureza, encontra-se nos terrenos antigos, principalmente na Suecia e Noruega. Ha muitos oxidos magneticos que não têm a propriedade de attrahir o ferro, mas ganham-na accidentalmente.

§ 549. As propriedades dos magnetes naturaes e artificiaes são identicas, mas estes são mais energicos que aquelles e de um empregò mais commodo.

O poder attractivo dos magnetes exerce-se quer em contacto, quer a distancias e atravez de todos os corpos; a sua intensidade decresce com o augmento da distancia e varia com a temperatura. A intensidade magnetica de uma barra diminue á medida que a sua temperatura se eleva, e augmenta quando a sua temperatura diminue, e volta ao seu primitivo gráu, quando tambem chega a sua primitiva temperatura.

§ 550. Polos dos magnetes e linha neutra. Chamam-se *polos* de um magnete os dois pontos muito proximos das suas extremidades, em que o poder da attracção sobre as substancias magneticas é o maximo; *linha neutra* é a linha situada quasi ao meio do magnete, onde a força magnetica é nulla; estes polos designam-se: um pelo nome de *polo austral* e o outro pelo nome de *polo boreal*, e representam-se pelas letras A e B. Se immergirmos uma barra magnetisada em limalha de ferro, fig. 155, vemos que esta adhire ás extremidades da barra com força e em abundancia, onde apresenta um aspecto de um penacho eriçado, e que esta adherencia decresce á medida que se afasta dos extremos até chegar á parte media, onde é nulla. Vê-se pois que a força magnetica não é a mesma em todos os pontos de um magnete, é maxima nas extremidades e nulla na parte media; segue-se, pois, que *todo o magnete tem dois polos, austral e boreal, e uma linha neutra.*

Algumas vezes, em razão das circumstancias accidentaes, os magnetes apresentam pontos intermediarios entre

os polos com uma força magnetica muito pronunciada, estes pontos chamam-se pontos *consequentes*; mas esta disposição nos magnetes é excepcional.

§ 551. Acção mutua dos polos. A acção reciproca dos polos de dois magnetes está submettida á seguinte lei: «*Os polos do mesmo nome repellem-se, e os polos de nomes contrarios attrahem-se.*» Com effeito; se approximarmos do polo austral *a* de uma agulha magnetisada suspensa a um fio muito fino, fig. 156 o polo austral *A*, polo semelhante, de uma outra agulha que se tem na mão, observa-se uma viva repulsão; se approximarmos o mesmo polo *A* do polo boreal *b*, polo contrario da agulha suspensa, ha uma forte attracção. Se approximarmos dos polos *a* e *b*, da agulha suspensa o polo *B* da agulha que se tem na mão, observa-se uma attracção no primeiro caso, e uma repulsão no segundo. Vê-se que os polos *a* e *b* não são identicos, um é attrahido e outro é repellido por *A*; ha pois repulsão entre os polos semelhantes, e attracção entre os polos contrarios.

§ 552. Hypothese de dois fluidos magneticos. Os physicos para explicar os phenomenos magneticos admittem dois *fluidos magneticos*, que se attrahem mutuamente, tendo cada um d'elles suas moleculas em repulsão. Estes fluidos chamam-se *fluido austral* e *fluido boreal*, segundo o nome dos polos do magnete, onde a sua intensidade predomina. Estes fluidos estão no estado de combinação ou no estado neutro, ao redor das moleculas das substancias magneticas, antes da magnetisação; mas sob uma influencia de uma força maior que a sua attracção reciproca, estes fluidos separam-se, ficando orientados em redor das moleculas, dirigindo-se o fluido boreal n'uma direcção e o austral na direcção opposta. A separação d'estes fluidos do estado neutro constitue a magnetisação, a qual dura tanto quanto persistir a causa que operou a separação e a orientação dos fluidos.

A hypothese de dois fluidos é inadmissivel. A Physica



moderna condemna a invocação dos fluidos imponderaveis para explicar os phenomenos dependentes de uma só causa.

§ 553. Theoria de Ampère sobre o magnetismo. Ampère, partindo de um principio da electro-dynamica, que mais tarde estudaremos, e que se enuncia: *duas correntes electricas parallelas e na mesma direcção attrahem-se, e em direcções contrarias repellem-se,* explica as acções magneticas, suppondo que ao redor das moleculas das substancias magneticas, existem correntes electricas particulares, de direcções indeterminadas, isto é, correntes moleculares em todas as direcções, cuja resultante é nulla; mas nos magnetes estas correntes orientam-se e têm uma direcção no mesmo sentido. No magnete todas estas correntes, conhecidas pelo nome de *correntes de Ampère*, constituem systemas de correntes circulares, parallelas entre si, no mesmo sentido e perpendiculares ao eixo do magnete. Estes diversos systemas de correntes electricas, circulando constantemente e no mesmo sentido ao redor das moleculas de cada magnete, equivalem a uma só corrente, de intensidade igual á somma das intensidades das correntes parciaes, circulando no mesmo sentido de um a outro polo a superficie de cada magnete; por conseguinte, quando os polos de dois magnetes estão em presença um do outro, se as correntes forem no mesmo sentido, estes polos attrahir-se-hão; se forem em sentido contrario, estes polos repellir-se-hão. As attracções e repulsões magneticas ficam sendo o effeito das correntes electricas ou no mesmo sentido, ou em sentidos contrarios. Se esta theoria não tem character de absoluta certeza, é pelo menos a expressão fiel de todos os factos, relativos ao electro-magnetismo.

§ 554. Substancias magneticas e magnetes. Chamam-se substancias magneticas todas aquellas que um magnete attrahe com maior ou menor energia; o ferro, o aço, o nickel são substancias magneticas; ellas contêm as correntes de Ampère, em direcções confusas,

em redor das moléculas. Os magnetes differem das substancias magneticas, porque estas não têm polos, não exercem entre si acção alguma, no estado ordinario, e são attrahidas indistinctamente apresentando-se a qualquer dos polos de um magnete.

§ 555. Magnetisação por influencia. Chama-se magnetisação por influencia a orientação das correntes de Ampère de uma substancia magnetica sob a influencia de um magnete, quer em contacto, quer em distancia, em que a substancia magnetica se converte em um magnete, tendo por conseguinte dois polos e uma linha neutra, em quanto persistir a orientação. Uma barra magnetisada em contacto com uma substancia magnetica, determina a orientação das correntes de Ampère d'esta, e transforma-a em um magnete completo, com dois polos e linha neutra.

Seja *AB* uma barra magnetisada, e *ab* um pequeno cylindro de ferro doce, em contacto com o polo austral *A* da barra, fig. 157. O cylindro *ab* pela orientação das correntes torna-se em um magnete; o polo boreal *b* é attrahido pelo polo austral *A* da barra, em quanto que o polo austral *a* é repellido pela outra extremidade. Este cylindro *ab* vem a ser um novo magnete, com os seus polos e linha neutra, que, por seu turno, orienta as correntes de um segundo cylindro *a'b'*, em contacto com elle; este segundo cylindro, tornando-se um novo magnete, póde attrahir um terceiro *a''b''*, e assim continuadamente. Cada um d'estes cylindros é um magnete, mas sómente em quanto dura a influencia da barra; porque, se se interrompe o contacto d'esta com o primeiro cylindro, todos os outros se destacam e não conservam traço algum da magnetisação; por conseguinte, a orientação das correntes dos cylindros, determinada por instantes, perde-se immediatamente.

A magnetisação por influencia dá a razão da formação das curvas, á roda dos polos de um magnete, quando n'elles for projectada a limalha de ferro.



§ 556. **Força coercitiva.** Chama-se *força coercitiva* a força de resistencia, mais ou menos energica, que uma substancia magnetica offerece para a sua magnetisação, orientação das correntes, ou para a sua desmagnetisação, volta d'estas correntes á direcção primitiva, quando está magnetisada. A experiencia mostra que o ferro doce magnetisa-se e desmagnetisa-se com muita facilidade; o aço temperado, pelo contrario, magnetisa-se com extrema difficuldade; e, magnetisado, tambem com grande difficuldade perde o seu magnetismo; esta força de resistencia do aço temperado á sua magnetisação e á desmagnetisação é a força coercitiva. Esta força é tanto maior, quanto maior fôr a tempera do aço; no ferro esta força é quasi nulla, mas pôde adquirir um certo gráu pela sua oxidação, pela pressão e pela torção.

§ 557. **Experiencia dos magnetes partidos.** Se partirmos pelo meio uma agulha ou barra magnetisada, AB, de que se conhecem a linha neutra e os polos A e B, fig. 158, observa-se que cada metade *ab* vem a ser instantaneamente um magnete, com a sua linha neutra e com os seus dois polos contrarios; tornando a partir cada uma d'estas metades pelo meio, observa-se tambem o mesmo phenomeno, quer dizer, a formação instantanea de outros dois magnetes *a'b'* correspondentes a cada metade; e assim continuadamente até onde se possa levar a operação. Esta experiencia mostra que as correntes de Ampère estão espalhadas por todas as partes do magnete, e a sua separação apparente nos polos provém de que estes, austral e boreal, que ficam distribuidos em redor de cada molecula do magnete, em duas direcções constantes e oppostas uma á outra, dão duas resultantes contrarias, cujos pontos de applicação, proximos das extremidades do magnete, formam os polos, e cujo plano de separação fórma a linha neutra.

§ 558. **Corpos magneticos e diamagneticos.** Todos os corpos que são attrahidos pelos magnetes cha-



mam-se corpos *magneticos*; todos aquelles que são repellidos têm o nome de *diamagneticos*; o ouro, a prata, o vidro são corpos magneticos; o chumbo, o enxofre, a cera, o bismutho são *diamagneticos*.

§ 559. Lei das attracções e repulsões magneticas. As acções de dois polos semelhantes ou contrarios de dois magnetes estão submettidas á seguinte lei, descoberta por Colombo: *As attracções e as repulsões magneticas variam na razão inversa do quadrado das distancias*. Esta lei demonstra-se pela balança de torção, ou pelo methodo das oscillações.

### Magnetismo terrestre

§ 560. Magnetismo terrestre. Dá-se o nome de *magnetismo terrestre* á acção magnetica da terra sobre os magnetes; esta acção consiste na direcção, constante e fixa, que uma agulha magnetica toma, quando está livre e fóra de toda a influencia de um outro magnete.

§ 561. Acção directriz da terra sobre os magnetes. Se collocarmos uma agulha magnetica pelo seu centro de gravidade, sobre um eixo vertical em torno do qual se possa mover livremente, fig. 159, observa-se que a agulha toma quasi a direcção da linha *norte-sul*; se a desviarmos d'esta posição e a abandonarmos a si mesma, ella volta constantemente á mesma posição depois de algumas oscillações. O polo austral *a*, da agulha, dirige-se *para o norte*, N, e o polo boreal *b*, *para o sul*, S.

Este phenomeno observa-se em todos os logares da terra, quer na crista das altas montanhas, quer no baixo das profundas minas. Observa-se este mesmo phenomeno, quando a agulha magnetica fica suspensa por um fio muito fino, ou sobre um disco de cortiça que fluctua na agua.

§ 562. Causa do magnetismo terrestre. A causa

da direcção constante da agulha magnetica para os polos da terra é a força magnetica da mesma terra. Na verdade o globo terrestre é um grande magnete, cuja linha neutra fica situada na vizinhança do equador, e os dois polos na proximidade dos polos terrestres. As correntes de Ampère, d'este grande magnete, dirigem-se uma para o norte, e toma o nome de *corrente boreal*, e outra para o sul, e toma o nome de *corrente austral*, onde predominam as suas intensidades. Ora, como as correntes do nome contrario se attrahem e as do mesmo nome se repellem, segue-se que a corrente austral da agulha deve ser attrahida pela corrente boreal da terra, e a boreal da agulha pela austral da terra. Segue-se, pois, que os polos da agulha magnetica se dirigirão em sentido inverso dos da terra.

§ 563. Binario magnetico terrestre. A acção da terra sobre a agulha magnetica é uma acção puramente *directriz*; a agulha nem é attrahida nem repellida, é simplesmente *dirigida* pela terra, que obra como um binario, quer dizer, como um systema de duas forças eguaes, parallelas, obrando em sentido contrario, e applicadas aos extremos da agulha. Com effeito, o polo boreal da terra, attrahindo o polo austral da agulha e repellindo o seu polo boreal, representa um binario, applicado aos extremos da agulha, visto a distancia entre os polos da agulha ser muito pequena, e a d'estes aos polos da terra ser muito grande; o polo austral da terra, actuando de um modo identico sobre os polos boreal e austral da agulha, fórma um segundo binario, tambem applicado aos extremos da agulha; estes dois binarios compondo-se dão o binario resultante, que sollicita a agulha a tomar uma posição fixa e determinada no meridiano magnetico.

§ 564. Meridiano magnetico. Chama-se *meridiano magnetico* de um logar o plano que passa pela direcção da agulha assente sobre um eixo vertical n'este logar e pelo centro da terra. O traço que este plano deixa sobre



a superficie da terra chama-se *meridiana magnetica*. Chama-se *meridiano terrestre* ou geographico de um logar o plano vertical que passa por este logar e pelos polos da terra; o traço que este plano deixa sobre a superficie da terra chama-se *meridiana terrestre*.

§ 565. **Declinação da agulha magnetica.** Chama-se *declinação da agulha magnetica* o angulo plano formado pela meridiana magnetica com a meridiana terrestre, ou o angulo plano formado pela direcção da agulha com a meridiana terrestre, que passa pelo centro de suspensão da agulha, ou é o angulo diedro formado pelo meridiano magnetico com o meridiano terrestre. Assim na fig. 160 o angulo AON é o angulo de declinação, formado pela meridiana NS e pela agulha AB movel em roda do ponto O. A declinação póde ser *oriental* ou *occidental* segundo o polo austral da agulha se dirige para este ou oeste do meridiano.

§ 576. **Variação da declinação magnetica.** A declinação da agulha varia nos diversos logares da terra; é occidental na Europa e na Africa, e oriental na America e no norte da Asia; varia no mesmo logar, e das diversas variações, que apparecerem, umas são *regulares* e outras *irregulares*.

As variações regulares da declinação podem ser *seculares* ou *diurnas*; as seculares são as que se manifestam depois de um longo numero de annos, durante os quaes a agulha passa lentamente de este a oeste, ao redor do meridiano terrestre: as *diurnas* são as que se manifestam todos os dias, em que a agulha avança para o occidente desde o nascimento do sol até ás tres horas da tarde; e avança para o oriente desde as tres horas da tarde até á noite; estas variações são muito pequenas. Durante a noite a agulha fica estacionaria.

As variações irregulares, que têm o nome de *perturbações da agulha*, são produzidas por causas perturbadoras, taes como as auroras boreaes, os tremores de terra, as



erupções vulcanicas, a queda de raios; n'este ultimo caso a agulha pôde perder o seu magnetismo, e mesmo inverter os polos.

§ 567. *Inclinação da agulha magnetica.* As acções magneticas diminuem com o augmento da distancia; no nosso hemispherio a acção do polo do norte predomina sobre a do polo do sul, portanto o polo austral da agulha ha de inclinar para a terra. Se suspendermos uma agulha magnetica no meridiano magnetico por um eixo horizontal, á roda do qual ella possa mover-se livremente, ella inclina-se sobre o horizonte. Chama-se *inclinação magnetica* o menor angulo que a metade austral da agulha faz com o horizonte. Assim na fig. 161 o angulo DOA, formado pelo horizonte CD e pela metade austral OA da agulha AB, é a inclinação magnetica. Ella varia nos diversos logares da terra; cresce com a latitude; no equador é nulla, para o polo do norte é de  $90^\circ$ .

§ 568. *Equador e polos magneticos da terra.* Chama-se *equador magnetico da terra* a curva formada pela reunião de todos os pontos da terra, onde a inclinação magnetica é nulla. Esta curva é sinuosa e intercepta o equador em dois pontos quasi diametralmente oppostos, um fica situado no grande Oceano, outro no oceano Atlantico; estes pontos parecem ser animados de um movimento de translação do oriente para o occidente. Chamam-se *polos magneticos* os pontos aonde a inclinação é de  $90^\circ$ ; um dos polos fica situado no hemispherio boreal, perto da ilha de Melville, outro no hemispherio austral, na terra de Victoria; a posição d'estes pontos varia como a do equador.

§ 569. *Bussolas.* As *bussolas* são apparelhos que servem para medir a declinação e a inclinação da agulha magnetica. Ha duas especies de bussolas; bussola de *declinação* e bussola de *inclinação*.

*Bussola de declinação.* Esta bussola é destinada a medir a declinação magnetica de um logar, quando se conhece

o seu meridiano terrestre, ou determinar este, quando se conhece a declinação. Consta de um disco circular horizontal, no centro do qual passa um eixo vertical de aço. Uma agulha magnetica fica assente sobre este eixo por meio de uma placa de agatha, que tem por fim diminuir o attrito proveniente do movimento da agulha. O limbo d'este disco está graduado. Dois diametros perpendiculares NS e OE fig. 162 orientam a bussola. Orientar uma bussola é collocar-a de modo que o diametro NS, linha norte e sul, fique no meridiano terrestre, olhando a extremidade N para o norte.

Para conhecer a declinação é preciso primeiramente orientar a bussola e depois ler, sobre o disco graduado, o numero de graus do angulo feito pela direcção da agulha com o diametro NS. Este angulo é a declinação.

Para determinar o meridiano terrestre, sendo conhecida a declinação, basta fazer gyrar a bussola, de modo que o angulo, feito pela agulha e pelo diametro NS, seja igual ao angulo de declinação do logar. O diametro NS estará no meridiano.

A declinação dada directamente pelas agulhas das bussolas não é exacta; é sempre muito maior ou muito menor, porque o eixo magnetico da agulha não corresponde ao eixo magnetico terrestre, visto não ser regular e uniforme a distribuição do magnetismo na agulha. É necessario pois corrigir esta causa de erro, o que se consegue pelo *methodo de reviramento*. Este methodo consiste em fazer duas observações virando successivamente a agulha sobre cada uma das suas faces. A media d'estas duas observações dará exactamente a declinação.

*Bussola maritima.* Esta bussola, que tem o nome de *agulha de marear*, é uma bussola de declinação, de que se servem os navegantes, para dirigirem a derrota dos navios. Esta bussola, contida n'uma caixa de cobre, fica collocada á ré sobre a coberta. A bussola está collocada de tal modo, que a agulha fica sempre horizontal, apesar das

continuas oscillações do navio. Sobre a agulha está collocada uma folha de cartão ou de talco com a rosa dos ventos, e uma gradação cujo zero está sobre a linha norte-sul. Na caixa está marcada uma linha de fé que indica a direcção da quilha do navio.

§ 570. **Bussola de inclinação.** Esta bussola consta de uma agulha de inclinação, suspensa pelo seu meio por um eixo horizontal, no centro de um circulo vertical e graduado fig. 163, o qual se move sobre um outro circulo horizontal tambem graduado. Para medir a inclinação colloca-se o circulo vertical no meridiano magnetico, e mede-se o angulo que a agulha faz com o horizonte.

§ 571. **Agulhas astaticas.** Chamam-se *agulhas astaticas* aquellas que ficam subtrahidas á acção directriz da terra. São duas agulhas, *ab* e *b'a'*, de igual força magnetica, parallelas uma em relação á outra, com os polos invertidos, suspensas por um fio, de modo que os polos contrarios se correspondem na mesma linha vertical, fig. 164. Evidentemente a acção directriz da terra, obrando sobre os polos contrarios das agulhas, fica destruida, e as agulhas ficam subtrahidas a esta acção.

### Processos de magnetisação

§ 572. **Fontes de magnetisação.** Os processos de magnetisação fundam-se nas fontes de magnetisação, que são tres: *magnetisação pelos imans*, *magnetisação pelo magnetismo terrestre* e *magnetisação pela electricidade*. Qualquer processo que se empregue para magnetisar uma agulha ou barra, a força magnetica d'esta não póde passar além de um certo limite, qualquer que seja o poder do meio e o tempo da operação; este limite maximo da força magnetica denomina-se *ponto de saturação*.

A experiencia mostra que n'um magnete, chegado ao



ponto de saturação, a *força magnética é proporcional á raiz cubica do quadrado do seu pezo.*

§ 573. **Processo de magnetisação pelos imans.**

A magnetisação pelos imans é fundada na magnetisação pela influencia: consta de tres methodos: *toque simples, toque separado e toque dobrado.*

1.<sup>o</sup> *Methodo do toque simples.* Este methodo consiste em friccionar successivas vezes as duas faces da barra que se quer magnetisar, de uma á outra extremidade, sempre no mesmo sentido, com um polo de um forte magnete. A ultima extremidade da barra que o magnete friccionante toca dá um polo contrario áquelle com que se faz a fricção. Este methodo tem o inconveniente de originar muitos pontos consequentes e não dar á barra grande força.

2.<sup>o</sup> *Methodo do toque separado.* Este methodo consiste em collocar a barra, que se quer magnetisar, *ab* fig. 165 sobre os polos contrarios A e B de dois magnetes; depois applicar os dois polos contrarios A' e B' de outros dois magnetes de igual força no meio da barra, fazendo com esta um angulo de 25°; estes polos contrarios devem ser dirigidos no mesmo sentido que os dos magnetes fixos; finalmente friccionar a barra separadamente com cada um d'estes magnetes, desde a parte media até ás extremidades, no mesmo sentido; chegando a estas levantar os magnetes, applicar de novo na parte media da barra e recommençar a operação, um certo numero de vezes em cada uma das faces da barra, até ao ponto de saturação. Este methodo dá uma magnetisação regular, e não origina pontos consequentes; usa-se d'elle para magnetisar as agulhas das bussolas.

3.<sup>o</sup> *Methodo do toque dobrado.* Este processo consiste, como no precedente, em collocar a barra que se pretende magnetisar sobre os polos contrarios A e B de dois fortes magnetes, fig. 166; depois applicar os dois polos contrarios A' e B', separados por uma peça de madeira, de

outros dois magnetes de igual força, no meio da barra, fazendo com esta um angulo de  $20^\circ$ , ficando na mesma ordem que a dos polos dos magnetes fixos.

Depois friccionar cada uma das metades da barra com ambos os magnetes simultaneamente, sem os separar, do meio para uma extremidade; chegando a esta levantar os magnetes friccionantes e tornar a applicar no meio da barra e friccionar a outra metade, e assim successivamente, de modo que as duas metades da barra recebam o mesmo numero de fricções.

Este methodo produz um grande poder magnetico; prefere-se sempre quando se quer levar a barra ao ponto de saturação.

§ 574. Magnetisação pela influencia da terra. O globo terrestre, pela sua força magnetica, transforma o ferro doce e o aço em magnetes. Sendo a força coercitiva do aço muito grande, a acção da terra é muito insufficiente para transformar este n'um magnete, pelo menos instantaneamente. O contrario acontece com o ferro doce; uma barra de ferro doce magnetisa-se rapidamente pela acção magnetica da terra, principalmente se estiver collocada no meridiano magnetico e parallelamente á inclinação; mas esta magnetisação é instavel, visto a sua força coercitiva ser quasi nulla; comtudo póde-se augmentar submittendo a barra a uma forte torsão, quando estiver sob a influencia da terra, no meridiano magnetico e parallelamente á inclinação.

A formação dos magnetes naturaes é devida á influencia prolongada do magnetismo terrestre sobre os oxidos magneticos.

§ 575. Fasciculos magneticos. Chamam-se *fasciculos magneticos* a reunião de muitas barras magnetisadas, sobrepostas parallelamente umas ás outras pelos seus polos do mesmo nome; a fórmula d'estes faciculos póde ser rectilinea, ou em fórmula de ferradura de cavallo ou parabolica, fig. 167.

A força de um fasciculo magnetico cresce com a extensão das barras, mas não é igual á somma das forças de cada barra.

A fórma de ferradura de cavallo é preferivel, porque faz dobrar o poder attractivo do fasciculo, visto utilisarem-se os dois polos ao mesmo tempo e a acção de cada um d'elles tender a augmentar a magnetisação desenvolvida pelo outro.

§ 576. **Armaduras dos magnetes.** Dá-se o nome de *armaduras dos magnetes* ás peças de ferro doce, que se põem em contacto com os polos de um magnete no estado de saturação. Quando uma barra está magnetisada até ao ponto da saturação e fica abandonada a si, o seu poder magnetico tende a diminuir pouco a pouco; para evitar este inconveniente põem-se as extremidades da barra em contacto com as armaduras, o que, além de impedir o enfraquecimento da magnetisação, tende a augmental-o. As armaduras têm a fórma quadrangular.



## CAPITULO XXXI

**Electricidade**

§ 577. **Electricidade.** A *electricidade* é uma manifestação da condensação e rarefacção do ether por meio de uma multidão de phenomenos, como são attracções, repulsões, calorificações, centelhas luminosas, magnetisações, combinações, decomposições chemicas, commoções organicas, etc.

Dizia-se, ha pouco tempo, que a electricidade era um agente imponderavel, cuja existencia se manifestava por muitos phenomenos, como attracções, repulsões, etc., os mesmos que acima ficam expostos; mas no estado actual da sciencia é condemnavel a acceitação dos agentes imponderaveis. A physica moderna, que tem por supremo fim derivar todos os phenomenos de uma unica causa, reconhecendo os muitos pontos de contacto, as relações mais ou menos intimas e a fraternidade commum entre os diversos agentes da natureza; observando a transformação do calor, luz e magnetismo em electricidade; e reciprocamente a transformação da electricidade em calor, luz e magnetismo; observando tambem que as qualidades physicas que intervêm na transmissão do calor, intervêm tambem na mesma proporção na transmissão da electricidade; considera todos os phenomenos calorificos, luminosos, magneticos e electricos como diversos modos de movimento de um unico fluido — o *ether*; calor e luz são effeitos de vibração, a electricidade é um effeito da massa.

§ 578. Hypotheses sobre a natureza da electricidade. O interesse dos physicos, depois da observação dos factos, é pôr bem, e precisamente em relevo, os diversos pontos de contacto entre os differentes agentes da natureza; determinar as suas relações mais intimas, para chegar ao depois ao conhecimento claro e exacto da natureza de cada um d'elles. Sabemos que elles têm uma fraternidade commum; sabemos mais que um se converte n'outro; mas o que não conhecemos de um modo preciso é esta conversão. Sabemos experimentalmente que pelo calor obtemos electricidade, e pela electricidade obtemos calor; mas não conhecemos precisamente a natureza da mudança que estes movimentos sofrem, para apparecerem ora sob a fórma de electricidade ora sob a fórma de calor. *A natureza da electricidade é completamente desconhecida.*

Muitas têm sido as hypotheses sobre a natureza da electricidade; enumeremos as principaes em homenagem aos illustres physicos que as crearam. Newton considerava a electricidade como o resultado de um principio ethereo, posto em movimento pelas vibrações das moleculas dos corpos. O abbade Nollet dizia que a electricidade era uma modificação do calor e da luz. Symmer pensava que a electricidade procedia da separação de dois fluidos, que existem em todos os corpos no estado de combinação, formando um fluido neutro. Franklin affirmava que a electricidade era um resultado do augmento ou diminuição de um fluido unico, imponderavel, que existe em todos os corpos. Todas estas hypotheses, sem a garantia da rigorosa observação dos factos, só têm valor historico.

§ 579. Electricidade estatica e dynamica. A electricidade sob o ponto da sua manifestação divide-se em *electricidade estatica* e *electricidade dynamica*. A electricidade estatica, ou em repouso, estuda os phenomenos que procedem da accumulção da electricidade em repouso á superficie dos corpos, e se mantêm em equilibrio

n'um estado de tensão; manifesta-se pelas attracções e faiscas luminosas; tem por causa o attrito.

A electricidade *dynamic*a, ou em movimento, estuda os phenomenos resultantes da electricidade em movimento, que atravessa os corpos sob a fórma das correntes; manifesta-se pelos phenomenos chimicos e tem por causa as acções chimicas.

§ 580. **Fontes de electricidade.** As causas que desenvolvem a electricidade são quatro: *acções mechanic*as, que comprehendem o attrito ou fricção, a pressão e a clivagem; *acções physic*as, taes como o calor, a luz, o magnetismo e a propria electricidade; *acções chimic*as, que comprehendem as combinações, as combustões, as decomposições chimicas; *acções physiologic*as, que comprehendem os phenomenos vitaes, que se produzem no seio do organismo.

§ 581. **Electricidade pelo attrito.** Um dos principaes modos de desenvolver a electricidade estatica é o attrito ou fricção. Se esfregarmos um certo numero de substancias, taes como o vidro, a resina, o lacre, o enxofre, o ambar, a gutta-perche e a ebonite com um panno de lã, ou de seda, ou com uma pelle de gato, ellas adquirem a propriedade de attrahir os corpos leves, como bocadinhos de papel, barbas de pennas, serradura de madeira, etc.; diz-se que os corpos estão *electrisados*. Reconhece-se que um corpo está *electrisado* por meio de uns pequenos instrumentos, chamados *electroscopios*; o mais simples d'elles é o pendulo electrico.

§ 582. **Pendulo electrico.** Este instrumento consta de uma pequena haste de vidro, assente sobre uma peanha de madeira, fig. 167. Á extremidade superior, que é levemente recurvada, está preso um fio de seda, cuja outra extremidade sustenta uma pequena bola de medulla de sabugueiro. Se approximarmos d'esta bola um corpo *electrisado*, esta é rapidamente attrahida; logo depois do contacto é repellida.



§ 583. **Corpos conductores e não conductores.**

Os corpos relativamente ao grau de conductibilidade da electricidade dividem-se em *bons conductores* e *maus conductores*. São bons conductores os que deixam facilmente passar a electricidade, e que, postos em contacto por um só ponto com uma fonte de electricidade, electrizam-se facilmente em toda a sua extensão; são bons conductores da electricidade os metaes, o carvão calcinado, o corpo humano, a agua, as dissoluções salinas, os acidos e os corpos humidos.

São maus conductores os que não deixam passar a electricidade, e que, em contacto com uma fonte electrica, não se electrizam senão no ponto de contacto, ou n'uma pequena extensão ao redor d'este ponto; são maus conductores o vidro, a resina, o lacre, a seda, o enxofre, o ar secco, a porcellana, o marfim e os gazes.

§ 584. **Corpos isoladores.** Chamam-se corpos *isoladores* ou *isolantes* os corpos maus conductores, quando se empregam para conservar a electricidade n'um bom conductor, impedindo a sua propagação.

§ 585. **Reservatorio commun.** Dá-se o nome de *reservatorio commun* á terra, porque, sendo composta de substancias boas conductoras, absorve toda a electricidade dos corpos electrizados que estão em comunicação com ella; para que o corpo electrizado conserve a sua electricidade, é preciso que fique separado da terra por meio de um mau conductor, como o vidro, a seda, a resina, que o isola da massa terrestre, e impede o escoamento da electricidade para o solo. O ar secco é um corpo *isolante*, mas perde esta propriedade quando contiver vapor aquoso. É esta a razão por que as experiencias sobre a electricidade não succedem bem em tempo humido.

§ 586. Todos os corpos se electrizam pelo attrito ou fricção. Ha corpos que dão logo signaes de electricidade, quando se friccionam, tendo-os directamente na mão, como o vidro, a resina e o lacre; ha outros que não dão

nenhum signal de electricidade, apesar de reiteradas fricções, são os metaes; não se deve concluir que os metaes não se electrizam por attrito. É uma propriedade geral de todos os corpos electrizarem-se pelo attrito; mas a electricidade assim desenvolvida não se manifesta se não quando estão em condições convenientes.

Assim uma barra metallica, sustentada na mão e friccionada, desenvolve electricidade; mas como está em contacto com o corpo humano, que é bom conductor, escoa-se a electricidade para o solo; se porém fosse sustentada por um cabo de vidro, e friccionada com seda ou tafetá, dava logo signaes de electricidade, como os outros corpos.

§ 587. Hypothese das duas especies de electricidade. Quando se aproxima de um pendulo electrico A uma vareta de vidro electrizada pela fricção com um panno de lã, a bola de medulla de sabugueiro d'este pendulo é attrahida e logo depois do contacto com o vidro, de que toma uma parte da electricidade, é repellida; se apresentarmos um pau de resina, tambem electrizado pela fricção com lã, a um outro pendulo electrico B, a bola d'este pendulo é attrahida, e logo depois do contacto com a resina, de que toma parte da sua electricidade, é repellida. Parece que a electricidade do vidro e da resina são identicas. Se porém approximarmos o pau de resina electrizado do pendulo A, cuja bola fôra repellida pelo vidro, vê-se que ha attracção; o mesmo effeito se produz, quando a vareta do vidro electrizada se aproxima do pendulo B, cuja bola fôra repellida pelo pau de resina. Vê-se claramente que *um corpo, repellido pela electricidade do vidro, é attrahido pela electricidade de resina, e reciprocamente um corpo repellido pela electricidade da resina é attrahido pela do vidro.*

D'este ultimo facto conclue-se que existem duas especies de electricidade, uma que se desenvolve no vidro, sendo friccionado com lã, e tem o nome de *electricidade*



*vitrea* ou positiva; outra, que se desenvolve na resina, do mesmo modo friccionada, e que tem o nome de *electricidade resinosa* ou negativa.

Tambem se conclue que *dois corpos com a mesma electricidade se repellem, e com electricidades contrarias se attrahem*; ou com maior simplicidade:

*As electricidades do mesmo nome repellem-se; as electricidades de nome contrario attrahem-se.*

§ 588. **Fluido neutro ou electricidade natural.** Chama-se *fluido neutro* ou *electricidade natural* a combinação das duas electricidades, positiva e negativa; diz-se que um corpo está no estado *neutro* ou *natural*, quando não dá nenhum signal de electricidade, quer dizer, que as duas electricidades, que elle possui, estão combinadas e neutralisadas. Quando se friccionam dois corpos entre si, um electriza-se positivamente, e o outro negativamente, em igual quantidade; explica-se este facto, suppondo que todos os corpos possuem as duas electricidades no estado de combinação, e que a fricção não faz mais que decompor o fluido neutro, d'onde resulta um ficar electrizado positivamente e o outro negativamente.

§ 589. **Theorias sobre a electricidade.** Ha presentemente tres theorias ácerca da electricidade. Theoria de Franklin, a de Symmer e a moderna.

*Theoria de Franklin.* Franklin, physico americano, considerou como causa da electricidade um fluido unico especial, imponderavel, cujas moleculas se repellem, mas que são attrahidas pelas da materia; que todos os corpos contêm, no estado neutro, uma quantidade determinada d'este fluido; se este fluido augmenta, os corpos electrizam-se *positivamente* e gosam das propriedades da electricidade *vitrea*; se diminue, os corpos electrizam-se *negativamente* e manifestam propriedades da electricidade *resinosa*.

A electricidade positiva representa-se pelo signal + mais, equivale á electricidade *vitrea*; a electricidade nega-



tiva representa-se pelo signal — *menos*, equival á electricidade resinosa. Um corpo que tiver a electricidade positiva e uma egual quantidade de electricidade negativa ficará no estado neutro.

*Theoria de Symmer.* Symmer, physico inglez, admittia como causa da electricidade dois fluidos, que se attrahiam mutuamente, tendo cada um d'elles as suas moleculas em repulsão; estes fluidos existem em todos os corpos no estado de combinação, formando o que se chama *fluido neutro* ou *natural*. Quando differentes causas, sobre tudo o attrito e as acções chemicas, separam estes fluidos, é então que se manifestam os phenomenos electricos; estes fluidos electricos têm uma grande tendencia a reunir-se para formar de novo o fluido neutro. Estes fluidos têm os nomes de fluido *vitreo* e fluido *resinoso*, denominações que foram substituidas por fluido positivo e fluido negativo.

A theoria dos dois fluidos cae perante o principio de unidade das forças physicas.

§ 590. *Theoria moderna da electricidade.* Os physicos modernos, querendo derivar todos os phenomenos de uma unica causa, admittem que a causa da electricidade é o ether. Fundando-se na transformação do calor e da luz em electricidade, e reciprocamente na transformação da electricidade em calor e luz, consideram que todos os phenomenos calorificos, luminosos, magneticos e electricos devem ter uma unica causa, o ether; na producção do calor e da luz o ether obra pelas suas vibrações, na producção da electricidade obra pelo seu deslocamento e pela sua massa, condensando-se e rarefazendo-se á usperficie dos corpos.

Segundo esta theoria um corpo estará no *estado neutro*, quando o ether espalhado n'este corpo estiver em equilibrio; desde que uma causa qualquer tiver determinado a rotura d'este equilibrio, apparece a electricidade; esta será positiva, se houver a condensação, será negativa, se

houver a rarefacção. Na electricidade dynamica ha, além d'isto, o transporte do fluido ethereo, sob a fórma de fluxo, atravez do conductor.

Pela theoria moderna explicam-se as attracções e repulsões electricas pelas pressões exercidas sobre o ether ambiente, pelo ether accumulado á superficie dos corpos, hypothese que entra no dominio da mechanica.

§ 591. Significação das palavras antigas em relação á theoria moderna. Os incessantes trabalhos dos physicos modernos, tendentes á rigorosa observação dos phenomenos, ao aperfeiçoamento das experiencias, e para descoberta de novos factos, têm dado ás sciencias physicas um novo aspecto; póde dizer-se que a physica está n'uma epocha de transição. Não havendo porém novas palavras para exprimir novas ideias, forçoso é exprimir estas pela velha linguagem. Para evitar confusões e equivocos, torna-se necessario precisar o valor das expressões da antiga linguagem, e indicar o que se deve renunciar em conformidade com as ideias modernas.

Não ha duas especies de electricidade, como até aqui se dizia.

Aelectricidade é *uma só*; mas que se apresenta sob os dois estados oppostos, um pelo excesso, outro pela diminuição, que se designam pelas expressões — electricidade *positiva* ou *mais*, e electricidade *negativa* ou *menos*.

Não existem dois fluidos; por isso as expressões, *fluido positivo* e *fluido negativo*, até aqui empregadas, são improprias, é necessario renuncial-as e substituil-as exclusivamente pelas expressões — electricidade *positiva* ou *mais* e electricidade *negativa* ou *menos*.

Que o estado *neutro de um corpo* é quando a distribuição e a tensão do fluido ethereo n'este corpo estão no estado normal, quer dizer, em equilibrio com o ether ambiente.

Um corpo fica *electrisado* quando ha ruptura de equilibrio entre o ether do corpo e o ether do ambiente,



Dois corpos têm a *mesma electricidade*, quando o ether n'estes corpos está condensado ou rarefeito.

Dois corpos têm *electricidades contrarias*, quando o ether n'um d'elles está condensado e no outro rarefeito.

*Electricidade neutra* de um corpo é o estado neutro d'este corpo.

§ 592. *Acções mutuas entre os corpos electrificados*. Os efeitos de attracção e de repulsão entre os corpos electrificados resumem-se no seguinte principio, que serve de base á theoria de todos os phenomenos da electricidade estatica:

*As electricidades do mesmo nome repellem-se.*

*As electricidades de nome contrario attrahem-se.*

Este mesmo principio já foi enunciado sob a hypothese de duas especies de electricidade; mas o valor das expressões *electricidades do mesmo nome* e *de nomes contrarios* é differente; no primeiro caso exprime condensações ou rarefacções do ether, no segundo condensação e rarefacção.

§ 593. *Lei da electrificação por fricção*. Quando se friccionam dois corpos, de qualquer natureza, um contra o outro, a *electricidade neutra de cada um d'elles decompõe-se*; um dos corpos fica electrificado positivamente e o outro negativamente. Se levamos em presença de um pendulo electrico, electrificado com uma electricidade conhecida, dois corpos friccionados entre si; um d'elles attrahe a bola do pendulo, e o outro repelle-a; as quantidades de electricidade em cada um d'elles são iguaes.

A electricidade desenvolvida pela fricção varia com a natureza do corpo friccionado, com o seu grau de polimento e de temperatura; a especie da natureza da electricidade depende do corpo friccionante.

§ 594. *Leis das attracções e repulsões electricas*. As acções, que os corpos electrificados exercem uns sobre outros, estão submettidas ás duas seguintes leis:

1.<sup>a</sup> *LEI. As attracções e as repulsões electricas, entre dois*



*corpos electrizados, estão na razão inversa do quadrado das distancias.*

2.<sup>a</sup> LEI. *As attracções e repulsões electricas, estão na razão directa das quantidades de electricidade; quer dizer são proporcionaes ao producto das quantidades de electricidade que ha nos dois corpos.*

Estas leis, chamadas leis de Colombo, demonstram-se do mesmo modo que as leis do calor e da luz; tambem se podem demonstrar com a balança de torção.

### Distribuição da electricidade

§ 595. *Accumulação da electricidade.* Se electrizarmos um corpo quer positiva, quer negativamente, toda a electricidade livre accumula-se na sua superficie exterior, formando uma camada muito delgada, que lucha contra a resistencia do ar; por isso diz-se que a *electricidade se accumula á superficie exterior dos corpos.* Prova-se isto de muitos modos.

Tome-se uma esphera de cobre, ôca, com uma abertura circular, isolada por um pé de vidro, fig. 169. Se electrizarmos esta esphera, por meio de uma qualquer fonte electrica, observa-se que toda a electricidade está na sua superficie exterior, e que a interior não apresenta traço algum de electricidade; o que se póde verificar por meio de um pequeno instrumento, chamado *plano de prova*, que consiste em uma agulha de gomma-laque B, em uma das extremidades da qual está um pequeno disco metallico A, que serve para receber a electricidade.

Tocando a superficie interna da esphera electrizada com o plano de prova, e levando-o a um electroscopio, este não denuncia signal algum de electricidade; pelo contrario, tocando a superficie exterior com o mesmo plano e levando-o ao mesmo eletroscopio, este dá evidentes signaes de electricidade.

Se applicarmos sobre uma esphera electrizada dous hemispheros de cobre ôcos, de igual diametro, munidos de dois cabos de vidro, que se têm na mão, e logo depois da sua applicação as separarmos rapidamente, observar-se-ha que toda a electricidade da esphera vai para a superficie externa dos hemispheros, em quanto que a esphera fica sem electricidade alguma, fig. 170.

Se electrizarmos um sacco conico de cassa, pelo vertice do qual passe um fio de seda, reconhece-se que a electricidade está na face externa do sacco. Se virarmos este por meio do fio, nota-se que a electricidade se transporta para a face externa, fig. 171.

§ 596. Densidade electrica; tensão. Chama-se *densidade electrica*, ou *carga electrica*, a relação entre a quantidade de electricidade e a extensão da superficie electrizada; ou a quantidade de electricidade na unidade de superficie. As expressões *densidade electrica* e *espessura electrica* são equivalentes; assim como, as expressões — *massa electrica* e *quantidade de electricidade*.

*Tensão electrica* é a pressão que a electricidade, em uma superficie dada, exerce sobre o meio ambiente para se desenvolver, ou, é a energia com a qual uma das electricidades tende a avançar para a electricidade contraria.

§ 597. Potencial, capacidade electrica. Chama-se *potencial de um corpo* a provisão da força electrica accumulada n'este corpo, ou a energia em reserva, prompta a tornar-se energia em acção.

*Capacidade electrica*. Chama-se *capacidade electrica* a quantidade de electricidade que é precisa communicar a um conductor isolado, para attingir uma potencial determinada. A capacidade electrica, para massas iguaes, augmenta com a superficie, e varia com a fórma d'ellas.

§ 598. Influencia da forma dos corpos sobre a accumulção da electricidade. A espessura da camada electrica sobre uma esphera electrizada é igual em cada ponto da sua superficie, visto a perfeita symetria da



esphera e não haver razão sufficiente para que o fluido electrico se accumule mais n'um que n'outro ponto. Mas outro tanto não acontece com a espessura de uma camada electrica sobre um corpo ovoide ou alongado, como mostra a fig. 172; a espessura d'esta camada não é igual em todos os pontos da superficie; é maxima nos extremos do eixo maior, e por isso diz-se que a *electricidade accumula-se nas pontas*; a electricidade, obedecendo á sua propria repulsão, accumula-se nas partes mais agudas, sobre as quaes adquire o maximo de espessura, o que se pôde demonstrar pelo plano de prova.

§ 599. Poder das pontas. Chama-se *poder das pontas* a propriedade que possuem as pontas dos conductores de deixarem escoar a electricidade. Como a electricidade se accumula nas pontas, segue-se que n'um corpo terminado em pontas a carga electrica deve accumular-se n'ellas, e a tensão electrica chegar a ser capaz de vencer a resistencia do ar; logo a electricidade escapará pelas pontas.

Se approximarmos a mão de uma ponta de um corpo electrizado, sentimos uma especie de um leve sopro, que tem o nome de *vento electrico*, devido á repulsão do ar. Na obscuridade o escoamento electrico manifesta-se por pennachos luminosos.

§ 600. Comunicação e distribuição da electricidade. Quando um corpo conductor electrizado se põe em contacto com um outro conductor que está no estado neutro, a electricidade passa para o corpo neutro; estes dois conductores ficam possuindo electricidades na razão da extensão das suas superficies; quando se separam, um tem ganho e o outro tem perdido electricidade em todos os pontos. Se os corpos em contacto não são conductores, não ha perda nem ganho senão ao redor dos pontos em contacto.

§ 601. Esgotamento da electricidade. Os corpos electrizados, embora isolados, esgotam sempre mais ou



menos rapidamente a sua electricidade. Opera-se este esgoto pelo ar e vapores n'elle contidos, como tambem pelos isoladores que lhe servem de supports.

O ar secco, sendo um corpo mau conductor, em contacto com um corpo electrizado, tambem se electriza; as moleculas electrizadas são repellidas, e novas moleculas vêm occupar o seu logar; estas, electrizando-se por ser turno, são tambem repellidas e vêm em seu logar outras e assim continuamente; a electricidade do corpo vai-se esgotando, este esgoto é tanto mais sensivel, quanto maior for a carga electrica. Os isoladores não isolam completamente a electricidade; pelo contrario favorecem o esgotamento dos corpos fortemente electrizados.

No vacuo parece que o esgotamento devia ser rapido e completo, porque, se a electricidade se mantém á superficie dos corpos, é por causa da conductibilidade do ar; segue-se pois que, quanto mais rarefeito for o ar, tanto mais deve ser favorecido o esgotamento; no vacuo, sendo nulla a resistencia do ar, o esgoto da electricidade deveria ser completo; mas as experiencias mostram que não pôde haver propagação de electricidade sem meio ponderavel.

### Electrização por influencia

§ 602. *Electrização por influencia.* Dá-se o nome de *electrização por influencia* ou *por indução* á decomposição da electricidade neutra de um corpo, quando este está em presença de um corpo electrizado. Chama-se corpo *inductor* o corpo electrizado, que obra por influencia, e corpo *induzido*, o corpo, em estado neutro, sobre o qual se exerce a acção do inductor.

Um corpo electrizado decompõe a electricidade neutra de outro que esteja a certa distancia, attrahe para si a electricidade do nome contrario áquella que elle possui, e repelle a do mesmo nome.

Seja, fig. 173, um cylindro AB de cobre, isolado por um pé de vidro, tendo nas suas extremidades dois pequenos pendulos. Se approximarmos este cylindro de um corpo conductor C, isolado e electrizado com electricidade positiva, observa-se que os pendulos se afastam; o que prova que as extremidades do cylindro foram electrizadas; se apresentarmos a cada um d'estes pequenos pendulos um páu de resina, electrizado negativamente por meio de uma fricção com um bocado de lâ; vê-se-se que ha repulsão do pendulo collocado em A, extremidade mais proxima do inductor; enquanto que ha attracção do pendulo em B collocado na outra extremidade mais afastada; evidentemente o pendulo em A está com electricidade negativa, e o em B com electricidade positiva. D'aqui se segue que o corpo electrizado C, decompoz por influencia a electricidade neutra do cylindro AB, atrahiu a electricidade do nome contrario á do corpo electrizado e repelliu a do mesmo nome. Diz-se que o cylindro foi electrizado por influencia.

Um corpo electrizado por influencia e isolado tem sempre duas regiões, oppostas ás duas especies de electricidade no estado livre; entre estas regiões existe uma linha de separação *mn*, onde a tensão electrica é nulla, e porisso chama-se linha *neutra*. A tensão electrica no cylindro está desegualmente repartida em todo o seu comprimento, é maxima nos extremos e nulla na sua parte média, um pouco mais para o lado do corpo inductor. Verifica-se isto, dispondo muitos pendulos ao longo do cylindro; a divergencia d'elles decresce desde as extremidades até á linha neutra, onde é nulla. Um corpo electrizado por influencia póde actuar sobre outro, este sobre um terceiro e assim continuamente.

§ 603. Um corpo electrizado por influencia e isolado, apresenta os dois seguintes phenomenos:

1.º Quando cessa a influencia, as duas electricidades recompõem-se e o corpo volta ao seu estado neutro.



Para cessar a influencia basta tocar com o dedo ou com uma vara metallica o corpo inductor, ou retiral-o;

2.º Quando se toca com o dedo ou com uma vara metallica o corpo induzido, quer dizer, electrisado por influencia, em qualquer dos seus pontos, a electricidade do mesmo nome da do inductor escôa-se para o solo, e fica só a do nome contrario, a qual se espalha por todo o corpo induzido, logo que cessa a influencia.

Assim, na experiencia precedente, se tocarmos em qualquer ponto da superficie do cylindro, a electricidade positiva escôa-se para a terra. Isso é evidente, se o contacto se estabelcer em qualquer ponto comprehendido entre a linha neutra *mn* e a extremidade *B*. Mas, se o contacto se estabelecer em qualquer ponto da extremidade *A*, é a electricidade positiva que desaparece. Á primeira vista parece ser um paradoxo o desaparecimento da electricidade positiva, mas explica-se d'esta maneira: o conductor que estabelece a communicação entre o cylindro e a terra é influenciado pelo conductor *C*; a sua electricidade positiva escôa-se para o solo, enquanto que a negativa combina-se com a positiva do cylindro, e fórma a electricidade neutra. Se supprimirmos a communicação, e depois retirarmos o corpo inductor *C*, no cylindro só fica a electricidade negativa livre.

§ 604. Poder inductor electrico. Chama-se *poder inductor* de uma substancia a quantidade de electricidade que esta substancia deixa passar atravez da sua massa, comparativamente áquella que deixa passar, nas mesmas condições, uma camada de ar da mesma espessura. Todos os gazes têm quasi sensivelmente o mesmo poder inductor, que não se modifica, nem com a temperatura, nem com a pressão.

§ 605. Penetração do fluido electrico nos isoladores. Os corpos isoladores são sempre mais ou menos conductores, e porisso a acção dos corpos electrisados decompõe a sua electricidade neutra, mas a sua



acção é muito lenta e fraca. O contacto prolongado de um páu de resina com um conductor da machina electrica, electrizada positivamente, faz com que a resina fique com electricidade positiva em uma extensão maior ou menor; esta electricidade não se limita á superficie, penetra no interior da sua massa até uma certa espessura. Se friccionarmos depois o páu de resina com um bocado de lã, este electriza-se negativamente, depois passa ao estado neutro e finalmente manifesta a electricidade positiva; o que mostra que a electricidade da machina, tendo penetrado na massa da resina, volta á sua superficie, passa ao estado neutro, e ao depois ao positivo.

§ 606. Combinação, a distancia, das duas electricidades. Faisca electrica. Descarga silenciosa. Quando dois conductores electrizados, um positiva e outro negativamente, se acham em frente um do outro, as suas electricidades tendem a reunir-se, e fazem um esforço contra o ar ambiente, cuja resistencia as separa; porém, se formos diminuindo a distancia ou augmentarmos a tensão electrica nos dois conductores, as duas electricidades, vencendo a resistencia, combinam-se atravez do ar. Os conductores descarregam-se; n'esta descarga ha recomposição das electricidades projectando jactos de luz mais ou menos viva, acompanhada de um som secco.

Este jacto luminoso tem o nome *de faisca electrica*. Se a descarga electrica se fizer sem faisca e sem sopro, então diz-se que a *descarga é silenciosa*, como quando o conductor está em comunicação com o solo; se porém a descarga produzir faisca electrica e som, diz-se que a descarga é *disruptiva*.

§ 607. Explicação dos movimentos dos corpos electrizados. Supponhamos um corpo fixo A, electrizado positivamente, a uma pequena distancia de um outro corpo conductor e movel no estado neutro. Evidentemente o

corpo A, decompondo por influencia a electricidade neutra do corpo movel B, attrahe para si a electricidade do nome contrario e repelle a do mesmo nome. Chamando *a* á metade do corpo B, mais proxima de A, e *b* á outra metade, mais afastada, e sabendo que as attracções e repulsões estão na razão inversa dos quadrados das distancias: segue-se que a attracção entre o corpo A e *a* é maior que a repulsão entre o A e *b*; por conseguinte o corpo movel B approximar-se-ha do corpo fixo A, por effeito de uma resultante, igual ao excesso da força attractiva sobre a repulsiva.

Se o corpo movel B estivesse electrizado com electricidade contraria á do corpo A, é claro que haveria attracção; se porém fosse electrizado com a mesma electricidade, haveria repulsão para uma certa distancia, mas para uma distancia menor podia haver attracção. Na verdade: o corpo movel B além da electricidade livre tem a electricidade neutra, que pela influencia do corpo A decopõe-se; a electricidade contraria vem para a parte *a* e a do mesmo nome dirige-se para a parte *b*; n'esta parte a electricidade positiva é maior que a electricidade negativa em *a*; a força da repulsão será pois maior que a força de attracção; se porém diminuirmos a distancia, a força attractiva cresce com mais rapidez que a força repulsiva, e póde vir a ser superior; logo haverá attracção do movel.

§ 608. **Electroscopio de folhas de ouro ou ordinario.** Os electroscopios são pequenos apparatus destinados a reconhecer a existencia da electricidade n'um corpo, e qual a natureza d'esta electricidade. O pendulo electrico, que descrevemos, é um electroscopio o mais simples; o que vamos estudar é muito mais sensivel que aquelle.

O *electroscopio de folhas de ouro*, fig. 174, compõe-se de uma campanula de vidro C, assente sobre um prato metallico em communicação com o solo; superiormente é



atravessada por uma haste metálica BB, que termina exteriormente por um botão B, e interiormente por dois pequenos ganchos, aos quaes estão fixas duas pequenas folhas de ouro *a* e *b*; no interior da campanula existem duas pequenas laminas metálicas, *c* e *d*, em frente das folhas de ouro. Para evitar que a humidade se deposite no vidro, envernisa-se a parte superior da campanula com gomma laca.

Para se usar d'este instrumento, é necessario communicar-lhe uma electricidade conhecida, o que se consegue approximando do botão exterior um conductor electrificado positivamente; a electricidade positiva d'este corpo decompõe, por influencia, a electricidade neutra da haste BB' e a das folhas de ouro; attrahe para si a electricidade negativa, que vem sobre o botão B, e repelle para as folhas de ouro a electricidade positiva; estas folhas desviam-se uma da outra.

Tocando com o dedo no botão exterior B, a electricidade positiva escôa-se para o solo, e as folhas de ouro approximam-se; retirando primeiro o dedo e depois o corpo inductor, fica só a electricidade negativa na haste e nas folhas de ouro, e estas tornam a desviar-se.

O electroscopio fica carregado de electricidade negativa. Para conhecer a natureza da electricidade de que um corpo está electrificado, basta approximar este corpo do botão; se as folhas de ouro se approximarem ou se afastarem mais, a electricidade do corpo será positiva ou negativa.

O augmento do desvio ou a divergencia das folhas de ouro fará conhecer a natureza da electricidade de que o corpo está carregado. Se o corpo estiver no estado neutro, produz o mesmo effeito que se estivesse electrificado positivamente; para evitar este erro, convém levar o electroscopio ao estado neutro, tocando o botão com um dedo, e depois tornar a approximar o corpo do botão;



se as folhas se desviarem, então o corpo está carregado de electricidade positiva.

Para que as folhas de ouro não toquem a campanula de vidro na sua maior divergencia, estão postas duas columnas metallicas, que tendo contacto com as folhas, lhes descarregam a electricidade para o solo.

---

## CAPITULO XXXII

**Machinas electricas**

§ 609. Chamam-se *machinas electricas* os aparelhos destinados a desenvolver a electricidade estatica. Umas desenvolvem-na por meio do attrito, como a machina electrica ordinaria; outras sem elle, como a machina electrica de Holtz, em que uma pequena carga fixa de electricidade produz uma enorme quantidade de electricidade; estas são as mais energicas.

§ 610. *Machina electrica ordinaria ou de Ramsden*. Esta machina, fig. 175, compõe-se de um prato circular  $VV'$ , de vidro, que se pôde pôr em movimento de rotação por meio de uma manivella  $M$ , entre dois pares de almofadas  $C$  e  $C'$ , contra as quaes exerce um forte attrito. Estas almofadas, fixas em um suporte de madeira, são de couro, marroquim, forradas interiormente de crina, e cobertas no exterior com uma camada de bisulphureto de estanho ou de uma amalgama de zinco e de estanho, com o fim de augmentar o desenvolvimento da electricidade, e estão munidas de uma cadeia metallica  $R$ . De frente do prato de vidro estão collocados dois cylindros ôcos  $E$  e  $D$  de latão, chamados *conductores* ou *collectores*, isolados por quatro pés de vidro  $G$ ,  $F$ ,  $I$  e  $K$ , fixos a uma meza de madeira. Os dois conductores communicam-se entre si pelas suas extremidades mais afastadas do prato, por uma travessa  $H$ , de latão; as outras duas extremidades, que ficam mais perto do prato de vidro,

têm dois arcos metallicos B e B', em fôrma de feradura de cavallo, armados com pequenas pontas ou dentes, os quaes abraçam o prato sem o tocar; estes arcos metallicos armados de dentes têm o nome de *pentes*.

A *theoria d'esta machina* funda-se na electrisação por atrito e por influencia. O prato de vidro, no seu movimento de rotação, em consequencia do atrito com as almofadas, electrisa-se positivamente e as almofadas negativamente; a electricidade negativa das almofadas escôa-se constantemente para o solo, por meio da cadeia metallica R e pelos supportes de madeira. A electricidade positiva do prato de vidro decompõe, por influencia, a electricidade neutra dos conductores, attrahe para si a electricidade negativa, que vem accumular-se nos dentes dos pentes, e repelle para as extremidades dos conductores a electricidade positiva, onde ella se accumula. A electricidade negativa das pontas neutralisa a electricidade positiva do prato de vidro, e este volta ao seu estado neutro; com a continuação do movimento tornam a renovar-se, a cada instante, os mesmos phenomenos; nos conductores fica pois a electricidade positiva até adquirir uma tensão sufficiente para se perder no ar.

Com esta machina obtem-se electricidade positiva; podiamos obter a negativa, se collocassemos os conductores em frente das almofadas e escoassemos para o solo a electricidade do prato de vidro; tambem podiamos obter n'um dos conductores electricidade positiva e n'outro a negativa, dando conveniente disposição aos conductores.

§ 611. *Carga maxima*. Para haver a carga maxima n'uma machina electrica, é preciso que ella tenha toda a sua actividade, o que se consegue fazendo seccar com cuidado os supportes, as almofadas e o prato, aquecendo-os docemente. Apesar destes cuidados, a carga maxima tem um limite, qualquer que seja a velocidade da rotação do



prato e o tempo d'esta: este limite é o momento de equilibrio entre a tensão dos conductores e a influencia do prato. Nas machinas electricas a carga maxima nunca chega a este limite, por causa do desperdicio da electricidade no ar e no vapor que elle contém, nos supportes e na continua recomposição de uma porção de duas electricidades dos conductores e das almofadas; para evitar esta ultima causa de desperdicio, collam-se aos montantes folhas de estanho desde as almofadas até á cadeia.

§ 612. **Electrometro de Henley.** Este instrumento serve para medir a tensão da electricidade desenvolvida nas machinas electricas. Consta, fig. 176, de uma haste de madeira, B, fixa sobre um dos conductores e tem um semi-circulo C de marfim, no centro do qual está fixo um pendulo. Este pendulo é formado de uma agulha de barba de baleia, terminada por uma bola de medulla de sabugueiro.

Quando a machina está em repouso, o pendulo está vertical; mas logo que se manifeste o desenvolvimento da electricidade, elle se desvia da vertical, tanto mais quanto maior for a tensão electrica.

§ 613. **Machina electrica de Holtz.** Esta machina de indução estatica é uma das notaveis, porque uma pequena carga de electricidade fixa produz uma enorme quantidade de electricidade; além d'isto torna bem clara a transformação do trabalho mechanico em electricidade.

Consta esta machina, fig. 177, de dois pratos de vidro, de diametros desiguaes, parallellos e distanciados um do outro apenas 3 ou 4 millimetros. Um dos pratos A, o maior, está fixo e sustido por anneis *a* de madeira sobre travessas e pés de vidro; tem nas extremidades de um diametro duas largas fendas, a cujos bordos estão colladas exteriormente tiras de papel envernizado com uma lingueta de cartão, são as *armaduras*. O outro prato B, menor que o primeiro, recebe um rapido movimento

de rotação, em torno de um eixo horizontal, por meio de uma manivella D, rodas C, e c e duas correias. Defronte do prato movel B, á altura das armaduras, estão duas hastes metallicas E, E, armadas de pontas; são os pentes, fixos ás duas hastes conductoras metallicas F, F, que terminam por outras pequenas hastes de botão f, com bolas nas extremidades.

Approximando das armaduras de papel envernizado uma lamina previamente electrizada, de caout-chouc endurecido, ou de ebonite, a superficie do papel electriza-se por influencia, e, dando movimento de rotação ao prato de vidro movel B, desenvolve-se n'este prato uma enorme quantidade de electricidade, e portanto tambem nos conductores metallicos, e nas hastes de latão f. Como estas hastes são terminadas por bolas, pela approximação d'estas obtém-se uma serie não interrompida de grandes faiscas. Vê-se, pois, que a pequena porção de electricidade que primitivamente se fornece á machina, multiplica-se prodigiosamente pelo movimento do prato.

Augmenta-se extraordinariamente a tensão electrica n'esta machina, quando se suspendem nas hastes conductoras duas pequenas garrafas de Leyde LL, communicando entre si pelas armaduras exteriores; obtém-se então faiscas muito brilhantes e brancas.

A machina de Holtz é de um pequeno volume, e requer, para se pôr em movimento, menos força que as machinas de attrito; porém resente-se muito das influencias atmosphericas.

§ 614. Machina dielectrica de Carré. Esta machina é uma combinação da machina electrica ordinaria com a de Holtz. Consta de dois pratos A e B, de desigual diametro, fig. 178, situados um por cima do outro, de modo que se cobrem mutuamente parte dos seus raios, e recebem movimentos de rotação em sentido opposto por meio de uma manivella M, rodas e correias. O prato menor A é de vidro; o maior B é de caout-chou endurecido, e



recebe um movimento de rotação, dez vezes mais apressado que o do prato A.

O prato de vidro A no seu movimento de rotação entre as duas almofadas D, cobertas de ouro maciço, electriza-se positivamente, e actua por influencia atravez do prato B sobre o pente E; decompõe a electricidade neutra do conductor em que está o pente E, attrahe para as pontas a electricidade negativa, que se deposita no prato B, e repelle a electricidade positiva, que se dirige para o conductor T. Como o prato B tem um movimento muito rapido, a sua electricidade negativa decompõe, por influencia, a electricidade do conductor que sustenta o pente F, e attrahe a electricidade positiva, que, accumulando-se nas pontas do pente F, se deposita no prato B; a electricidade negativa vai para o conductor C, visto este estar em communicação com o conductor do pente. O prato B volta ao seu estado neutro, e numerosas faiscas muito brilhantes se observam entre a bola do conductor T e o conductor C. Esta machina, cujo emprego se começa a generalisar, fornece muita electricidade e com forte tensão.

§ 615. *Electrophoro*. O *electrophoro* é a machina electrica mais simples. Consta de um prato de resina R, mettido n'um estojo de páu, e de um disco P de madeira coberto com uma folha de estanho e munida de um cabo isolador M, fig. 179.

Para se usar d'este apparelho, fricciona-se fortemente a superficie do prato de resina com uma pelle de gato, e assenta-se por cima do prato o disco conductor. A electricidade negativa do prato de resina decompõe por influencia a electricidade neutra da folha de estanho, attrahe para a face inferior a electricidade positiva e repelle para a superior a negativa. Levantando o disco conductor, as duas electricidades combinam-se e o disco volta ao estado neutro; se, porém, antes de levantarmos o disco o tocarmos com um dedo, a electricidade negativa



escôa-se para a terra e a electricidade positiva vem a ser livre, logo que o disco fique separado do bolo de resina, e salta uma fâisca quando lhe approximarmos de novo o dedo ou qualquer outro corpo conductor. Se tornarmos a assentar o disco sobre o bolo de resina e o tocarmos com o dedo e levantarmos, obtem-se uma nova quantidade de electricidade positiva e nova fâisca, e assim em seguida durante um tempo muito longo.

§ 616. Diversas experiencias com a machina electrica. Pôde-se fazer um grande numero de experiencias com a machina electrica; são todas fundadas no mesmo principio; *electricidades do nome contrario attrahem-se; as do mesmo nome repellem-se*. As principaes são:

1.<sup>a</sup> *Faisca electrica*. Um dos primeiros phenomenos que se observa n'uma machina electrica em actividade é uma viva centelha, quando se aproxima a mão de um dos conductores; esta centelha tem o nome de *faisca electrica*. A causa d'este phenomeno é muito simples; a electricidade da machina decompõe, por influencia, a electricidade neutra do corpo humano, attrahe para si a electricidade negativa, e repelle a positiva, que vai para a terra. As electricidades contrarias da mão e da machina, vencendo a resistencia do ar, recompõem-se, e n'esta recomposição manifesta-se a luz e o som; esta luz é viva, instantanea, e acompanhada de uma picada mais ou menos forte, segundo a carga da machina.

A fórma da fâisca electrica é variavel; a uma distancia de 4 a 5 centimetros é rectilinea; a uma distancia maior é irregular, toma a fórma de uma curva sinuosa com ramificações; se a carga da machina for muito forte, a fâisca electrica toma a fórma de zig-zag.

2.<sup>a</sup> *Banco electrico*. Chama-se *banco electrico* um banco com pés de vidro, em que se assenta a pessoa que se quer electrizar. Quando uma pessoa está n'este banco com a mão assente sobre o conductor da machina electrica, recebe a electricidade d'esta, a qual se distribue por todo o

corpo; diz-se que a pessoa está no *banho electrico*; tocando com o dedo em qualquer parte do corpo, obtêm-se faiscas como na machina. A pessoa isolada e electrificada não soffre commoção alguma, embora esteja fortemente electrificada; porém os seus cabellos eriçam-se, e sente nas mãos e no corpo um ligeiro sopro, chamado *sopro electrico*, que é o effeito da repulsão do ar, á medida que se electrifica pelo contacto.

3.<sup>a</sup> *Carrilhão electrico*. Dá-se o nome de *carrilhão electrico* a uma barra metallica AB, fig. 180, suspensa ao conductor da machina electrica por meio de um anel. Aos extremos d'esta barra estão suspensas, por cadeias metallicas, duas campainhas C e D; uma terceira campainha O está suspensa por um cordão de seda ao meio da barra. A esta campainha O está ligada uma cadeia metallica, que communica com o solo. Entre estas campainhas estão suspensas, por cordões de seda, duas bolas metallicas *b* e *b'*. Quando a machina electrica está em actividade, as campainhas C e D dos extremos ficam electrificadas, e a campainha O do meio fica no estado neutro, por estar isolada. As campainhas electrificadas attrahem as bolas metallicas; estas, batendo n'aquellas, são logo repellidas, e vão bater na campainha O; tornam a ser attrahidas pelas campainhas C e D, e depois do contacto são repellidas e vão bater na campainha O, e assim continuamente executam uma serie de oscillações, que duram enquanto a machina conservar a sua actividade. A explicação d'este phenomeno é muito simples; as bolas metallicas, em contacto com as campainhas dos extremos C e D, recebem a electricidade d'estas, e por isso são immediatamente repellidas; estas em contacto com a campainha O, que está no estado neutro, cedem-lhe toda a electricidade recebida, e ficam no estado neutro, e porisso tornam a ser attrahidas pelas campainhas C e D e logo repellidas. A electricidade da campainha O escôa-se para a terra pela cadeia metallica.



4.<sup>a</sup> *Dansa das bolas ou dos patins.* A seguinte experiencia mostra que as bolas, ou diversas figuras de medulla de sabugueiro, entram em continuo movimento sob a acção da electricidade.

O apparelho que serve para esta experiencia consta de uma campanula de vidro, fig. 181, assente sobre um prato metallico M, atravessada na sua parte superior por uma haste metallica BO, que termina superiormente por um anel, e interiormente por um disco metallico AD, que fica a alguma distancia do prato M.

Sobre o prato metallico M collocam-se algumas bolas de sabugueiro, e põe-se o apparelho em communicação, por meio do anel, com o conductor da machina electrica, que está em actividade; observam-se os saltos continuados das bolas. Em consequencia da actividade da machina o disco AD electriza-se; attrahe para si as bolas e repelle-as em seguida; as bolas elevam-se e cáem rapidamente; na sua queda cedem ao prato M a electricidade recebida do disco AB, e ficam no estado neutro; tornam a ser attrahidas e em seguida repellidas e assim continuadamente. Em vez de bolas empregam-se pequenas figuras de patins.

5.<sup>a</sup> *Torniquete electrico.* Este pequeno apparelho, fig. 182, consta de uma haste metallica, fixa a um conductor da machina electrica; na sua extremidade superior tem uma chapa circular, movel em torno da haste, á qual estão fixas, na direcção dos raios, pequenas barras de cobre, recurvadas nas suas extremidades e terminadas em ponta. Logo que a machina entra em actividade, a chapa metallica entra em movimento de rotação n'um sentido opposto ás pontas. Este movimento é o resultado da repulsão entre a electricidade accumulada nas pontas e a que estas communicam ao ar ambiente. No vazio o torniquete electrico não entra em movimento.



## Condensação da electricidade

§ 617. Condensadores. Chamam-se *condensadores* osapparelhos que accumulam, dissimulando, sobre as suas superficies quantidades consideraveis de electricidade. Todos os condensadores se fundam no principio de electrificação por influencia, e compõem-se de dois corpos conductores separados por um corpo isolador.

§ 618. Condensação da electricidade. Chama-se *electricidade condensada* ou *dissimulada* a reciproca neutralização da accumulção das duas electricidades, positiva e negativa, sobre duas laminas conductoras, uma em frente da outra, separadas por uma lamina isolante. A explicação da electricidade dissimulada é a seguinte:

*Theoria dos condensadores.* É facil fazer comprehender a condensação da electricidade. Sejam C e C' duas laminas metallicas, separadas por uma lamina de vidro um pouco maior, fig. 183. A lamina C está em comunicação com uma fonte constante de electricidade, por ex.: com o conductor da machina electrica; a lamina C' está em comunicação com o solo por meio de uma cadeia metallica; a lamina C, que communica com a fonte electrica, tem o nome de lamina *collectora*, a lamina C', que communica com o solo, é a lamina *condensadora*.

A lamina C, recebendo um maximo de electricidade positiva, decompõe por influencia, atravez da lamina de vidro, uma parte da electricidade neutra da lamina C', attrahe para si, isto é, para a face interna da lamina C', que está em contacto com a lamina de vidro, a electricidade negativa e repelle a positiva, que escôa para a terra pela cadeia metallica. Esta electricidade negativa attrahida e fixa na face interna da lamina C' não é livre, a sua tensão exterior fica completamente nulla, e a sua acção neutralisada; diz-se então que está *dissimulada*. Esta

mesma electricidade negativa, reagindo por seu turno sobre a electricidade positiva da lamina C, tende tambem a neutralisar-se, quer dizer, dissimular-se da mesma maneira. A neutralisação seria completa e as electricidades combinar-se-iam, se fosse nulla a distancia que as separa; porém, em virtude da espessura da lamina de vidro, uma parte da electricidade da lamina C será attrahida e fixa sobre a sua face interna; esta parte deixará de ser livre e tornar-se-ha em electricidade dissimulada, como a electricidade negativa da lamina C'. A lamina C não terá pois o seu maximo da carga; por conseguinte poderá receber uma nova carga de electricidade positiva, a qual obrará, como a primeira, sobre uma outra porção de electricidade neutra da lamina C', e assim continuadamente, até que a somma dos excessos da electricidade positiva livre, sobre a lamina C, seja igual á quantidade maxima, que ella tomaria se estivesse só e sem influencia da lamina C'.

§ 619. Quando um condensador está carregado de electricidade e com as communicacões interrompidas, fig. 184, têm accumuladas nas suas laminas electricidades contrarias. A lamina conductora C' tem na sua face interna electricidade negativa completamente dissimulada; a lamina collectora C tem nas suas faces electricidade positiva, mas desigualmente repartida; na face interna existe electricidade positiva accumulada, e na externa um excesso de electricidade livre; a acção simultanea d'estas duas partes da electricidade, accumulada e livre, é que matêm na lamina C' a electricidade negativa condensada. A tensão do excesso da electricidade livre na face externa da lamina C, é igual á da machina no momento da interrupção das communicacões; o que se torna evidente pela adaptacão a cada lamina de um pequeno pendulo.

O pendulo  $p$  da lamina C torna-se divergente, o que indica o excesso da electricidade positiva livre; pelo contrario o pendulo  $p'$  da lamina C' fica vertical, sem diver-



gencia, o que prova que a electricidade negativa d'esta lamina está completamente dissimulada.

§ 620. *Descarga lenta e instantanea: descargas secundarias.* Um condensador pôde descarregar-se de duas maneiras: *lentamente* ou *instantaneamente*.

1.<sup>a</sup> *Descarga lenta.* Para descarregar *lenta* ou *successivamente* um condensador, toca-se com o dedo ou com um corpo conductor, primeiramente a lamina collectora C, fig. 184, que contém um excesso de electricidade positiva livre, obtêm-se uma faísca; o pendulo *p* d'esta lamina toma a posição vertical, e no mesmo instante o pendulo *p'* da lamina C' torna-se divergente; uma parte da electricidade negativa ficou livre na lamina C', enquanto que a electricidade positiva, que fica na lamina C, fica completamente dissimulada; tocando com o dedo a lamina C', obtêm-se uma nova faísca; o pendulo *p'* d'esta lamina toma a posição vertical e o pendulo *p* da lamina C toma de novo a divergencia, o que accusa um novo excesso de electricidade positiva livre n'esta lamina. Continuando a tocar alternativamente com o dedo nas duas laminas, reproduzem-se os mesmos effeitos. Em cada contacto escôa-se uma parte da electricidade de cada lamina; no fim de uma serie de contactos as faiscas tornam-se cada vez mais fracas, até que o condensador fica completamente descarregado.

2.<sup>a</sup> *Descarga instantanea.* Descarrega-se instantaneamente um condensador, pondo em communicação as duas laminas metallicas d'este com um *excitador*. Este instrumento, fig. 185, consta de dois arcos metallicos A e B, terminados por bolas e reunidos por meio de uma charneira C; estes arcos têm dois cabos de vidro M, e M', que servem para ter o instrumento na mão, a fim de evitar alguma forte commoção, que o experimentador pôde receber quando o condensador está fortemente carregado.

Para usar d'este instrumento applica-se uma das bolas de um arco a uma das laminas do condensador e appro-



xima-se a outra bola da outra lamina; obtêm-se immediatamente uma forte faísca, que provém da recomposição instantanea das duas electricidades contrarias, accumuladas nas duas laminas; é a descarga *instantanea*. Podiamos obter a descarga instantanea, applicando uma das mãos a uma das laminas, e approximando a outra da outra lamina, obter-se-ia uma faísca, mas o experimentador receberia uma violenta commoção.

*Descargas secundarias.* O condensador não fica completamente descarregado com a primeira faísca; continuando com a experiencia, obtêm-se uma segunda faísca, depois uma terceira e muitas mais, cujas intensidades são cada vez menores, estas descargas successivas têm o nome de *descargas secundarias*.

§ 621. Limite da accumulção electrica nos condensadores. A accumulção da electricidade nas laminas do condensador não é indefinida; tem um limite. A carga electrica n'um condensador é proporçional á potencial da fonte electrica, á superficie das laminas, e está na razão inversa da espessura da lamina isolante, interposta entre ellas. Duas causas, porém, impedem que a carga chegue ao seu limite; a primeira é que, crescendo gradualmente a electricidade livre sobre a lamina collectora, a potencial sobre esta lamina vem a ser igual á potencial da fonte electrica, e esta não póde ceder mais electricidade ao condensador; a segunda é a fraca resistencia da lamina isolante á recomposição das duas electricidades.

§ 622. Garrafá de Leyde. A garrafa de Leyde, fig. 186, não é mais que um condensador, e por conseguinte póde accumular, dissimulando, grandes quantidades de electricidade. Compõe-se de um frasco de vidro de paredes delgadas, tapado com uma rolha de cortiça. Exteriormente é coberto desde o fundo até uma certa altura abaixo do gargallo por uma folha de estanho; esta cobertura, que é um dos conductores, tem o nome de *ar-*

*madura externa*; interiormente contêm folhas de ouro batido ou de cobre, outro conductor, tem o nome de *armadura interna*; uma haste metallica, atravessando a rolha, penetra nas folhas de ouro, quer dizer, que fica em contacto com a armadura interna; a parte externa d'esta haste, recurvando-se em fórma de gancho, termina por uma bola.

Carrega-se a garrafa de Leyde, fazendo communicar a armadura interna, tendo na mão a armadura externa, com uma fonte electrica, por ex.: com a machina electrica. A armadura interna, recebendo a electricidade positiva da machina, electrisa-se; por influencia decompõe a electricidade neutra da armadura externa, attrahe para si a electricidade negativa e repelle a positiva, que se escôa para a terra.

A garrafa de Leyde sendo um condensador, a armadura interna representa a lamina collectora C, e a externa a condensadora C', onde ficam accumuladas as electricidades contrarias.

Descarrega-se a garrafa de Leyde, do mesmo modo que um condensador ordinario; *lentemente e instantaneamente*. A descarga lenta ou successiva faz-se tocando o dedo alternativamente, ora na armadura interna, ora na externa; a descarga instantanea faz-se por meio de um excitador. Na descarga instantanea a primeira faisca não conduz a garrafa ao seu estado neutro, o que prova que as electricidades das armaduras se recompõem parcialmente.

§ 623. Garrafa de armaduras moveis. Esta garrafa é formada de peças que se podem separar e reunir. Compõe-se de tres peças, fig. 187: um vaso de cobre A, em fórma de cone, no qual póde entrar um outro vaso de vidro B, e este recebe um terceiro vaso metallico C, munido de uma haste, que termina por um gancho. Evidentemente estas peças, assim dispostas, constituem uma garrafa de Leyde. Depois de se electrizar, como



uma garrafa ordinaria, isola-se sobre um prato de resina. Tirando successivamente as peças, primeiramente o vaso metallico C e depois o de vidro B, as armaduras A e C voltam ao estado natural: se collocarmos de novo o vaso de cobre A sobre o prato de resina, o de vidro B no vaso A e o metallico C no de vidro, reconstitue-se a garrafa de armaduras moveis, que dá uma nova faisca, tão forte como se não tivesse sido descarregada; esta segunda faisca é uma descarga secundaria.

§ 624. *Baterias electricas.* Chama-se *bateria electrica* a reunião de muitas garrafas de Leyde, de grandes dimensões, chamadas *jarras*, cujas armaduras internas se communicam por meio de hastes metallicas, e as exteriores por meio de uma folha de estanho, que forra o fundo de uma caixa de madeira, sobre a qual ellas assentam, fig. 188; n'estas jarras as folhas de ouro ou de cobre podem ser substituidas, por causa da largura do seu gargallo, pela folha de estanho collada interiormente.

As baterias electricas produzem os mesmos effeitos que as garrafas de Leyde, mas muito mais violentos. Carregam-se fazendo communicar as suas armaduras internas com a machina electrica e as exteriores com o solo por meio de uma cadeia metallica. Descarregam-se por meio de um excitador de cabos isolantes para evitar qualquer commoção, que podia trazer graves accidentes, e mesmo produzir a morte, se a bateria fosse muito energica.

#### Effeitos da electricidade estatica

§ 625. Os effeitos da descarga electrica podem reduzir-se a effeitos *luminosos*, *calorificos*, *mechanicos*, *chimicos* e *physiologicos*; os primeiros tres modificam o estado physico dos corpos; os chimicos alteram a natureza e constituição dos corpos; e os physiologicos produzem notaveis effeitos sobre os corpos vivos.



§ 626. **Efeitos luminosos.** Quando duas electricidades, vencendo a resistencia do ar, se recompõem, produz-se sempre um desenvolvimento de luz, fuisca electrica, cuja intensidade cresce com a tensão das electricidades; e a sua côr varia com a natureza dos corpos conductores, com o ar ambiente e com a pressão. A côr da fuisca electrica é amarella, verde ou carmezim, conforme provier de duas hastes de carvão, de duas bolas de cobre prateadas, ou de duas bolas de marfim. Nos diversos gazes a centelha electrica tem diversas côres; no ar á pressão ordinaria é branca e brilhante, no ar rarefeito é rubra, no vazio é violacea. Em geral a centelha electrica é tanto mais brilhante, quanto maior for a tensão. Quando os gazes estão rarefeitos, produz-se em vez de fuisca um jacto luminoso de côr variada segundo a natureza dos gazes. A coloração da luz electrica provém do transporte da materia ponderavel.

§ 627. **Ovo electrico.** Este apparelho tem por fim mostrar os differentes effeitos da luz electrica no vazio e no ar mais ou menos rarefeito. Consta, fig. 189, de um globo de vidro de fórmula ovoide, no qual atravessam na direcção do eixo maior duas hastes de latão terminadas em bolas; a haste inferior está fixa a um pé de cobre, sobre o qual está assente o globo; e a superior é movel, para se poder approximar ou afastar da inferior. Feito o vazio no globo por meio de uma machina pneumatica, a que se pôde parafusar, e pondo em communicção a haste superior com a machina electrica, e o pé de cobre com o solo, observa-se entre as bolas, se estão muito proximas, um jacto de luz, de côr purpurina, pouco intenso e continuo, e a bola negativa com uma aureola de luz violacea. Fazendo entrar pouco a pouco o ar e afastando a haste superior, a intensidade da luz augmenta, e vem a ser branca e brilhante. Esta experiencia deve ser feita na obscuridade.

§ 628. **Tube e quadro scintillante.** O tubo scin-

tillante, fig. 190, é um tubo de vidro, no interior do qual estão collados em fórma de espiral uns pequenos lozangos metallicos, cujos vertices ficam a pequena distancia. Nas extremidades d'este tubo estão duas virolas de cobre com um gancho, em communicacão com os extremos da espiral. Communicando o gancho da virola superior á machina electrica, e tendo a inferior na mão, observam-se jactos de centelhas simultaneamente nas extremidades dos lozangos; vê-se uma espiral luminosa de um effeito muito agradavel.

*Quadro scintillante.* O quadro scintillante compõe-se de um quadro de vidro, em que estão collocadas uma serie de laminas metallicas, parallelas, mas muito proximas. Sobre estas laminas praticam-se, com um instrumento cortante, soluções de continuidade muito pequenas, de modo que representem um objecto; como uma casa, torre, flor, etc. Pondo o quadro em communicacão com a machina electrica por uma das extremidades, e com o solo pela outra, observam-se entre as soluções de continuidade centelhas, que reproduzem em traços luminosos o objecto que representam.

§ 629. *Effeitos calorificos.* A faisca electrica é uma fonte muito intensa de calor; ella determina phenomenos calorificos da mais alta temperatura. A centelha electrica reacende uma vela recentemente apagada, quando a mecha está ainda quente; inflamma liquidos combustiveis, como o alcool, o ether; incendeia a polvora, a resina em pó; funde e volatilisa metaes.

Por meio do excitador universal pôde pôr-se em evidencia a fusão do ferro e da platina.

§ 630. *Effeitos mechanicos.* Quando a descarga electrica se passa atravez dos corpos, principalmente dos máus conductores, a faisca pôde partil-os, fural-os e lascal-os, e levar para longe as partes separadas; o que se pôde demonstrar pelos apparelhos denominados *fura-cartas* e *fura-vidros*, nos quaes a faisca salta entre duas pontas



metallicas muito agudas e perforantes, dirigidas contra uma carta ou lamina de vidro. A fuisca determina o transporte da materia ponderavel; fazendo uma descarga entre duas espheras, uma de ouro e outra de prata, a primeira apparece prateada e a segunda dourada nos pontos tocados pela fuisca; existe pois um duplo transporte de metaes. O morteiro electrico prova cabalmente o effeito mechanico da fuisca electrica.

§ 631. **Effeitos chimicos.** A descarga electrica produz combinações e decomposições entre os corpos atravez dos quaes ella se faz; estes effeitos chimicos são devidos á alta temperatura, que se desenvolve nos corpos durante a passagem da centelha. Pela fuisca electrica podemos determinar a combinação entre o oxigenio e o hydrogenio, em proporções que se combinem; a fuisca decompõe um grande numero de gazes compostos, taes como o hydrogenio carbonado, o acido sulphydrico, o ammoniaco, etc.

§ 632. **Pistola de Volta.** A pistola de Volta é um apparelho que serve para mostrar o effeito chimico da fuisca electrica. Consta de um frasco de metal, tendo sobre uma das paredes uma tubuladura, na qual se acha encaixado um tubo de vidro. Por este tubo passa uma haste metallica terminada por duas bolas A e B; a bola interna B fica muito proxima da parede do frasco. Introduzem-se dentro d'este frasco dois volumes de hydrogenio e um de oxigenio, e tapa-se fortemente com uma rolha. Pegando no frasco, e pondo-o em communicação com a machina electrica, salta a fuisca electrica; ouve-se uma detonação e a rolha é projectada a uma grande distancia. A fuisca determina a combinação dos dois gazes; o vapor aquoso em consequencia da alta temperatura, dilatando-se rapidamente, faz saltar a rolha, cuja sahida occasiona a detonação.

§ 633. **Effeitos physiologicos.** Os effeitos physiologicos consistem nas commoções e excitações violentas,



quer na sensibilidade quer na contractilidade dos tecidos organicos. Quando uma pessoa recebe um choque electrico, seus cabellos se eriçam, os musculos contrahem-se rapidamente, e alteram-se os traços da physionomia.

As commoções, dadas pela garrafa de Leyde, são muito mais energicas que as dadas pela machina electrica. Estas commoções podem ser transmittidas a um grande numero de pessoas, formando uma cadeia com as mãos dadas reciprocamente. A descarga de uma bateria é muito perigosa, é necessaria muita prudencia e cautela, quando se emprega nas experiencias a bateria; ella pôde pôr em perigo a vida do homem.

### Electricidade atmospherica

§ 634. *Electricidade atmospherica.* Na atmosphaera existe sempre electricidade, ainda mesmo que esteja pura e sem nuvens. Estas tambem estão sempre electricizadas e actuam por influencia sobre os corpos collocados dentro da esphaera da sua acção. Os phenomenos, que então se produzem, têm a denominação generica de *meteoros electricos*. Os meteoros electricos são, pois, o *relampago*, o *trovão* e o *raio*.

Reconhece-se a electricidade na atmosphaera com o auxilio de differentes aparelhos, taes como os electrometros de bolas de sabugueiro, ou de folhas de ouro, ou de Saussure; pelos balões captivos, e pelos papagaios de papel terminados em ponta. A electricidade atmospherica é sensivel um metro acima do solo.

§ 635. *Electricidade habitual da atmosphaera e das nuvens.* As continuas e numerosas observações durante muitos annos, relativas ao estado electrico da atmosphaera, por muitos meteorologistas e principalmente por Mr. Palmieri, têm dado os seguintes resultados:

1.º Que a atmosphaera contém sempre electricidade

positiva livre, quer o estado do céu seja calmo, quer anuveado, com tanto que não chova, nem caia neve ou saraiva até uma certa distancia do logar da observação.

2.º Que a electricidade atmospherica cresce com a humidade e chega ao maximo no momento da queda da chuva.

3.º Que, quando chove, se manifesta electricidade positiva, circumscripta por uma zona de electricidade negativa, e esta pela zona positiva. No limite d'estas zonas a tensão electrica é nulla.

4.º Que não existem nuvens que tenham por si mesmo electricidade negativa. As nuvens são fontes de electricidade positiva, durante o tempo que se resolvem em chuva; mas por influencia podem ser circumdadas de electricidade negativa. Quando porém acontece, durante a chuva, observar-se electricidade negativa sobre o logar da observação, esta electricidade provém de uma outra chuva mais forte que cáe a distancia.

5.º Que os vapores aquosos, condensando-se, desenvolvem electricidade positiva.

6.º Que a potencial electrica do ar cresce proporcionalmente com a altura n'um céu sem nuvens.

§ 636. Causas da electricidade atmospherica. As causas da electricidade são muitas: o continuo attrito do ar contra o solo; a evaporação das aguas contendo substancias salinas; as combustões e os phenomenos da vegetação. A condensação dos vapores nas altas regiões da atmospherica é a principal causa da electricidade das nuvens.

§ 637. Relampago. O *relampago* é um traço luminoso, offuscante, projectado pela centelha electrica que salta das duas nuvens electrizadas em sentido contrario, ou de uma nuvem e do solo. A luz do relampago é branca nas regiões pouco elevadas da atmospherica; é violacea nas altas, onde o ar está rarefeito. O relampago tem muitos kilometros de comprimento.



Ha tres especies de relampagos: relampagos em *zigzag*, os que são comparados ás faiscas da machina electrica, têm uma extrema velocidade e contornos bem determinados; relampagos *circulares*, os que abraçam uma vasta extensão do horizonte sem contornos apparentes; são muito frequentes, parecem produzir-se no seio da nuvem; relampagos de *globo* são os que descem das nuvens á terra com certa lentidão, que a vista póde seguir; estes globos, muitas vezes antes de alcançar a terra, partem-se e produzem uma forte detonação. Ha tambem relampagos de *calor*, que brilham nas noites do estio, sem apparecimento de nuvens acima do horizonte e sem produzir som; são relampagos, que brilham entre as nuvens situadas abaixo do horizonte a uma distancia tal, que o som não alcança o observador.

§ 638. **Trovão.** O trovão é a detonação violenta que succede aos relampagos. É o resultado da expansão subita das camadas de ar e dos vapores que a centelha electrica atravessa. O relampago e o trovão são simultaneos; contudo observa-se um certo intervallo de tempo entre estes phenomenos, porque a velocidade do som é menor que a velocidade da luz. Sendo a velocidade do som 340 metros por segundo, é facil calcular a distancia entre o observador e o logar da producção do trovão; para isso basta contar o numero de pulsações decorrido entre o apparecimento da luz do relampago e a percepção do som do trovão e multiplicar este numero por 340.

O trovão, ouvido a pequena distancia, é secco e de curta duração; ouvido a uma distancia maior, é uma serie de detonações que se succedem rapidamente; a uma distancia muito maior é fraco no começo, depois muda-se em saccadas fortes, prolongadas, de desigual intensidade, que se assemelham ao rolar de uma bola de ferro sobre um pavimento.

§ 639. **Raio.** O raio é a descarga electrica entre uma nuvem e o solo. Uma nuvem electricada, passando por



cima do solo, decompõe por influencia a electricidade neutra dos corpos terrestres que estão sob a esphera da acção da sua actividade; attrahe para si a electricidade contraria e repelle a do mesmo nome. Se a tensão das electricidades contrarias, da nuvem e dos corpos terrestres, é sufficiente para poder vencer a resistencia do ar, então salta a faisca electrica e o *raio cáe*; se a tensão não poder vencer a resistencia do ar e a nuvem se afastar, os corpos voltam ao seu estado natural.

O raio cáe de preferencia sobre os objectos mais altos, terminados em ponta, melhores conductores e mais proximos da nuvem; por conseguinte, no tempo das trovoadas, são máus abrigos as torres, os edificios altos, as egrejas e as arvores boas conductoras; ha porém arvores resinosas, como os pinheiros, onde o perigo é menor por serem más conductoras. Dentro de casa convém fugir das peças metallicas, das janellas, das chaminés e quaesquer aberturas, que facilmente dão passagem á electricidade.

Os effeitos do raio são analogos aos das baterias electricas, mas incomparavelmente mais intensos. O raio funde os metaes, inflamma as materias combustiveis, lasca os rochedos, magnetisa o ferro, muda os polos dos magnetes e finalmente fulmina os homens e os animaes.

O raio, na sua passagem, produz um cheiro semelhante ao enxofre inflammado.

§ 640. Choque reflexo. Dá-se o nome de *choque reflexo* a uma commoção violenta, muitas vezes mortal, que sentem o homem e os animaes collocados a uma distancia ás vezes muito grande do ponto onde cáe o raio. O choque reflexo é o resultado da instantanea recomposição das duas electricidades n'um corpo, cuja electricidade neutra se havia decomposto sob a influencia de uma nuvem, influencia que cessou. Este phenomeno torna-se evidente na seguinte experiencia; se collocarmos uma rãa na vizinhança do conductor da machina electrica, carre-

gada de electricidade, a cada faisca que se tira a rãa recebe uma forte commoção, é o choque reflexo.

§ 641. Pára-raios. O pára-raios é um aparelho que tem por fim resguardar edificios, casas, estatuas, dos desastrosos effeitos do raio. Consta de uma *haste* e de um *conductor*. A haste é de ferro, de um grande comprimento, terminada em ponta de cobre ou de platina, que se colloca sobre o ponto mais elevado do edificio; o conductor é um cabo de fios de ferro, ligado ao pé da haste, que desce ao longo do edificio até o solo, no qual penetra profundamente ou dirige a extremidade para o fundo de um poço ou para um logar cheio de carvão ardido.

O emprego do pára-raios funda-se no poder das pontas e na electricidade por influencia. O pára-raios evita a queda do raio por duas razões; facilitando o escoamento da electricidade accumulada nos edificios que elle protege, ou descarregando a nuvem. Quando uma nuvem electrisada passa muito proximo do pára-raios, a electricidade desenvolvida no edificio pela influencia da nuvem, esgota-se pela ponta do pára-raios, por conseguinte impede a accumulção da electricidade sobre o edificio, e evita a queda do raio; se o pára-raios não poder dar aviamento á accumulção da electricidade, que se desenvolve continuamente pela acção da nuvem, então é elle que recebe a descarga e por conseguinte o raio, o qual é conduzido pelo conductor metallico para a terra; em todo o caso o edificio fica resguardado.

A esphera da acção protectora do pára-raios é um espaço circular de um raio, igual ao dobro do seu comprimento.

Para que um pára-raios seja effcaz, é preciso que o conductor seja continuo desde a haste até ao solo; a haste e o conductor devem ter um diametro sufficiente para não serem fundidos e volatilizados pela queda do raio sobre elles; a ponta da haste deve ser de platina ou de cobre dourado, para evitar a oxidação e facilitar a passagem da electricidade.



## CAPITULO XXXIII

**Electricidade Dynamica**

§ 642. **Galvanismo.** Dá-se o nome de *galvanismo* á parte da physica que tem por objecto o estudo dos phenomenos produzidos pela electricidade dynamica.

Galvani observou, por um feliz acaso, as vivas contracções de uma rãa morta, mutilada e suspensa a uma grade de ferro por meio de colchetes de cobre, que passavam por entre os nervos lombares e a columna vertebral, quando os membros da rãa, agitados pelo vento, tocavam a grade; impressionado por este singular phenomeno, verificou-o por experiencias directas. Galvani, espirito sagaz e penetrante, achou n'este phenomeno um principio novo. Do estudo d'este principio originou-se este importante ramo de physica, tão fecundo em maravilhosas applicações.

§ 643. **Experiencia de Galvani.** Galvani, cortando uma rãa viva pela região lombar e pondo a descoberto os nervos lombares e os musculos da perna, e tomando um conductor metallico, formado de dois arcos de zinco e cobre, introduziu uma das extremidades d'este conductor entre os nervos e a columna vertebral; e tocou com a outra extremidade os musculos da perna. Observou, fig. 191, que em cada contacto os musculos se contrahiam e se agitavam vivamente, parecendo que esta parte da rãa readquiria a vida. Esta fundamental experiencia, que abria uma nova epocha ás sciencias physicas, carecia de uma explicação convenientemente satisfatoria; Galvani deu-a, creando a seguinte theoria.



§ 644. *Theoria de Galvani.* Galvani para explicar as contracções musculares da rãa, que observou na experiencia que acima descrevemos, admittiu na rãa um fluido analogo á electricidade; este fluido, que se chamou *fluido galvanico, electricidade animal*, era inherente ao organismo animal, e passando dos nervos aos musculos pelo arco metallico conductor, determinava a contracção muscular, como o faria uma descarga electrica. A rãa, pois, era uma garrafa de Leyde; os musculos e os nervos eram armaduras externas e internas; o arco metallico, o excitador e a descarga fazia-se quando se reuniam estes órgãos pelo arco conductor.

§ 645. *Experiencia de Volta.* Volta, reconhecendo que as contracções musculares na rãa eram muito mais energicas e violentas, quando o arco metallico, arco conductor, em lugar de ser formado de um só metal, fosse composto de dois metaes, concluiu que a causa do desenvolvimento da electricidade estava no arco conductor e não nos órgãos do animal. Quiz, pelo auxilio do condensador que havia inventado, provar por experiencias que a electricidade se desenvolvia só pelo contacto de dois metaes, os quaes só pelo simples facto do contacto se electrizavam em sentidos contrarios; a rãa não era mais que um simples conductor de um electroscopio muito sensivel. Volta generalizou o seu principio, affirmando que só o contacto entre dois corpos heterogeneos era sufficiente para constituir um corpo no estado de electricidade positiva e outro no estado de electricidade negativa.

§ 646. *Theoria de Volta.* Volta admittiu que o contacto entre dois corpos heterogeneos, desenvolvia instantaneamente uma força, a que se chamou *força electromotora*; esta força decompõe o fluido neutro, e oppõe-se á recomposição dos fluidos contrarios, accumulados sobre os dois corpos em contacto. Assim, o contacto entre o cobre e o zinco gera uma força electromotora, que de-

compõe o fluido neutro d'estes corpos; transporta a electricidade positiva para o zinco, e a negativa para o cobre, dando a cada metal uma tensão electrica igual e contraria.

Volta, reconhecendo que a força electromotora variava com as substancias em contacto, dividiu os corpos em *bons electromotores* e *fracos electromotores*; os metaes e o carvão calcinado são bons electromotores; os liquidos e os corpos não metallicos são máus electromotores. Fundando-se sobre a sua theoria, que tambem tem o nome de *theoria do contacto*, Volta inventou a pilha, apparatus maravilhoso, que immortalisou o seu nome e foi a chave de brilhantes applicações.

§ 647. *Apreciação das theorias de Galvani e Volta.* Volta, querendo combater por todos os modos a theoria de Galvani, não o pôde fazer em vista da ultima experiencia d'este physico, em que se prova que o contacto das substancias homogeneas desenvolve a electricidade. Na verdade, se communicarmos entre si os dois nervos lombares das duas côxas de duas rãs, recentemente mortas, e pozermos estas côxas em contacto, observa-se uma forte contracção; vê-se que não é necessario o contacto de duas substancias heterogeneas para o desenvolvimento da electricidade, como affirmava Volta. Em vista d'esta experiencia não se pôde negar a existencia da electricidade animal, hoje posta em evidencia pelos interessantes trabalhos de Matteuci sob o nome de corrente propria de rã.

O desenvolvimento da electricidade, que Volta attribuia unicamente ao contacto das substancias heterogeneas, é hoje attribuido á acção chimica entre o zinco e a agua acidulada; esta agua é a causa principal do phenomeno, e não obra como corpo conductor, como dizia Volta, que tambem affirmava que o contacto era uma condição sufficiente, quando é uma condição necessaria para o desenvolvimento da electricidade.



Não se póde negar que o contacto entre os corpos heterogeneos produz electricidade; a theoria de Volta não exprime outra cousa, a não ser a impossibilidade de produzir a electricidade sem trabalho; o contacto entre dois corpos heterogeneos determina n'estes uma differença de potencial.

Conclue-se, pois, que o desenvolvimento da electricidade póde obter-se pelo contacto das substancias homogeneas e das heterogeneas, e pelas acções chemicas.

### Pilhas

§ 648. **Pilhas.** Dá-se o nome de *pilhas* a todos osapparelhos que têm por fim desenvolver a electricidade dinamica. As pilhas podem ser de um só liquido, *pilhas de corrente não constante*, e pilhas de dois liquidos, separados por diaphragmas, *pilhas de corrente constante*, em que os seus effeitos se conservam por muito tempo e com o mesmo gráu de energia.

As pilhas de um só liquido, ou de corrente não constante, são a pilha de Volta, a pilha de *tina* e a de *Wollaston*; as duas ultimas são modificações da primeira. As de dois liquidos são as pilhas de Daniel, de Bunsen, etc.

§ 649. **Pilha de Volta.** A pilha de Volta, ou pilha de *columna*, fig. 192, é um apparelho formado de uma serie de *pares*, compostos cada um de dois discos eguaes, de zinco e cobre, intimamente soldados, collocados uns por cima dos outros na mesma ordem, de maneira que estabelecem uma alternação regular entre os dois metaes; entre cada um d'estes pares estão collocados outros discos de panno ou de cartão, humedecidos com agua acidulada pelo acido sulphurico; esta pilha está contida entre tres columnas de vidro, fixas sobre uma base de madeira. N'esta pilha a união do zinco e do cobre em *contacto* constitue um *par* ou um elemento.



Para conhecermos como este aparelho funciona, é preciso saber que a acção chimica da agua acidulada sobre o zinco faz com que este metal se electrise positivamente, e o panno molhado em agua acidulada se electrise negativamente.

Tomemos, pois, dois pares na seguinte disposição, de cima para baixo, zinco e cobre, Z e C, panno humedecido com agua acidulada, e outro par, zinco e cobre, Z' e C'. O zinco Z' do segundo par, em contacto com a agua acidulada, electrisa-se negativamente, o panno electrisa-se positivamente; a electricidade positiva d'este passa pelo contacto ao cobre C e d'este ao zinco Z, extremo superior, e fórma o polo positivo; a electricidade negativa do zinco Z' do segundo par dirige-se para o cobre C', extremo inferior, e fórma o polo negativo; se em vez de dois pares tomássemos muitos pares, o phenomeno era identico; o zinco formaria o polo positivo, e o cobre o polo negativo.

Se supprimissemos o zinco, extremo superior, e o cobre, extremo inferior, não haveria mudança na posição dos polos.

§ 650. **Tensão da pilha.** Dá-se o nome de *tensão da pilha* ao esforço que a electricidade, accumulada nos extremos da pilha, faz para se desenvolver; isto é, para vencer as resistencias que se oppõem ao seu movimento. A tensão augmenta com o numero de pares, mas não é proporcional a este numero. Chama-se *quantidade* de electricidade a porção de electricidade que uma pilha póde produzir; esta quantidade é proporcional ás superficies dos pares, e cresce com a conductibilidade do liquido interposto nos mesmos pares.

Hoje substitue-se a palavra *tensão* pela expressão *potencial*; e chama-se *força electromotora* de um par, a differença da potencial entre os dois metaes que o compõem; quer dizer, a differença algebraica entre a electricidade positiva e negativa de dois metaes em contacto; a

expressão da potencial é  $2a$ , sendo  $+a$  a quantidade da electricidade positiva, e  $-a$  a quantidade da electricidade negativa.

§ 651. Distribuição da electricidade na pilha Voltaica. A distribuição da electricidade opera-se segundo a pilha estiver ou não isolada.

Se a pilha não estiver isolada, o extremo *cobre* estará em comunicação com o solo, a pilha ficará carregada de electricidade positiva; a potencial no extremo cobre será zero, e no zinco do mesmo par será  $2a$ ; as potenciaes dos pares seguintes serão  $4a, 6a, 8a \dots$ ; a potencial do ultimo par será  $2na$ ; sendo  $n$  o numero de pares. Logo a potencial cresce proporcionalmente ao numero de pares; as *potenciaes dos extremos* serão  $0$  e  $2na$ ; se o zinco estiver em comunicação com o solo, a pilha ficará carregada de electricidade negativa, e as potenciaes dos extremos serão  $0$  e  $-2na$ .

Se a pilha estiver isolada, os extremos d'esta ficam respectivamente electrizados, um positivamente, o outro negativamente, e a parte media conserva-se no estado neutro; a po-

tencial de um extremo será  $\frac{1}{2} n \times 2a$ , e do outro  $\frac{1}{2} \times -2a$ ;

a differença das potenciaes será  $2na$ .

§ 652. Polos, rheophorose correntes. Chamam-se *polos* da pilha os seus extremos; *polo positivo* é aquelle onde está accumulada a electricidade positiva; *polo negativo* é o extremo opposto, para onde se dirige a electricidade negativa.

Chamam-se *rheophoros*, ou *electrodos*, os dois fios metallicos, fixos aos polos da pilha e destinados a fazerem-se communicar entre si. Quando os rheophoros se communicam entre si, obtem-se uma centelha mais ou menos viva, o que mostra que a acção da pilha é continua, e reproduzem-se continuamente as duas electricidades á medida que se combinam.



Chama-se *corrente electrica* o movimento contínuo da recomposição das duas electricidades que resultam das acções chímicas na pilha, ou a transmissão electrica de um polo a outro da pilha, quando se communicam por meio dos rheophoros.

§ 653. Direcção das correntes. Quando se estabelece a communicação dos polos por meio dos rheophoros, as electricidades ali accumuladas dirigem-se uma para a outra, para se recomporem; estabelecem-se duas correntes, uma de electricidade positiva que vai do zinco para o cobre, outra de electricidade negativa que caminha do cobre para o zinco; analogo effeito deve produzir-se na propria pilha; de modo que a pilha e os rheophoros em communicação formam um circuito completo, que as duas electricidade percorrem em sentidos contrarios.

Para facilitar a explicação dos phenomenos produzidos pelas correntes, convencionou-se considerar sempre a corrente de electricidade positiva como partindo do polo positivo para o polo negativo, fig. 193, pelo fio conductor no exterior da pilha; emquanto que a corrente de electricidade negativa partia do polo negativo para o polo positivo pelo interior da pilha.

Segundo a nova theoria da electricidade a corrente electrica é só n'um sentido, do polo positivo ao polo negativo; é o *fluxo* do ether, da parte condensada para a parte rarefeita, sob a fórma de ondas successivas, obrando pela sua massa e pelo seu deslocamento ondas que não se confundem de maneira alguma com as ondas luminosas.

§ 654. Modificações na pilha de Volta. A pilha de Volta apresenta muitos inconvenientes. A intensidade da corrente decresce rapidamente e a pilha fica inactiva em breve tempo, porque a compressão dos pares sobre os discos de panno humedecido determina o esgoto do liquido, e por conseguinte a seccagem dos pannos; por este motivo a intensidade da acção chímica decresce, e



torna-se em breve tempo nulla; além d'isto, a fluxão do liquido no exterior dos pares determina correntes secundarias que destroem a corrente principal; a estes inconvenientes accresce um outro, que é a difficuldade na sua montagem, quando o numero de elementos for consideravel.

Para evitar estes inconvenientes imaginaram-se muitas outras pilhas, que hoje estão em desuso.

*Pilha de tina.* Esta pilha, fig. 194, é formada de uma caixa rectangular de madeira, revestida interiormente de uma substancia isoladora, na qual estão fixos verticalmente os pares, zinco e cobre, de dimensão egual á secção da caixa. Os intervallos eguaes entre estes pares formam outros tantos compartimentos distinctos, que se enchem de agua, levemente acidulada pelo acido sulphurico; este liquido, substitue a rodela de panno humedecido da pilha de columna. Os rheophoros estão fixos ás duas laminas de cobre, que se mergulham nos compartimentos extremos. Este aparelho é a pilha de columna horizontal.

*Pilha de Wollaston.* Nas pilhas precedentemente descriptas utiliza-se para a acção chimica uma face da lamina de zinco, e uma da lamina de cobre. Para evitar este inconveniente e augmentar a intensidade da corrente, *Wollaston* imaginou uma pilha, cuja disposição representa a fig. 195, onde *abs* é uma lamina de cobre recurvada em angulo recto, cuja porção horizontal *ab* está fixa a uma travessa *GH* de páu, que repousa sobre dois supportes *MM'*, emquanto que a porção vertical *bs* está soldada a uma lamina de zinco *Z*; esta união do cobre e zinco constitue o primeiro par.

Ao redor da placa de zinco *Z* está uma segunda lamina de cobre *a'b'cd*, triplamentente recurvada sobre si mesma; a curvatura *a'b'* envolve a lamina de zinco; a parte horizontal está fixa á travessa de páu, e a parte *cd* está soldada em *d* a uma outra placa de zinco *z'*; o que fórma o segundo par; e assim succedem todos os outros pares

na mesma ordem. Por baixo d'estes pares estão collocados vasos de vidro com agua acidulada pelo acido sulphurico. Para pôr em actividade a pilha, basta immergir cada um dos pares nos vasos correspondentes, abaixando a travessa GH. O primeiro cobre do primeiro par representa o polo negativo, e o cobre do ultimo par o polo positivo.

Mr. Munch simplificou esta pilha, substituindo os vasos por uma tina commum de páu, revestida interiormente de uma substancia isoladora, na qual faz mergulhar todos os pares.

§ 655. *Pilhas seccas.* As *pilhas seccas* são aquellas em que os discos do panno humedecido pela agua acidulada são substituidos por uma substancia solida hygrometrica. Construem-se estas com extrema facilidade. Tome-se uma folha de papel, estanhado por uma face, e sobre a outra fixe-se com colla bioxido de manganez; assim tem-se um par. Sobrepondo-se muitos d'estes pares na mesma ordem, de modo que o estanho de cada folha esteja em contacto com o bioxido de manganez da folha seguinte, e comprimindo-os por meio de discos de cobre, collocados nas extremidades, fórma-se a pilha secca. O disco de cobre que corresponde ao bioxido de manganez representa o polo positivo; o disco da extremidade oposta é o polo negativo.

Estas pilhas são notaveis pela duração da sua acção, que se prolonga muitos annos; a sua energia depende do numero de pares, da temperatura e do estado hygrometrico do ar.

§ 656. *Electricidade desenvolvida pelas acções chemicas.* Todas as acções chemicas, as oxidações, as combinações dos acidos com as bases, as acções dos acidos sobre os metaes, desenvolvem electricidade com mais ou menos abundancia. Se fixarmos uma lamina de zinco a uma das extremidade de um fio de um galvanometro, e uma lamina de cobre a outra extremidade, e se mer-



gulharmos estas duas laminas em agua acidulada pelo acido sulphurico, observamos que a agulha se desvia, e o sentido do desvio faz ver que o zinco se electriza negativamente e o liquido positivamente.

O desenvolvimento da electricidade pelas acções chemicas está submettido ás seguintes leis:

1.<sup>a</sup> *Na combinação do oxigenio com um outro corpo este electriza-se negativamente, o oxigenio electriza-se positivamente.*

2.<sup>a</sup> *Na combinação de um acido com uma base esta electriza-se negativamente, e o acido positivamente.*

3.<sup>a</sup> *Na acção de um acido sobre um metal este electriza-se negativamente, e o acido positivamente.*

4.<sup>a</sup> *Nas decomposições chemicas os effeitos electricos são inversos dos precedentes.*

A quantidade de electricidade desenvolvida pelas acções chemicas é enorme.

§ 657. *Theoria chimica da pilha.* Chama-se *par* ou *elemento* da pilha, segundo esta theoria, um systema de duas laminas de zinco e cobre, não juxtapostas e immersas na agua acidulada: a *pilha* é, pois, uma serie de pares reunidos de tal modo, que o zinco de cada um d'elles fica em comunicação metallica com o cobre do par seguinte.

Supponhamos um par, zinco e cobre, immersos em agua acidulada pelo acido sulphurico. Em virtude da acção chimica entre o zinco e a agua acidulada pelo acido sulphurico desenvolve-se uma força electromotora; o zinco electriza-se negativamente e a agua positivamente; a electricidade positiva da agua passa para a lamina de cobre. Se as laminas não estiverem reunidas por um conductor, ellas, carregando-se de electricidades contrarias, adquirirão uma tensão, capaz de equilibrar a acção chimica, que tende a fornecer quantidades de electricidade. Se as laminas se unirem por meio de um conductor, as electricidades recompor-se-hão e a força electromotora



produzirá novas quantidades de electricidade. O polo positivo corresponde ao cobre, e o negativo ao zinco.

Se a pilha for composta de muitos pares, a acção chimica será analoga em cada um d'elles; e a potencial final será proporcional ao numero de pares.

A theoria chimica da pilha fica reduzida ás seguintes leis:

1.<sup>a</sup> A acção chimica, em cada *par* ou *elemento*, desenvolve uma força electromotora, que electriza o zinco negativamente e o cobre positivamente.

2.<sup>a</sup> A força electromotora communica aos elementos de cada par uma differença potencial constante, e esta cresce proporcionalmente ao numero de pares.

3.<sup>a</sup> A potencial em cada par faz equilibrio á força electromotora, enquanto o circuito não está fechado e a acção chimica dura.

4.<sup>a</sup> Fechado o circuito por um conductor, as electricidades contrarias recompõem-se e a acção chimica recomeça; um fluxo continuo de electricidade do polo positivo dirige-se ao polo negativo pelo conductor; é a *corrente*.

Chamam-se *electrolysação* os effeitos chimicos, produzidos pelas correntes.

§ 658. Correntes secundarias. Chamam-se *correntes secundarias* as que se produzem na pilha em sentido contrario á corrente principal, e que tendem a neutralisar esta, em parte ou na totalidade; produzem-se estas correntes pelos depositos que se formam nas laminas dos pares.

---

## CAPITULO XXXIV

**Pilhas de dous liquidos**

§ 659. Pilhas de dous liquidos. Estas pilhas, que tambem se denominam pilhas de *corrente constante*, porque os seus effeitos se conservam por muito tempo e com o mesmo gráu de energia, contêm dois liquidos, separados um do outro por diaphragmas porosos.

As pilhas de dois liquidos têm notavel vantagem sobre as de um só liquido. N'estas, como temos visto, a corrente enfraquece em breve tempo, e a causa d'este enfraquecimento é devida á transformação do acido sulphurico em sulphato de zinco, á decomposição d'este sal pela corrente interior da pilha, e aos depositos de zinco e de hydrogenio sobre as laminas de cobre; d'estes depositos resulta uma nova pilha, que produz uma corrente secundaria que enfraquece a primeira. Nas pilhas de dous liquidos não ha formação dos depositos de zinco e de hydrogenio sobre as laminas de cobre; o acido da pilha conserva o mesmo gráu de concentração.

As principaes pilhas de dous liquidos são a de Daniel, de Bunsen, de Minoto, de Leclanché e de bichromato de potassa. O estudo d'estas pilhas reduz-se ao estudo de um seu elemento ou par.

§ 660. Pilha de Daniel. O elemento ou par d'esta pilha, fig. 196, compõe-se de um vaso exterior V de vidro, o qual recebe um cylindro de cobre C, aberto pelas suas extremidades e com orificios lateraes; na parte superior d'este cylindro ha uma regueira circular tambem

com buracos. Dentro d'este cylindro está um vaso de terra porosa T, o qual contém um outro cylindro de zinco amalgamado e aberto pelas extremidades. Os dois cylindros de cobre e zinco têm duas linguetas metálicas, ás quaes estão fixos os dois rheophoros por meio de parafusos.

Para usar esta pilha deita-se no vaso exterior de vidro V uma dissolução de sulphato de cobre, até que alcance a regueira circular do vaso de cobre, onde se depositam alguns crystaes de sulphato de cobre; deita-se no vaso da terra porosa T agua acidulada com acido sulphurico; os crystaes na regueira servem para manter o mesmo gráu de concentração á dissolução do sulphato de cobre.

*Acção chimica da pilha de Daniel.* Emquanto os rheophoros se não communicam, a pilha fica inactiva; mas, logo que se estabeleça a communicação entre os fios conductores, observa-se a corrente, cuja intensidade póde ficar constante durante muito tempo. A reacção chimica, em cada elemento, é a seguinte; a agua, em presença do zinco e do acido sulphurico, decompõe-se em oxygenio e hydrogenio; o oxygenio combina-se com o zinco e fórma oxido de zinco; o zinco electriza-se *negativamente*; o hydrogenio, passando atravez do vaso de terra porosa, actua sobre o sulphato de cobre, decompõe-no em acido sulphurico e oxido de cobre, e depois reduz o oxido de cobre, quer dizer, decompõe o oxido de cobre em oxygenio e cobre; o oxygenio combina-se com o hydrogenio e fórma agua; o cobre electriza-se *positivamente*, fica adherente ao cylindro de cobre e transmite-lhe a electricidade positiva. O acido sulphurico, passando atravez do vaso poroso, combina-se com o oxido de zinco e transforma-se em sulphato de zinco.

O effeito resultante d'estas acções chemicas é manter constantemente a energia da corrente, transformando successivamente no vaso poroso a agua e o acido sulphurico em sulphato de zinco, e no vaso exterior uma



transformação inversa de um mesmo numero de equivalentes de sulphato de cobre em acido sulphurico, agua e cobre metallico.

Na pilha de Daniel o polo positivo corresponde ao cobre, e o negativo ao zinco, contrario á pilha de Volta.

§ 661. *Pilha de Bunsen.* Cada elemento d'esta pilha, que tambem se chama *pilha de carvão*, consta de quatro peças, que se collocam umas dentro das outras, fig. 197. Um vaso exterior F, de vidro ou de grés, contém um cylindro ôco Z, de zinco amalgamado; dentro d'este acha-se um vaso de terra porosa, que contém um prisma de carvão, C, formado de uma mistura intima de cooke e de hulha, bem pulverisada. Duas laminas de cobre fixas ao zinco e ao carvão servem para estabelecer os rheophoros.

Para pôr esta pilha em actividade deita-se no vaso exterior agua acidulada pelo acido sulphurico, e no vaso da terra porosa acido azotico ordinario. Uma pilha de muitos elementos ou pares consiste na reunião de pares semelhantes, em que o carvão de um par communica com o zinco do par seguinte por meio de laminas de cobre recurvadas.

*Acção chimica da pilha de Bunsen.* A acção d'esta pilha começa logo que se estabelece a communicação entre os seus polos. A reacção chimica em cada elemento é a seguinte: a agua decompõe-se, sob a influencia do zinco e do acido sulphurico; o oxigenio combina-se com o zinco e fórma oxido de zinco, o qual se combina com o acido sulphurico e fórma sulphato de oxido de zinco; o zinco electriza-se *negativamente*. O hydrogenio, atravessando o vaso de terra porosa, transforma o acido azotico em acido hypoazotico, do qual uma parte se dissolve e a outra se desenvolve. O carvão por effeito d'esta reacção electriza-se positivamente. N'esta pilha o polo positivo corresponde ao carvão, e o negativo ao zinco. A pilha de Bunsen é a mais energica de todas as pilhas de corrente constante,

§ 662. Temos visto que nas pilhas de Daniel e de Bunsen se emprega o zinco amalgamado, quer dizer, combinado com o mercurio. O zinco puro não é atacado pelo acido sulphurico diluido; o zinco do commercio, que não é puro, é pelo contrario fortemente atacado; o zinco amalgamado é atacado pelo acido sulphurico quando os polos se communicam; além d'isto, tem a vantagem de dar uma corrente regular e intensa.

§ 663. Pilha de Minotto. Cada elemento d'esta pilha compõe-se de um vaso de vidro, tendo no seu fundo um disco de cobre, e por cima d'este uma camada de sulphato de cobre pulverisado; por cima d'esta camada uma outra de areia, e por cima d'esta um cylindro ou uma espiral de zinco. O disco de cobre póde ficar entre o sulphato de cobre ou sobre este.

Para usar d'esta pilha deita-se agua no vaso de vidro; desenvolve-se a electricidade, e a corrente no fim de tres dias adquire a maxima tensão. O polo positivo fica no cobre e o negativo no zinco. Ao disco de cobre liga-se um fio de cobre isolado dentro de um tubo de vidro, ao qual se fixa o rheophoro positivo.

A acção chimica n'esta pilha é analoga á da de Daniel.

§ 664. Pilha de Leclanché. O elemento d'esta pilha compõe-se de um vaso de vidro de fórma quadrangular ou circular, com uma depressão onde se collocam varetas de zinco em fórma de helice; dentro d'este vaso está um outro vaso de terra porosa com um prisma de carvão.

Usa-se esta pilha, deitando no vaso de vidro uma dissolução de chlorhydrato de ammoniaco, e no vaso poroso peroxydo de manganez e agua. O zinco electriza-se negativamente e o carvão positivamente.

A acção chimica é a seguinte: a agua decompõe-se em oxigenio e hydrogenio; o oxigenio combina-se com o zinco e fórma oxido de zinco; o hydrogenio decompõe o chlorhydrato de ammoniaco em acido chlorhydrico e



ammoniaco; o oxido de zinco combina-se com o acido chlorhydrico e fórma chlorhydrato de oxido de zinco; este metal electriza-se negativamente. O hydrogenio combina-se com o ammoniaco e fórma ammonio, que, atravessando o vaso de terra porosa, actua sobre o per-oxido de manganez e electriza o carvão positivamente.

§ 665. Pilha de bichromato de potassa. Esta pilha póde ser de dous liquidos ou de um só liquido; quando é de dois liquidos, não differe da de Bunsen senão na substituição do acido azotico por uma solução de bichromato de potassa, á qual se ajunta acido sulphurico; esta pilha fórma depositos de oxido de chromo sobre o zinco, e produz uma corrente pouco intensa. Quando é de um só liquido, o seu elemento compõe-se de duas placas de zinco e entre estas uma placa de carvão; todas estas tres placas estão fixas a um disco de caoutchouc, endurecido e immerso no vaso de vidro, que contém a solução de bichromato de potassa com acido sulphurico.

#### Efeitos geraes da electricidade dinamica

§ 666. Os efeitos da electricidade dinamica differem dos da electricidade estatica; estes procedem da recomposição instantanea de duas electricidades de forte tensão; aquelles provêm de uma recomposição lenta das duas electricidades de tensão fraca, quando o circuito está fechado.

Os efeitos das correntes podem ser: *physiologicos*, *physicos*, *chimicos* e *magneticos*. Os efeitos *physicos*, que comprehendem efeitos *calorificos*, *luminosos* e *mechanicos*, dependem da quantidade de electricidade desenvolvida na pilha, e por conseguinte da superficie dos pares. Os efeitos *chimicos* e *physiologicos* dependem da tensão, e por conseguinte do numero de pares.



## Efeitos physiologicos das correntes

§ 667. Efeitos physiologicos. Estes efeitos manifestam-se pelas commoções, contracções musculares e sensações dolorosas nos animaes vivos, ou recentemente mortos, quando sobre elles actua a corrente de uma pilha energica. Foram observados primeiramente por Galvani, sobre rãs mortas de fresco, observação que veio a produzir a descoberta da electricidade dinamica.

Se tomarmos em ambas as mãos, humedecidas com agua acidulada, os dois rheophoros de uma pilha em actividade, sente-se uma commoção tanto mais violenta, quanto maior for o numero de elementos da pilha; se este numero for mais ou menos consideravel, a commoção será desagradavel, perigosa, e póde causar a morte. A pilha de dois mil pares, do Instituto real de Londres, fulmina um boi ou um cavallo.

O effeito da corrente sobre os nervos sensitivos, manifesta-se pela dôr; sobre os nervos motores, pela commoção; sobre os musculos, pela contracção; todos estes effeitos sentem-se quando se fecha ou se abre o circuito.

Por effeito da corrente todos os actos da vida se re-produzem, mas imperfeitamente, nos animaes recentemente privados d'ella, e parecem simular a renovação dos actos vitaes. Os coelhos e as lebres, asphixiados, voltam á vida, applicando-lhes a corrente galvanica meia hora depois. Sob a acção de uma corrente, de uma pilha de 100 elementos, convenientemente applicada á cabeça de um boi recentemente abatido, observa-se o abrir dos olhos, o dilatar das narinas, o movimento da lingua e das orelhas. A cabeça e o tronco de um guilhotinado, manifestam movimentos musculares, que parecem ter vida, quando se lhes applica uma corrente muito forte; com a mesma corrente chegam-se a produzir nos animaes, con-

tracções do coração, movimentos da caixa thoracica, do pulmão e do diaphragma uma hora depois de mortos.

A electricidade dynamica tem sido applicada na cura das doenças de mil maneiras, principalmente para reanimar a sensibilidade, mobilidade e contractibilidade dos systemas nervoso e muscular.

### Efeitos calorificos das correntes

§ 668. Efeitos calorificos das correntes. A observação mostra que a temperatura se eleva no circuito percorrido por uma corrente electrica, tanto mais quanto maior for a conductibilidade e menor o diametro do conductor. Quando uma corrente percorre um fio metalico de um certo diametro e comprimento, aquece-o, torna-o rubro e incandescente, funde-o e volatilisa-o. Uma pilha de Bunsen de 40 elementos é capaz de fundir e volatilisar fios de ferro, zinco, cobre, prata, ouro e platina.

Despretz, com uma pilha de 600 elementos de Bunsen chegou a fundir o carbonio e transformou o diamante em graphite.

Os liquidos aquecem pela travessia de uma corrente electrica, atravez da sua massa, tanto mais quanto mais intensa for a corrente, e o liquido menos bom conductor.

O movimento de translação do ether, que constitue a corrente electrica, apresenta todos os caracteres de movimento dos liquidos; assim, a sua velocidade está na razão inversa da secção do conductor. Nos efeitos calorificos notam-se as seguintes leis:

1.<sup>a</sup> *A temperatura final do fio, percorrido pela corrente electrica, é a mesma em toda a sua extensão, sendo constante a intensidade da corrente e o diametro do fio.*

2.<sup>a</sup> *A temperatura é inversamente proporcional ao quadrado da secção.*

3.<sup>a</sup> *A intensidade da corrente é a mesma em todos os pontos.*

§ 669. O calor produzido na pilha é devido á dupla acção chimica da oxidação do zinco e da combinação do oxido d'este metal com o acido sulphurico; é proporcional ao numero de equivalentes gastos, para produzir a corrente electrica. Esta tem por fim transportar, sem o produzir, para todos os pontos do circuito, o calor desenvolvido na pilha. A força electromotora na pilha traduz-se, pois, em calor, e este póde converter-se em trabalho; a pilha não é mais que uma machina de fogo, em que a combustão do carbonio é substituida pela combustão do zinco, e capaz de produzir um trabalho determinado, equivalente ao calor que desaparece no circuito; a experiencia assim o demonstra.

### Efeitos luminosos das correntes

§ 670. *Efeitos luminosos das correntes.* Os efeitos luminosos da pilha manifestam-se pelas centelhas, pela incandescencia dos metaes, que reúnem os polos, e pelo arco voltaico.

Quando se tocam as extremidades dos rheophoros, ou se interrompe o circuito de uma pilha muito energica, observa-se uma centelha, tanto mais forte quanto maior for o numero de seus elementos.

Se unirmos os dois polos de uma pilha, de uma certa tensão, por um fio de ferro ou de platina de certa grossura, para não ser fundido, nota-se que elle vem a ser incandescente, e dá uma luz muito brilhante; se o fio for em espiral, o effeito luminoso augmenta. É a *luz electrica*.

Se communicarmos os rheophoros de uma pilha, com dois pequenos cones de carvão de coke, bem calcinado,



collocados um defronte do outro, pelos seus apices, a pequena distancia, obtem-se a luz electrica de um bello effeito.

§ 671. Luz electrica. Arco voltaico. Para se obter a luz electrica com todo o seu brilho tomem-se dois pequenos cones de carvão de coke calcinado, *a* e *b*, fig. 198, colloquem-se estes carvões, um em frente do outro, pelos seus vertices, mas a uma distancia muito proxima; o carvão *b* fica fixo, e o carvão *a* pôde elevar-se ou abaixar-se como se quizer por meio de uma cremalheira; faça-se passar por elles, por meio dos conductores *c* e *c'*, uma corrente de uma forte pilha. Vê-se logo apparecer na junção dos cones, uma luz offuscante de tal modo viva, que se pôde comparar com a do sol. Se augmentarmos a distancia que separa os cones, elevando o carvão *a*, observa-se um arco luminoso, de uma intensidade notavel, extendendo-se de um carvão a outro; este arco é o *arco voltaico*.

O comprimento do arco voltaico varia com a intensidade da corrente; e a sua temperatura é das mais intensas que se conhecem.

No ar os carvões diminuem de volume, porque se gastam; o carvão positivo escava-se, e o negativo alonga-se. No vacuo não ha combustão; comtudo o carvão positivo diminue de volume e o negativo augmenta; o arco voltaico produz-se tambem na agua, mas é menos brilhante.

§ 672. Transporte da materia ponderavel pelo arco voltaico. Durante a producção do arco voltaico entre os dois cones de carvão, observa-se que o carvão positivo decresce lentamente, e a sua extremidade se escava, e o carvão negativo augmenta; segue-se, pois, que existe um transporte das moleculas do carvão positivo para o carvão negativo. Se o arco voltaico fosse entre duas hastes de dois metaes differentes cobre e prata, por ex., observar-se-ia um reciproco transporte dos dois

metaes; o cobre passaria para a haste de prata, e a prata para a haste de cobre. O transporte da materia do polo positivo para o negativo é mais abundante.

O arco voltaico é, pois, o resultado de um transporte da materia propria do carvão, do polo positivo para o negativo, em que as particulas do carvão, tornando-se incandescentes pela passagem da corrente, produzem a luz electrica.

O transporte das particulas de carvão facilmente póde determinar-se, projectando, sobre um alvo na camara escura, por meio de uma lente a imagem de dois cones de carvão incandescentes.

§ 673. *Lampadas electricas. Reguladores.* Chamam-se *lampadas electricas* os apparatus productores da luz electrica. Para que a luz electrica dure algum tempo n'uma alampada, é necessario approximar os carvões, á medida que a sua distancia augmenta, por causa dos seus desgastes; para conseguir este effeito empregam-se uns apparatus, chamados reguladores.

Chamam-se *reguladores da luz electrica* os apparatus que, na producção do arco voltaico, servem para manter constante a distancia entre os dois cones de carvão, e conservar fixo o ponto luminoso. Com o desgaste progressivo dos carvões, no arco voltaico, a distancia que os separa, vem a ser consideravel; por conseguinte o arco voltaico extingue-se, por não poder passar a corrente; tornam-se, pois, necessários reguladores para a duração da luz electrica por algum tempo.

Mr. Foucault inventou um regulador, que fazia andar os dois cones de carvão, um para o outro, com velocidades proporcionaes aos seus desgastes. A mesma corrente, que produzia a luz electrica, preenchia as funcções de regulador passando por um electro-magnete; para o que havia um movimento de relojoaria ou o peso da haste, que sustenta o cone superior, tendendo constantemente, por meio de uma serie de ingrenagens, a approximar os



carvões. Estes reguladores, com quanto muito engenhosos, são muito complicados.

§ 674. *Vela carbonica de Jablochkoff.* Uma lam-pada electrica, deve satisfazer a duas condições; 1.<sup>a</sup> manter constante a distancia entre os dois cones de carvão; 2.<sup>a</sup> conservar fixo o centro luminoso. A vela carbonica de Jablochkoff satisfaz com rigor á primeira condição, mas não satisfaz á segunda.

A invenção de Jablochkoff, consiste em duas velas de carvão, verticaes, parallelas, uma ao lado da outra e separadas em toda a sua extensão por uma lamina de gesso ou de koolin; as extremidades inferiores d'estas velas communicam com o apparelho productora da electricidade, e as superiores ficam livres. Fazendo passar uma corrente de uma forte pilha, forma-se o arco voltaico nas extremidades superiores das velas, e a extremidade da lamina isolante funde-se e volatilisa-se; as velas ardem lentamente até á sua base, e a lamina abaixa-se com os carvões.

A grande descoberta de Jablochkoff consiste, segundo diz Luiz Figuiet, em evitar qualquer apparelho de aproximação dos carvões; a lamina de gesso, que medeia entre duas velas, desempenha este papel.

As velas carbonicas gastam-se desigualmente; a vela positiva gasta-se duas vezes mais depressa que a negativa; a extremidade da vela positiva abaixar-se-ha mais depressa que a extremidade da vela negativa, o que interromperia o arco voltaico. Para evitar este inconveniente usa-se, não de correntes contínuas, como nas pilhas ordinarias, mas de *correntes alternativas*, quer dizer que cada polo é alternativamente positivo ou negativo; com esta combinação as velas gastam-se rigorosamente com igual velocidade; por conseguinte a distancia entre ellas é constante, mas a situação do ponto luminoso abaixa.

Este abaixamento do ponto luminoso torna o apparelho inapplicavel em todas as circumstancias onde é



necessario um ponto luminoso fixo, como por ex. nos pharoes. Se applicassemos um regulador de elevação á vela carbonica de Jablochhoff, facilmente teriamos a fixidez constante do ponto luminoso.

O brilho da luz electrica é incommodativo e insupportavel á vista; porisso empregam-se em roda das velas globos de *vidro-opala*, que diffundem a luz, tornando-a inoffensivel á vista.

Como estas velas se gastam depressa, e ha precisão de serem renovadas frequentemente, estabelecem-se em cada globo quatro velas, dispostas sobre um suporte de tal modo, que, quando uma se acaba, possa fazer passar a corrente, por meio de um commutador, á vela seguinte, o que permite obter uma illuminação continua durante algumas horas.

§ 675. **Propriedades e intensidade da luz electrica.** A luz electrica tem as mesmas propriedades que a luz solar; ella aquece, funde e volatilisa as substancias mais refractarias, como o carvão, o boro, o scilicio e a platina; promove combinações e determina decomposições dos corpos compostos; com o auxilio de um prisma decompõe-se, e dá um espectro analogo ao espectro solar; porém differe d'elle pela presença de certas riscas brilhantes, cujas côres e disposição variam segundo a natureza dos rheophoros. A luz electrica, como a luz solar, desenvolve a materia verde dos vegetaes. Applicada á photographia, dá magnificas provas, notaveis pela vivacidade de tons.

A intensidade da luz electrica depende do numero de elementos, e da espessura da lamina que separa os dois cones de carvão; com 47 elementos de Bunsen, e com 7 millimetros de distancia, acha-se que equivale a 572 velas. A experiencia mostra que ella cresce com a superficie dos pares.

§ 676. **Effeitos mechanicos das correntes.** As correntes transportam materia ponderavel. O transporte

das moléculas do carvão no arco voltaico, o movimento dos globulos de mercurio, e o transporte dos liquidos pelas correntes não carecem de duvida; este transporte de materia faz-se sempre no mesmo sentido, do polo positivo para o negativo.

É pelo effeito mechanico das correntes que se fazem mover os barquinhos na agua, elevar os balões e cantar as aves embalsamadas.

No meio da nave do majestoso Palacio da Industria em Paris, onde se effectuou a exposição internacional de electricidade, ha um tanque em cuja agua desliza um lindo barco movido pela electricidade, invento engenhoso de Mr. Trouvé; no mesmo palacio tambem se encontra o balão electrico de Mr. Tissandier, movido pela corrente electrica, e variados brinquedos electricos, como aves cantando mechanicamente, canarios despertadores, productos de industria de Mr. Houlmann.

### Effeitos chimicos das correntes

§ 677. Effeitos chimicos das correntes. Os effeitos chimicos da pilha consistem na decomposição dos corpos compostos em que passa a corrente electrica. Pela corrente voltaica pôdem decompor-se a agua, oxidos metallicos, compostos binarios e saes. A força decomponente das correntes é enorme; a intensidade dos effeitos chimicos depende do numero de elementos, e não da sua superficie.

A descoberta dos effeitos chimicos das correntes fez nascer importantes industrias, como a galvanoplastia, a douradura e a prateadura, cujo desenvolvimento é progressivo de dia para dia.

§ 678. Dá-se o nome de *electro-chimica* á sciencia que tem por fim decompor os corpos pelas correntes

voltaicas; é uma sciencia de um importantissimo proveito para as artes.

Dá-se o nome de *electrolysação* ao acto de decomposição das substancias pelas correntes; e *electrolytos* aos elementos completamente separados pela *electrolysação*.

Na *electrolysação* observa-se que umas substancias se dirigem para o polo positivo, e outras para o polo negativo; as que vão para o polo positivo estão carregadas de electricidade negativa e denominam-se *electro-negativas*; as que vão para o polo negativo estão carregadas de electricidade positiva e denominam-se *electro-positivas*.

§ 679. *Decomposição da agua.* Para decompor a agua por meio das correntes, tome-se um vaso de vidro cujo fundo seja atravessado por duas hastes de platina, que terminem exteriormente por ganchos, a que se prendem os rheophoros de uma pilha. Enche-se o vaso de agua ligeiramente acidulada, e cobrem-se as duas hastes com duas eprovetas graduadas, H e O, fig. 199. Pondo a pilha em acção, vemos em breve tempo pequenas bolhas atravessarem o liquido e elevarem-se nas eprovetas. O gaz que se desenvolve no polo positivo, e se accumula na eproveta O, é o oxigenio puro; e o que se desenvolve no polo negativo, e se accumula na eproveta H, é o hydrogenio, tambem puro. Algum tempo depois observa-se que o volume do hydrogenio é o dobro do do oxigenio.

A decomposição dos oxidos pelas correntes opera-se do mesmo modo; o oxigenio dirige-se para o polo positivo e o metal para o polo negativo.

A pilha decompõe todos os saes soluveis, quando o acido e a base são estaveis; o acido vai para o polo positivo e a base para o polo negativo; mas, quando a base é um oxido facilmente reductivel, ella decompõe-se, e o seu oxigenio vai com o acido para o polo positivo, e o metal para o polo negativo.



§ 680. **Voltmetro; unidade de intensidade; equivalente electrico.** O apparatus que se emprega para decompor a agua pelas correntes tem o nome de *voltmetro*, porque serve para medir as intensidades das correntes energicas pela quantidade de gaz accumulado nas eprovetas em um tempo dado; visto estas quantidades serem proporcionaes á intensidade das correntes.

Chama-se *unidade de intensidade da corrente* a intensidade da corrente que desenvolve em um minuto uma gramma de hydrogenio; por conseguinte a intensidade de uma corrente mede-se pelo peso de hydrogenio, que se desenvolve no voltmetro em um minuto.

Dá-se o nome de *equivalente electrico* á quantidade de electricidade, necessaria para decompor um equivalente de agua.

### Galvanoplastia

§ 681. A *galvanoplastia* é a arte de applicar sobre a superficie de um objecto qualquer camadas de metal, precipitando-o de uma dissolução salina por meio de uma corrente voltaica; ou, é a arte de dar a um metal a fórma que se quer por meio da corrente; isto é, modelar o metal. Por meio d'esta arte pôde reproduzir-se uma medalha, um baixo ou alto relevo, ou revestir com uma camada metallica certos objectos, como as estatuas de gesso, flores, etc.

Para reproduzir uma medalha, tira-se primeiramente o molde d'esta, que pôde ser de cera, gesso, gutta-perche; liga-se este molde ao rheophoro negativo de uma pilha, e introduz-se n'um vaso, que contenha uma dissolução saturada de cobre; n'esta mesma dissolução faz-se immergir, a pouca distancia do molde, uma lamina de cobre, fixa ao rheophoro positivo; vinte e quatro horas depois o molde está coberto de uma camada de cobre de uma sufficiente espessura. Destacando esta camada de cobre,

obtêm-se traços fieis, correspondentes do molde, com a differença de corresponderem os relevôs do molde ás escavações da camada de cobre, e as escavações do molde ao relevo do cobre; d'este modo acha-se a reproducção exacta do original.

Para applicar uma camada metallica sobre a superficie de um corpo, por ex. sobre uma estatua de gesso; *metallisa-se* primeiramente a superficie d'este corpo, quer dizer, applica-se sobre a superficie d'este corpo, com uma fina escova, uma camada de plumbagina, a fim de se tornar bom conductor para com facilidade se depositar o metal; depois opera-se como se opera para a reproducção das medalhas.

*Douradura e prateadura.* A douradura e prateadura galvanica conseguem-se do mesmo modo com a differença das dissoluções. Para *dourar* emprega-se uma dissolução composta de 100 partes de agua, 10 de cyanureto de potassio e 1 de chlorureto de ouro; e o rheophoro positivo tem uma lamina de ouro. Para *pratear* emprega-se a mesma dissolução, substituindo o chlorureto de ouro pelo chlorureto de prata; e o rheophoro positivo tem uma placa de prata.

---

## CAPITULO XXXV

**Efeitos magneticos das correntes**

§ 682. Efeitos magneticos das correntes. Muitos factos, taes como a influencia das descargas electricas sobre os magnetes; o rapido desvio da agulha magnetica de uma bussola na occasião das tempestades; a perda do seu magnetismo e a inversão dos seus polos pelo apparecimento dos meteoros electricos de certo fariam prever os physicos da existencia de relações muito intimas entre a electricidade e o magnetismo; mas a natureza d'estas relações era desconhecida e as suas leis ignoradas.

OErstedt, por uma experiencia celebre, poz a descoberto a acção directriz das correntes electricas sobre os magnetes. Conta-se que o illustre professor de Physica, durante uma das suas preleções, tomando o fio que reunia os polos de uma pilha, e approximando-o, com certa vivacidade, de uma agulha magnetisada, exclamara com entono dogmatisante: «Não creio que este apparelho não tenha influencia sobre os magnetes.» A previsão realisou-se. A agulha desviou-se immediatamente, e poz-se em cruz com a corrente, quer dizer, tornou-se perpendicular á direcção da corrente.

§ 683. Experiencia de OErstedt. OErstedt, fazendo passar por um fio rectilineo de cobre, que reunia os polos de uma pilha voltaica, uma corrente electrica, na direcção de uma agulha magnetisada *ab*, situada no meridiano magnetico *SN*, movel sobre um eixo vertical, fig. 200,



observou que a agulha se desviava, punha-se em cruz, tendendo a ser perpendicular á direcção da corrente, e tanto mais quanto maior fosse a intensidade da corrente.

OErstedt, variando as experiencias, collocando o fio em diferentes posições, umas vezes por cima da agulha e outras por baixo, observou que os polos da agulha tomavam diferentes posições, segundo a situação, intensidade e sentido da corrente.

D'estas experiencias concluiu as seguintes leis do desvio da agulha magnetica, submettida á acção da corrente electrica.

1.<sup>a</sup> LEI. *Se a corrente passa por cima ou por baixo da agulha, e se dirige do sul para norte; o polo austral da agulha desvia-se para oeste, no primeiro caso, ou para leste, no segundo.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Se a corrente passa por cima ou por baixo da agulha e se dirige do norte para sul, o polo austral da agulha desvia-se para leste no primeiro caso, ou para oeste no segundo.*

Em todos estes casos suppõe-se que a corrente passa no fio conductor do polo positivo para o polo negativo.

§ 684. Lei de Ampère. Ampère, observando que o sentido do desvio da agulha dependia da situação da corrente, por cima ou por baixo da agulha, e da sua direcção do sul para norte, resumiu estes diferentes casos n'um só enunciado, conhecido pelo nome de *lei de Ampère*, que é a seguinte: *Se personificarmos a corrente, na acção directriz d'esta sobre um magnete, o polo austral da agulha é constantemente desviado para a esquerda do observador.* Diz-se *personificar* uma corrente, quando se imagina um observador deitado no fio, voltando a face para a agulha, de modo que a corrente entre pelos pés e saia pela cabeça.

§ 685. Galvanometro. Chama-se *galvanometro* o instrumento que serve para medir a intensidade das correntes e reconhecer as suas direcções; este mesmo ins-

trumento tambem se chama *multiplicador* ou *rheometro*, porque multiplica os effeitos da corrente e manifesta a sua existencia, mesmo quando seja muito fraca. Este instrumento é uma das principaes applicações da descoberta de OErstedt; funda-se na acção directriz da corrente electrica sobre a agulha magnetica.

Consta de uma agulha magnetizada *ab*, fig. 201, suspenza por um fio de seda sem torção, no meio de um circuito rectangular, formado por um fio de cobre *mnpq*, e collocado, segundo a direcção da agulha, no plano do meridiano magnetico. No estado de repouso a agulha fica parallela aos lados horizontaes do rectangulo; mas estabelecida a corrente, que caminha na direcção da flecha, de *m* para *n*, a agulha desvia-se da sua posição de equilibrio, e como todas as partes da corrente tendem a dirigir-se no mesmo sentido, segue-se que, segundo a lei de Ampère, o polo austral da agulha ficará para a esquerda do observador, e a posição da agulha será *b'a'*. Evidentemente vê-se que, por esta disposição, a acção da corrente sobre a agulha fica augmentada.

Se, porém, em vez de um só rectangulo, cercado a agulha, houvesse muitos rectangulos formados pelo mesmo fio, enrolando-o a um caixilho de páu, a acção da corrente multiplicar-se-ia, e produzir-se-ia um desvio muito apreciavel com uma corrente muito fraca: mas este effeito, multiplo da força electro-magnetica, é limitado, visto que a intensidade da corrente decresce com o comprimento do fio.

Devemos notar que a agulha não tem movimento livre, porque a acção directriz da terra, lutando constantemente contra a da corrente, tende a levar a agulha no meridiano magnetico; porém remedeia-se este inconveniente pelo emprego de duas agulhas astaticas, *ab* e *ba*, fig. 202, invariavelmente ligadas pelo seu meio a um fio de cobre e com polos em sentido contrario; uma das agulhas está no meio do circuito e a outra fóra, na parte superior;



n'este systema a acção da terra fica compensada, e além d'isto augmenta a sensibilidade do galvanometro, visto a acção da corrente sobre a agulha ser no mesmo sentido.

As agulhas astaticas não devem ser completamente astaticas, isto é, não devem ter a mesma força; porque então qualquer corrente, forte ou fraca, determinaria o mesmo desvio, e toda a comparação entre as intensidades das diversas correntes seria impossivel.

*Construcção do Galvanometro.* Este instrumento consta de um quadro rectangular de páu ou de cobre, CD, fig. 203, ao qual se enrola um fio de cobre FG, coberto de seda em todo o seu comprimento, com o fim de isolar as correntes umas das outras. Por cima d'este quadro está um circulo de páu ou de cobre graduado; o diametro correspondente a  $0^{\circ}$  e  $180^{\circ}$  deve ser parallelo á direcção do fio sobre o quadro. Duas agulhas astaticas *ab* e *b'a'* estão suspensas por um fio de seda, e uma d'ellas está no interior do quadro e a outra na parte exterior sobre o circulo graduado. Uma campanula de vidro cobre todo este systema, excepto as extremidades F e G do fio conductor, que recebe a corrente que se quer observar. Por meio d'este instrumento reconhece-se a existencia da mais fraca corrente electrica, e ao mesmo tempo a sua direcção e intensidade.

Para usar do instrumento que acabamos de descrever, dá-se-lhe uma posição conveniente, de modo que a agulha superior *b'a'* fique sobre o diametro  $0^{\circ}$  e  $180^{\circ}$  do circulo graduado; a direcção do circulo está então no meridiano magnetico e as duas agulhas são-lhe parallelas. Estabelecida a corrente, vê-se a agulha fazer um angulo de desvio, ora n'um ora n'outro sentido, segundo a direcção da corrente, e tanto maior quanto mais energica for.

O desvio das agulhas do galvanometro cresce com a intensidade da corrente até  $20^{\circ}$ ; para angulos maiores, não existindo proporcionalidade entre estes termos,



empregam-se tabellas para cada galvanometro, que dão os valores da intensidade, correspondentes aos desvios observados.

### Correntes thermo-electricas

§ 686. Correntes thermo-electricas. Dá-se o nome de *correntes thermo-electricas* ás correntes de electricidade, produzidas pela acção do calor; chamam-se *correntes hydro-electricas* as que se produzem pelas acções chimicas. As primeiras são comparativamente muito mais fracas que as segundas, mas notaveis pela ligação que estabelecem entre o movimento calorifico e electrico.

§ 687. Experiencia de Seebeck. Esta experiencia evidencia as correntes thermo-electricas. Tome-se uma lamina BH de bismutho, fig. 204, cujas extremidades estejam soldadas a uma outra lamina CD de cobre, recurvada de modo que forme um circuito, no interior do qual fica uma agulha *ab* magnetisada, movel em torno de um eixo vertical. Colloque-se o apparatus na direcção do meridiano magnetico, e aqueça-se ligeiramente uma das soldaduras H, por ex.; observa-se logo que a agulha se desvia da posição de equilibrio e toma uma direcção, que indica a producção de uma corrente, partindo da lamina de cobre, da soldadura quente para a soldadura fria, como indica a flecha. Se em vez de aquecermos a soldadura H, a resfriarmos com gelo, conservando a outra soldadura com a sua temperatura normal, observa-se logo uma outra corrente, mas em sentido inverso do da primeira; em ambos os casos a corrente é tanto mais energica, quanto maior for a differença de temperatura nas duas soldaduras.

§ 688. Causa das correntes thermo-electricas. Estas correntes não são devidas ao contacto de dois metaes, porque se produzem em circuitos formados de um

só metal; tambem não são devidas ás acções chimicas, porque se manifestam no vazio, no hydrogenio; as correntes thermo-electricas, produzem-se em circuito metallico composto de metaes diferentes, cujos pontos de contacto tenham dois a dois temperaturas diferentes; segue-se, pois, que ellas têm por causa, não a desigual propagação do calor atravez das diferentes peças metallicas que compõem o circuito, mas a differença de estructura ou de densidade dos dois lados do ponto aquecido.

Quando as partes do circuito são homogeneas, não se manifestá a corrente, ainda que se aqueça em qualquer dos seus pontos; mas, se destruímos a homogeneidade em qualquer ponto do fio que fórma o circuito, torcendo-o sobre si mesmo muitas vezes, e aquecermos perto d'este ponto, a agulha indica, pelo seu desvio, uma corrente, partindo do ponto aquecido ao ponto onde a homogeneidade foi destruida; aquecendo do outro lado do ponto torcido, produz-se uma corrente em sentido inverso. Logo a não homogeneidade do circuito metallico, no qual se propaga o calor, é a causa da corrente thermo-electrica.

Os metaes que fornecem maior desenvolvimento de electricidade são o antimonio e o bismutho,

§ 689. Propriedades das correntes thermo-electricas. Estas correntes têm as mesmas propriedades que as correntes hydro-electricas, mas em fraco gráu; os metaes conduzem-nas como as correntes ordinarias; os liquidos não as conduzem, ou, se as conduzem, é n'um gráu extremamente fraco; esta differença não provém da natureza das correntes, mas sim da sua fraca tensão relativamente ás correntes hydro-electricas. As correntes thermo-electricas têm uma acção directriz sobre a agulha magnetisada, mas enfraquecem rapidamente, visto a sua tensão ser muito fraca.

§ 690. Pilhas thermo-electricas. Chama-se pilha *thermo-electrica* o apparatus que tem por fim desenvolver a electricidade pela acção do calor. Dá-se o nome de



*par thermo-electrico* a um systema de dois metaes soldados um ao outro, cujas extremidades livres podem ser reunidas por um fio conductor.

A pilha thermo-electrica mais simples compõe-se de uma barra de bismutho B, soldada pela sua extremidade C a uma outra barra de antimonio A, fig. 205. Como as duas extremidades livres estão reunidas por um fio de cobre, tem-se um circuito completo, em que se não propaga corrente alguma, emquanto as suas diversas partes tiverem a mesma temperatura.

Aquecendo a soldadura C, nasce logo uma corrente, que parte pelo fio do antimonio para o bismutho; logo o antimonio corresponde ao polo positivo, e o bismutho ao negativo; resfriando a mesma soldadura, nasce outra corrente mas em sentido contrario. Estas correntes são tanto mais intensas, quanto o aquecimento ou o resfriamento for mais consideravel.

A pilha thermo-electrica de um só par fornece uma corrente muito fraca; mas a de muitos pares soldados uns aos outros, de modo que as soldaduras da ordem impar estejam de um lado e as pares do outro, tem-se sob um pequeno volume, uma pilha tanto mais energica, quanto mais numerosos forem os pares.

*Pilha de Melloni.* Esta pilha, fig. 206, compõe-se de uma serie continua de barras de bismutho *bb'* e de antimonio *aa'* soldadas umas com as outras, e recurvadas de maneira que todas as soldaduras da ordem impar fiquem para um mesmo lado, e as da ordem par para o lado opposto.

Dispondo estas barras, umas ao lado das outras, em planos parallellos e verticaes; de quatro ou cinco pares semelhantes, de modo que o ultimo bismutho da primeira serie se solde lateralmente ao primeiro antimonio da segunda, e assim successivamente, obtém-se um volume reduzido da pilha, que póde ser collocado dentro de um estojo rectangular de cobre.



Duas hastes metálicas ou dois botões põem-na em comunicação com os fios do galvanometro; o polo positivo da pilha é representado pela ultima barra de antimónio e o negativo pela primeira de bismutho.

Esta pilha é muito sensível; o calor da mão é sufficiente para desenvolver uma corrente capaz de fazer desviar a agulha do galvanometro.

§ 691. *Pilha de Clamond.* Esta pilha thermo-electrica, que tambem se denomina *gerador thermo-electrico* é muito energica, de uma constancia admiravel, e pôde funcionar por muito tempo sem carecer do menor cuidado.

Cada par d'esta pilha compõe-se de uma barra, formada de uma liga de zinco e de antimónio, soldada sob o angulo agudo a uma lamina de ferro. Dispõem-se os pares em fórma de raios de um circulo, constituindo uma corôa de dez pares. A fig. 207 representa a corôa de dez pares, B é a barra da liga de zinco e antimónio, soldada em *s* a uma lamina de ferro *snc*, e ligada em *c* á barra do par seguinte; as soldaduras impares ficam para o exterior e as pares para o interior; as extremidades d'esta serie reúnem-se aos botões *b* e *b'*.

A pilha de Clamond consta de varias corôas sobrepostas, tendo por meio rodela de amianto; apresenta a fórma de um cylindro, cuja parte central, ôca, contém um tubo de terra porosa, crivado de orifícios, no qual penetra o gaz de illuminação por um canal; a combustão d'este gaz opera-se á sahida dos orifícios, o que aquece muito as soldaduras interiores.

A fig. 208 representa o córte vertical de uma pilha de cinco corôas; AA' é o tubo de terra porosa crivado de orifícios, para o qual se dirige gaz de illuminação pelo canal T; pelo espaço annular *r* entra o ar para alimentar a combustão; um pequeno regulador R faz com que seja constante o consumo do gaz.

Uma pilha de cinco corôas com cinco pares de botões

reunidos dois a dois, pelos nomes contrarios, como representa a figura á esquerda, dá uma pilha composta de 50 pares, todos agrupados em tensão; reunindo porém entre si, por meio de reguas verticaes de cobre, todos os botões do mesmo lado, como indica a figura á direita, a pilha fica disposta em quantidade e consta de 10 pares, cada um com uma superficie igual a cinco vezes um par *Bsnc*.

§ 692. **Leis das correntes thermo-electricas.** Estas leis são tres, devidas a Becquerel.

1.<sup>a</sup> LEI. N'um par thermo-electrico a corrente é constante, quando a differença da temperatura entre as soldaduras for a mesma.

2.<sup>a</sup> LEI. A intensidade da corrente cresce com a differença da temperatura entre as soldaduras.

3.<sup>a</sup> LEI. A intensidade da corrente é proporcional ao numero de pares.

§ 693. **Applicações.** As applicações das correntes thermo-electricas são muitas; servem para graduar o galvanometro de um modo rigoroso; tem grande applicação nas agulhas thermo-electricas de Becquerel; na pinça de Pelletier; e nos thermometros e pyrometros electricos; porém a mais importante applicação d'estas correntes é a que Melloni fez ao thermo-multiplicador, cujos usos são numerosos, no estudo do calor radiante.

§ 694. **Thermo-multiplicador.** Chama-se thermo-multiplicador a pilha thermo-electrica combinada com o galvanometro. A fig. 209 representa o thermo-multiplicador. L é a lampada de Locatelli, fonte de calor; E um cartão movel, com uma abertura circular para dar passagem aos raios calorificos; C é um supporte, onde se collocam os corpos sujeitos á experiencia; P é a pilha thermo-electrica, cujos polos communicam com o galvanometro G. Todas as peças d'este apparelho, exceptuando o galvanometro, estão fixas a distancias variaveis sobre uma regua de cobre AB, dividida em centimetros.

§ 695. *Velocidade da electricidade.* A electricidade propaga-se com extrema rapidez nos fios conductores. As differentes experiencias, que se têm feito para determinar a velocidade da electricidade, dão resultados muito discordantes; os que merecem maior confiança são os de MMr. Fizeau e Gounelle, que acharam que a velocidade da electricidade era 180000 kilometros por segundo; um pouco inferior á metade da velocidade de luz.

### Phenomenos fundamentaes da electro-dynamica

§ 696. A *electro-dynamica* é a parte da electricidade dynamica, que estuda as acções mutuas das correntes electricas entre si.

§ 697. *Acção mutua entre as correntes electricas.* Quando uma corrente percorre simultaneamente dois fios metallicos muito proximos, produz n'elles, segundo a direcção relativa das duas correntes, attracções ou repulsões, analogas ás que se exercem entre os polos dos maguetes. As leis que regem estas, segundo as correntes são parallelas, angulares, rectilineas ou sinuosas, são as seguintes, devidas a Ampère.

§ 698. *Leis das correntes parallelas.* Estas leis são em relação ao sentido e intensidade das correntes.

1.<sup>a</sup> LEI. *Duas correntes parallelas no mesmo sentido attrahem-se; em sentido contrario repellem-se.*

2.<sup>a</sup> LEI. *A attracção e a repulsão entre duas porções infinitamente pequenas estão na razão composta das intensidades das correntes, e na razão inversa do quadrado das distancias.*

§ 699. *Leis das correntes angulares.* As leis das correntes, cujas direcções formam um angulo, são duas:



1.<sup>a</sup> LEI. *Duas correntes angulares attrahem-se, quando se approximam ou se afastam do seu vertice.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Duas correntes angulares repellem-se, se uma caminha para o vertice do angulo e a outra se afasta.*

§ 700. *Lei das correntes sinuosas. A acção attractiva ou repulsiva de uma corrente sinuosa é a mesma que a da corrente rectilinea de um comprimento igual em projecção.*

---

## CAPITULO XXXVI

**Electro-magnetismo**

§ 701. **Electro-magnetismo.** Dá-se o nome de *electro-magnetismo* á parte da Physica que estuda as acções das correntes electricas sobre os magnetes, e reciprocamente as dos magnetes sobre as correntes.

A existencia das relações íntimas entre a electricidade e o magnetismo estavam já bem manifestas pela experiencia de OErstedt. Arago demonstrou, por uma memoravel experiencia, que mais tarde devia conduzir á descoberta dos telegraphos electricos, a conversão das substancias magneticas, sob a acção das correntes electricas, em magnetes; egualmente provou que uma agulha de aço, não magnetisada e em cruz com a corrente, não só ficava magnetisada, mas até voltava o seu polo austral para a esquerda da corrente, como na experiencia de OErstedt.

§ 702. **Acção das correntes sobre os magnetes.** As correntes electricas exercem sobre os magnetes duas especies de acções; uma *directriz*, e a outra *attractiva* ou *repulsiva*.

A acção *directriz* demonstra-se pela experiencia de OErstedt. Ella se exerce em todos os sentidos e atravez de todas as substancias, exceptuando as substancias magneticas; a sua intensidade está na razão inversa da distancia que separa a corrente da agulha magnetisada.

A acção *attractiva* ou *repulsiva* das correntes sobre os magnetes determina-se fazendo passar uma corrente

horizontal muito proxima de uma agulha magnetisada, quebrada em muitos pontos, e suspensa verticalmente por uma das extremidades a um fio de seda muito fino; seguindo a direcção da corrente, observa-se a attracção ou repulsão.

§ 703. Acção dos magnetes sobre as correntes. Se apresentarmos a um magnete fixo uma corrente movel, esta fica em cruz com o magnete, e o polo austral d'este fica para a esquerda da corrente.

### Solenoides

§ 704. Solenoides. Chama-se *solenoides* a um systema de correntes circulares, iguaes e parallelas, cujos planos são perpendiculares a uma recta, que se chama *eixo do solenoide*.

Forma-se um solenoide, dobrando sobre si mesmo, em helice, um fio de cobre ABC, revestido de seda, fig. 210, e fazendo atravessar uma parte rectilinea, BC, d'este fio no interior da helice, segundo o seu eixo.

Um solenoide entra em actividade, quando os seus extremos A e C ficam em communicação com os polos da pilha; a corrente que o percorre póde ser decomposta em tres partes: 1.<sup>a</sup> uma corrente rectilinea, segundo o comprimento AB, corrente tangencial; 2.<sup>a</sup> uma corrente rectilinea em sentido inverso, segundo o eixo BC; 3.<sup>a</sup> uma serie de correntes circulares, iguaes e parallelas no mesmo sentido. Os effeitos das duas correntes rectilineas AB e BC destroem-se, visto serem em sentido contrario; as correntes circulares são as que produzem o effeito dos solenoides.

Um solenoide póde ser fixo ou movel, ao redor de um eixo vertical. A fig. 211 representa um solenoide movel, suspenso a dois supportes de aço A e B.



§ 705. Orientação dos solenoides sob a influencia da terra. Um solenoide movel, ao redor de um eixo vertical, comporta-se, sob a acção da terra, como uma agulha magnetica. Seja, fig. 212, um solenoide movel livremente ao redor do seu eixo vertical; desde que se estabelece a corrente, cada um dos circulos parallellos que o compõe colloca-se n'um plano perpendicular ao meridiano magnetico, e em sentido tal, que a parte inferior das correntes circulares se dirige de leste para oeste. Evidentemente o eixo AB do solenoide ficará situado no meridiano magnetico. O solenoide comportar-se-ha como uma agulha magnetisada; uma das suas extremidades dirigir-se-ha para o norte, e a outra para o sul. Se a corrente vier em sentido contrario, o solenoide, fazendo uma meia revolução, voltará de novo ao meridiano magnetico com as extremidades invertidas. Chama-se *polo austral* de um solenoide aquella das extremidades que se dirige para o norte, e polo boreal aquella que se volta para o sul.

Para explicar a acção directriz da terra sobre os solenoides, Ampère admitte a existencia das correntes thermo-electricas, devidas ás variações da temperatura, que resultam da presença successiva do sol sobre a superficie da terra, correntes que circulam ao redor da terra de oriente para occidente, perpendicularmente em cada lugar da terra, ao meridiano magnetico; estas correntes equivalem a uma só corrente, corrente resultante, que se dirige de leste a oeste, percorrendo o equador magnetico; são estas mesmas correntes que dirigem as agulhas das bussolas e obram sobre os solenoides.

§ 706. Acção mutua dos solenoides. A acção mutua entre dois solenoides é analogá á de dois magnetes. Se approximarmos de uma extremidade de um solenoide movel uma outra de um outro solenoide que se tem na mão, observam-se phenomenos de attracção ou de repulsão, semelhantes aos que apresentam os

polos dos magnetes. Ha attracção, quando as correntes que circulam nos solenoides são no mesmo sentido; ha repulsão, quando as correntes são em sentido contrario.

§ 707. Acção mutua dos imans e dos solenoides. A acção entre os imans e os solenoides é a mesma que entre os imans. Se apresentarmos a um solenoide movel um dos polos de uma barra magnetisada, observam-se os phenomenos de attracção ou repulsão, segundo os polos do magnete e do solenoide, postos em presença um do outro, forem de nomes contrarios ou do mesmo nome. Reciprocamente observam-se os mesmos phenomenos, se apresentarmos a uma agulha magnetisada movel um solenoide que se tem na mão. A lei das attracções e repulsões magneticas applica-se exactamente ás acções reciprocas entre os solenoides e os magnetes.

#### Magnetisação pelas correntes. Electro-imans

§ 708. Magnetisação pelas correntes. Se immergirmos em limalha de ferro um fio de cobre, no qual passe uma corrente muito energica, vê-se logo que a limalha se enrosca ao fio e fica-lhe adherente, enquanto subsistir a corrente; porém, interrompendo-se esta, a limalha destaca-se e cãe immediatamente. D'este facto conclue-se que a corrente electrica, actuando sobre uma substancia magnetica, converte-a em um magnete. De todas as substancias magneticas as que se magnetisam com mais energia são o ferro doce e o aço temperado.

§ 709. Magnetisação do ferro doce. Se uma barra de ferro doce for perpendicular a um fio metallico em que passa a corrente, observa-se que a barra fica immediatamente magnetisada e o seu polo austral fica para a esquerda do observador, segundo a lei de Ampère. Seja AB a barra de ferro doce, fig. 213, perpendicular ao



fio por onde passa a corrente; a barra fica immediatamente magnetizada, e esta magnetisação conserva-se, enquanto durar a passagem da corrente; porém, se o fio conductor, em lugar de passar simplesmente deante da barra, se enrolar em helice ao redor d'ella perpendicularmente ao seu eixo, todas as espiras da helice exercem sobre a barra acções simultaneamente concorrentes, e a magnetisação da barra será muito energica; será tanto mais forte, quanto maior for o numero de espiras. Esta magnetisação, comquanto seja forte, é temporaria, e cessa logo que a corrente fique interrompida.

§ 710. *Electro-ímans*. Dá-se o nome de *electro-ímans* ás barras de ferro doce, magnetizadas pelas correntes voltaicas, quando passam pelo fio conductor enrolado em helice ás mesmas barras.

Para construir um *electro-íman* dá-se á barra a fôrma parabolica ou de ferradura; enrola-se um fio de cobre, MN, fig. 214, revestido de seda, um grande numero de vezes, aos ramos da parabola; porém o enrolamento deve ser tal, que a helice de um dos ramos seja a continuação da da outra; isto é, que as duas helices formem uma só, partindo de uma a outra extremidade da barra.

Os extremos do fio conductor MN, estando em comunicação com os polos de uma forte pilha, a barra transforma-se instantaneamente em um poderoso magnete, de que um polo fica á entrada e outro á sahida da corrente.

Pode julgar-se da força de um *electro-íman* pelo peso que pôde sustentar. Por meio de um parallepipedo P de ferro doce, munido de um gancho, os *electro-ímans* sustentam pesos mais ou menos consideraveis segundo as dimensões da barra, da força da corrente, do comprimento e da grossura do fio conductor. Mas, logo que a corrente cessa de passar, o *electro-íman* volta ao seu estado natural, e o peso que sustentava cáe.

§ 711. *Bobinas*. Dá-se o nome de *bobinas* a dois cylindros parallelos C e C' de ferro doce, enrolados por



um mesmo fio de cobre revestido de seda, e reunidos por uma lamina transversal D de ferro doce, fig. 215. O enrolamento do fio em cada um dos cylindros é de um grande numero de espiras, de modo tal que a helice n'um cylindro seja a continuação da do outro. Por esta disposição os extremos dos cylindros C e C', quando a corrente passa pelo fio, constituem os dois polos magneticos contrarios.

§ 712. Magnetisação do aço. A magnetisação do aço faz-se introduzindo as agulhas ou barras de aço dentro de tubos de vidro, aos quaes se enrola em helice fios de cobre, cujas espiras ficam distanciadas; as extremidades da helice, estando em communição com os polos de uma pilha, a agulha ou a barra depois de breves instantes fica magnetisada até á saturação. Se a helice é *dextrorsum*, isto é, se o fio está enrolado no tubo da direita para a esquerda, o polo boreal da agulha de aço fórma-se á entrada da corrente e o austral á sahida; se a helice for *sinistrorsum*, a situação dos polos é inversa.

§ 713. Campainhas electricas. Dá-se o nome de *campainhas electricas* a uns pequenos apparatus, em que um martello, movido pela corrente electrica, percute um timbre metallico que produz som.

Compõe-se de um electro-iman E, fig. 216, no qual passa pelo botão A a corrente do fio conductor L. Do electro-iman a corrente ganha uma lamina elastica de aço, fixa ao botão B, que sustenta a armadura de ferro doce F do electro-iman; esta armadura, que tem na sua parte superior um martello M, destinado a percutir o timbre S, fica em contacto com uma lamina de latão C, que communica pelo botão D com um fio T, que se dirige para o solo.

Sempre que a corrente passa pelo electro-iman, a armadura é attrahida, e traz comsigo o martello M, que bate no timbre S e o faz soar; no momento da percussão do martello contra o timbre cessa o contacto da arma-

dura com a lamina de latão C, interrompe-se a corrente; o electro-iman torna-se inactivo, e não podendo ser attrahida a armadura T, a lamina de aço, em virtude da sua elasticidade, faz com que a armadura fique em contacto com a lamina C de latão; a corrente passa de novo, visto que o circuito está fechado. O electro-iman de novo attrahe a armadura, o martello bate segunda vez no timbre, e assim continuadamente. Este movimento de vai-vem faz-se com extrema rapidez.

Para fazer tocar a campainha, basta carregar no botão de marfim de um conjunctor, mettido no circuito da pilha e campainha; carregando o botão, as duas laminas metallicas tocam uma na outra, fecha-se o circuito e a corrente passa.

### Telegraphia electrica

§ 714. *Telegraphos electricos.* Chamam-se *telegraphos electricos* osapparelhos que por meio da electricidade transmittem signaes a grandes distancias. Por estes signaes, que correspondem ás letras do alphabeto ou aos algarismos, compõem-se as palavras que indicam a noticia, aviso ou ordem que se quer transmittir.

Ha varias especies de telegraphos electricos; mas podem reduzir-se todos aos quatro seguintes: *telegraphos de mostrador*; *telegraphos escreventes*; *telegraphos impressores* e *telegraphos electro-chimicos*.

§ 715. *Theoria dos telegraphos electricos.* A theoria dos telegraphos funda-se na propriedade, que possuem os electro-imans, de se magnetisarem instantaneamente, quando por elles passa uma corrente, e de se desmagnetisarem, logo que se interrompe a corrente. Quando uma corrente passa no electro-iman, este attrahe a armadura de ferro doce; quando cessa a corrente, a armadura volta á sua posição primitiva. Vê-se, pois, que



se pôde imprimir á vontade, a grandes distancias e com extrema velocidade, um movimento de vai-vem a uma armadura de um electro-iman. Em consequencia do movimento d'esta armadura, que se transmite a outras peças do apparelho telegraphico, consegue-se fazer andar uma agulha sobre um mostrador, ou fazer traçar signaes sobre uma tira de papel.

Supponhamos que se quer transmittir um despacho de Coimbra ao Porto. Installa-se em Coimbra, estação de partida, uma pilha; do polo positivo d'esta faz-se partir um fio conductor ao Porto, estação da chegada, o qual fio se enrola ao electro-iman, e a pouca distancia d'este se colloca uma armadura sustida por uma mola elastica. O mesmo fio volta para Coimbra, e fica em communicação com o polo negativo da pilha.

Fechado o circuitó, a corrente parte do polo positivo, atravessa o fio, passa no electro-iman do Porto e volta a Coimbra, ao polo negativo.

Pela passagem da corrente o electro-iman magnetisa-se; e attrahe a armadura; esta attracção é o primeiro signal transmittido de Coimbra ao Porto. Se se interrompe a corrente, a armadura volta ao seu primeiro lugar; é o segundo signal. Facilmente se concebe que se podem combinar estes signaes para representar as letras do alphabeto.

Suppozemos, para transmissão dos signaes, um circuito completo; um fio partindo do polo positivo da pilha situada na estação da partida; o enrolamento d'este fio ao electro iman, fixo na estação da chegada, e a volta d'este fio para o polo negativo da pilha. A experiencia, porém, mostra que este fio de volta é inutil, e pôde supprimir-se, comtanto que o polo negativo da pilha e a extremidade do fio depois de se enrolar ao electro-iman se communicuem com a terra, ou se mergulhem cada um na agua de um poço. Esta disposição offerece a dupla vantagem de evitar o emprego d'este fio, e tornar duas



vezes menor a resistencia; além de que o escoamento da electricidade para a terra permite que a pilha funcione indefinidamente.

§ 716. Partes constituintes dos telegraphos electricos. Todo o systema de telegraphos electricos compõe-se de quatro partes, a saber: *uma pilha, um conductor, um manipulador e um receptor.*

1.º *Pilha.* A pilha gera a corrente. As pilhas que se empregam ordinariamente são a de Daniel e de Minotto; na estação de Coimbra, emprega-se a pilha de Leclanché. A de Bunsen usa-se em casos extraordinarios, quando se quer uma corrente energica.

2.º *Conductor.* O conductor é um fio metallico, que transmite a corrente de uma a outra estação; tem o nome de *linha telegraphica* ou simplesmente *linha*. As linhas telegraphicas podem ser *aereas, subterraneas e submarinhas, ou cabos submarinhos.*

As *linhas aereas* são formadas de fios de ferro galvanizados, de 4 a 5 millimetros, que unem entre si as estações telegraphicas. São sustidas em postes de pinheiro, collocados a diversas distancias. A estes postes estão fixos isoladores de porcellana em fórmula de aneis, por onde passa a linha telegraphica.

As *linhas subterraneas* são semelhantes ás aereas, mas cobertas d'uma camada de gutta-perche, para as isolar da terra onde estão enterradas.

As *linhas submarinhas* ou *cabos submarinhos* são destinados a ligar entre si os continentes; são verdadeiros *cabos* de grande solidez. O cabo submarinho consta de tres partes: o *conductor*, a *camada isolante* e a *armadura protectora*. O conductor ou *alma do cabo* é composto de 7 fios de cobre, torcidos simultaneamente; a camada isolante é uma substancia de composição especial, que envolve o conductor; a armadura protectora é um revestimento de 10 fios de aço sobre a camada isolante.

3.º *Manipulador.* O manipulador é um apparelho que

serve para abrir e fechar o circuito; é o verdadeiro regulador do emprego da corrente; fica collocado no ponto de partida da linha telegraphica, proximo da pilha; abrindo e fechando o circuito na estação da partida, produz um movimento de vai-vem na estação da chegada, necessario para a transmissão dos signaes.

4.º *Receptor*. O receptor é o apparelho que recebe o despacho transmittido pelo manipulador. Contém o electroiman com sua armadura, como tambem todo o mechanismo destinado á formação dos signaes.

O manipulador e o receptor variam segundo o systema do telegrapho. A descripção d'estes apparelhos encontrar-se-ha na do telegrapho correspondente.

Em cada estação telegraphica, para transmittir e receber despachos, deve haver uma pilha, manipulador e receptor.

§ 717. *Telegrapho de mostrador*. Ha muitas especies de telegraphos de mostrador, mas aquelle que geralmente se emprega é o de Breguet. Compõe-se de um manipulador e de um receptor, que se communicam por um fio metallico.

*Manipulador*. Este apparelho, fig. 217, que communica com a pilha de carvão, consta de um disco circular e de um machinismo, cujas principaes peças são: uma alavanca AB, movel em torno de um ponto *a*; uma roda metallica horizontal C, com treze depressões e treze elevações; uma peça *p'*, em comunicação com o fio L da linha, e varios botões N, N' por onde entra a corrente da pilha.

Sobre o disco circular, que está fixo, estão representadas duas circumferencias concentricas; na interior estão marcadas as 25 letras do alphabeto e uma cruz, chamada *final*; e na exterior os 25 primeiros numeros; o zero corresponde á cruz. O disco circular tem uma manivella movel M, com uma abertura, para deixar ver os signaes, por meio da qual se faz a transmissão dos despachos.



O mechanismo do manipulador é simples, e tem por fim abrir e fechar o circuito á vontade.

O movimento da manivella faz mover a roda metallica C, que communica com a pilha. Esta roda faz oscillar a alavanca AB em redor do ponto *a*, em virtude de uma disposição dada á extremidade B da alavanca, disposição que consiste n'uma saliencia que ganha as depressões da roda C. N'estas oscillações da alavanca a extremidade A d'esta fica em contacto com a peça *p'* em comunicação com o fio L da linha, no qual passa a corrente, ou se afasta da mesma peça e a corrente não passa: a extremidade A da alavanca fica em contacto com a peça *p'*, quando a extremidade B da mesma alavanca ganha a depressão da roda C; não ha contacto, quando a extremidade B toca a elevação da roda C.

Para transmittir por ex., a palavra *Coimbra* transporta-se a manivella, fazendo-a gyrrar, sempre no mesmo sentido, em C, depois em O, I, M, B, R e A, e detendo-a um breve instante em cada uma das letras; a roda metallica C gyrra ao mesmo tempo que a manivella; o numero de oscillações da alavanca é representado pelo numero de letras, acima das quaes a manivella pousa. Assim, quando a manivella fica assente em C, a alavanca faz tres oscillações.

*Receptor.* Este apparelho compõe-se de um disco identico ao do manipulador, e de uma agulha, cujo movimento é regulado por um systema de peças de relojoaria, que fica occulto na caixa que envolve o apparelho. Quando a manivella do manipulador, fica assente em cada uma das letras do disco, estas são indicadas pela agulha do receptor, disposta a reproduzir exactamente por intermedio da corrente todos os movimentos communicados pela manivella.

§ 718. Telegrapho escrevente de Morse. Este telegrapho é hoje empregado em toda a parte pela simplicidade do seu mechanismo, que torna rapida e segura



a transmissão dos despachos. Compõe-se de manipulador e receptor, reunidos pelo fio metallico, que conduz a corrente de uma pilha do manipulador ao receptor.

*Manipulador do telegrapho de Morse.* Este aparelho é muito simples, fig. 218. Compõe-se de uma prancheta de madeira, sobre a qual está fixa uma alavanca de cobre KL, movel em redor de um eixo horizontal O. A extremidade K d'esta alavanca tem um botão de marfim, e a outra extremidade L, tem um parafuso A de cobre, cuja ponta se assenta sobre uma pequena peça metallica D. Por baixo da extremidade K da alavanca está uma bigorna C, de que a alavanca fica sempre desviada pela acção da mola elastica *r*. Tres botões fixos á prancheta communicam com os fios; o botão *b* ao fio da pilha; o botão *b'* ao fio do receptor, e o botão *b''* ao fio da linha. Laminas metallicas de cobre, fixas ao aparelho estabelecem a comunicação entre *b* e a bigorna C; entre *b'* e D; e entre *b''* e O. Por esta disposição das peças vê-se que, quando o manipulador está em repouso, existe uma comunicação entre a linha e o receptor; quando a alavanca fica em contacto com a bigorna C, o que se consegue abaixando-a pela pressão da mão sobre o botão B, estabelece-se a comunicação entre O e C, e a corrente passa logo para a linha.

*Receptor do telegrapho de Morse.* Este receptor reproduz exactamente os movimentos impressos pela alavanca do manipulador. Compõe-se, fig. 219, de dois cylindros C e C', que se movem um sobre o outro, em sentido contrario, pela acção de um movimento de relojoaria H. Entre estes cylindros passa uma tira de papel PPP', enrolada a uma roda R. Por baixo da alavanca AB, movel ao redor do ponto O, estão duas bobinas, E e E', de um electro-iman; ff' é a sua armadura de ferro doce. A extremidade da alavanca tem um estilete metallico ou um crayon, destinado a traçar signaes sobre uma tira de papel, comprimida entre os dois cylindros. Emquanto a corrente não

passa pelo electro-iman, o estilete da alavanca fica desviado da tira de papel pela acção de uma mola elastica *r*, cuja tensão é regulada pelo botão *D*. O botão *b* está em communição com o fio da linha, e botão *b'* com o fio que se dirige para a terra.

Para transmittir qualquer despacho, basta apoiar uma das mãos sobre o botão *B* do manipulador até estabelecer o contacto com a bigorna *C*. Por meio d'este contacto a corrente passa pelo fio da linha, e vai fazer trabalhar o receptor. A bobina d'este attrahe, quando passa a corrente, a alavanca, cujo estilete imprime na tira de papel, que se desenrola entre os dois cylindros, um ponto ou um traço, conforme a duração do contacto, ou, para melhor dizer, conforme a duração da pressão no botão do manipulador, for instantanea ou demorada algum tempo. Quando não houver esta pressão, a corrente fica interrompida, não ha attracção da alavanca, e por conseguinte o estilete fica desviado da tira de papel pela acção da mola elastica *r*. Póde-se pois, promovendo ou não o contacto da alavanca do manipulador com a bigorna, produzir á vontade uma serie de pontos ou traços, cujas variadas combinações podem representar letras ou algarismos necessarios para a confecção das palavras.

§ 719. Telegrapho impressor de Hughes. Este telegrapho, que agora começa a generalisar-se, é muito complicado em seus detalhes; mas dá resultados muito notaveis pela fidelidade dos despachos e pela rapidez da transmissão, dupla da de Morse. A sua força motriz não provém da corrente, mas de um peso de 60 kilogrammas, que põe em movimento um systema de rodas. Uma das rodas *R*, chamada roda dos typos, tem na sua circumferencia, gravadas em relevo, as 26 letras do alphabeto, os algarismos, um ponto e um branco. A funcção da corrente, cada vez que passa nas bobinas, consiste em fazer mover, por meio da armadura de electro-iman, uma alavanca para pôr em contacto com a roda dos typos,



uma tira de papel, em que se quer imprimir as letras, fazendo-a avançar de uma quantidade constante á medida que se imprime.

A transmissão da corrente ao electro-iman, faz-se por meio de um teclado, que representa o manipulador, e cujas teclas têm igualmente as 26 letras do alphabeto, os algarismos, um ponto e um branco: cada vez que se toca na tecla, na estação da partida, a tira de papel, na estação da chegada, recebe da roda dos typos a impressão da letra correspondente á tecla movida.

§ 720. Telegrapho transatlantico. O telegrapho transatlantico compõe-se de um cabo submarinho e de um systema transmissor, muito differente dos que temos exposto. Da composição do cabo submarinho, e do seu excessivo comprimento, resultam effeitos que não permitem fazer-lhe applicação dos manipuladores dos outros telegraphos, que temos descripto.

O cabo submarinho, sendo composto de duas partes metallicas, separadas por uma camada isolante, não é mais que um grande condensador; por conseguinte uma corrente positiva, na alma do cabo, decompõe por influencia a electricidade dos fios de aço, que fórman a armadura protectora, repelle a electricidade positiva, e os fios carregam-se de electricidade negativa; d'aqui resultam contra-correntes, que prolongam consideravelmente a duração do estado variavel da electricidade na alma do cabo, como tambem a duração da sua volta ao estado neutro, quando a corrente for interrompida. Evidentemente na alma do cabo submarinho, produz-se uma condensação electrica, que embaraça a transmissão dos despachos.

Para combater esta condensação, empregam-se dois systemas; um é o do manipulador inversor de dois teclados, por meio dos quaes se faz passar alternativamente na alma do cabo uma corrente positiva, e depois outra negativa; logo depois uma negativa e outra positiva,



para o cabo voltar ao estado neutro, para receber outro novo fluxo. O segundo systema é o da adopção de um grande condensador de 4500 metros quadrados, entre o cabo e o manipulador. Por este systema não é a corrente da pilha que vai para o receptor, mas sim a do mesmo nome do condensador.

§ 721. Motores electro-magneticos. Chamam-se *motores electro-magneticos* as machinas em que se utiliza a força attractiva dos electro-ímans, como força motriz. Têm-se feito numerosas experiencias, para obter economicamente motores electro-magneticos de grande força, mas até hoje nada se tem conseguido. Os motores electro-magneticos, que temos, são machinas que produzem um insignificante trabalho, e não passam de modelos de curiosidade scientifica. Em algumas d'estas machinas os electro-ímans actuam sobre os ímans, em outros sobre barras de ferro doce ou armaduras.

O motor electro-íman, o mais notavel, é o de Froment. Consta de quatro fortes electro-ímans, fig. 220, A, B, C e D, fixos n'um suporte de ferro, entre os quaes gyra um systema de duas rodas, fixo sobre um mesmo eixo horizontal, tendo no seu contorno oito armaduras de ferro doce, parallelas, de modo que passam muito proximas dos polos dos electro-ímans sem os tocar.

A corrente voltaica vem pelo fio E, ganha o arco metallico O, d'este passa successivamente em cada electro-íman por meio de tres laminas de aço, fixas ao arco, terminadas por pequenos rolos, um dos quaes estabelece a comunicação entre os electro-ímans inferiores, e cada um dos outros com cada um dos superiores, isto por meio de quatro peças de metal, separadas e fixas, sobre uma roda de marfim *r*, movel com o systema das duas rodas.

A corrente interrompe-se em cada electro-íman, exactamente quando uma armadura lhe passa em frente, e dirige-se successivamente para os diversos electro-ímans: As attracções das armaduras não se contrariam, são todas

no mesmo sentido, e o movimento continúa, enquanto dura a corrente da pilha.

Por esta disposição as armaduras sendo continuamente attrahidas pelos quatro electro-imans, o systema das duas rodas, enquanto as armaduras estão fixas, toma um movimento de rotação muito rapido, o qual, por uma roda P e uma correia sem fim, se transmite a uma roldana Q, a qual póde communicar a qualquer machina.

---

## CAPITULO XXXVII

## Inducção electrica

§ 722. **Correntes de inducção.** Chamam-se *correntes de inducção*, ou *correntes induzidas*, as correntes instantaneas, que se desenvolvem nos conductores metallicos, sob a influencia quer das correntes electricas, quer dos fortes magnetes ou da acção magnetica da terra; chamam-se *correntes inductoras* as correntes que produzem as de inducção.

A inducção produz-se no começo ou no fim da corrente inductora, quer dizer, no momento de fechar ou abrir o circuito; ou quando a força inductiva da corrente inductora varia, com o augmento ou diminuição na sua intensidade, quer com a maior ou menor distancia.

§ 723. **Inducção pelas correntes.** Para demonstrar a producção das correntes de inducção pela influencia das correntes, temos a seguinte experiencia. Colloque-se uma bobina de madeira M, fig. 221, sobre uma outra bobina K. Em cada uma d'estas bobinas estão enrolados no mesmo sentido uns longos fios de cobre, revestidos de seda. A bobina M está enrolada com o fio *ab*, cujos extremos *a* e *b* communicam com os rheophoros de uma pilha; a bobina K está enrolada com um outro fio *cd*, cujos extremos estão em communicação com um galvanometro G, cuja agulha está no zero. O enrolamento d'estes fios fórma evidentemente duas helices semelhantes e sobrepostas.

Fazendo passar uma corrente voltaica, no primeiro fio



*ab*, de *a* para *b*, observa-se um desvio da agulha do galvanometro; este desvio mostra que se desenvolvem instantaneamente no fio *cd* uma corrente em *sentido inverso* da primeira; mas esta corrente não dura senão um instante muito curto, porque a agulha volta logo ao zero, e ahí se mantém, durante todo o tempo que a corrente inductora percorre o fio *ab*. Interrompendo a corrente, a agulha immediatamente de novo se desvia, e em sentido contrario ao primeiro desvio; o que prova uma nova corrente, em *sentido directo* no fio *cd*, no mesmo instante da interrupção da corrente inductora.

Não é só com o abrir e fechar o circuito da corrente inductora que se desenvolvem as correntes de indução; ellas desenvolvem-se tambem, quando se aproxima ou se afasta da corrente inductora, quando é continua, um circuito metallico.

§ 724. Leis das correntes de indução. Estas leis são as seguintes:

1.<sup>a</sup> LEI. *Uma corrente, que começa, faz nascer uma corrente induzida, em sentido contrario.*

2.<sup>a</sup> LEI. *Uma corrente, que acaba, desenvolve uma corrente induzida, em sentido directo.*

3.<sup>a</sup> LEI. *Uma corrente, que se aproxima, ou cuja intensidade augmenta, gera uma corrente induzida inversa.*

4.<sup>a</sup> LEI. *Uma corrente, que se afasta, ou cuja intensidade diminue, gera uma corrente induzida directa.*

§ 725. Indução pelos magnetes. Para mostrar que um magnete póde desenvolver correntes de indução, basta aproximarmos ou afastarmos um forte magnete de uma bobina de um só fio, em comunicação com o galvanometro; observa-se no primeiro caso desenvolver-se uma corrente de indução inversa; no segundo uma corrente de indução directa, em relação á corrente que se imagina no magnete, considerado como um solenoide.

§ 726. Indução pela acção magnetica da terra.

Se um magnete produz correntes de indução, a terra, que é um poderoso magnete, deve também desenvolver correntes induzidas. Na verdade, seja uma espiral formada por um longo fio de cobre, revestido de seda, cujos extremos estão em comunicação com o galvanometro. Collocando esta espiral de modo que o seu eixo seja paralelo á agulha de inclinação, e dando-lhe um movimento muito rapido de rotação, observa-se um desvio da agulha do galvanometro, o que indica a instantanea produção da corrente de indução.

### Machinas de indução

§ 727. Machinas de indução. Chamam-se *machinas de indução* os apparatus que utilizam as correntes de indução. Estas podem ser *volta-electricas*, em que as correntes de indução provém de pilhas; *magneto-electricas*, aquellas em que a indução provém dos magnetes; finalmente *dynamico-electricas*, em que as correntes induzidas provém do movimento; n'estas não ha pilha, nem magnetes.

§ 728. Bobina de Ruhmkorff. Esta bobina é uma machina de indução *volta-electrica*; as correntes de indução são produzidas pela corrente de uma pilha. Compõe-se de um cylindro de madeira B, fig. 222, no qual estão enrolados dois fios, um por cima do outro; primeiramente enrola-se um fio curto e grosso, é o *fio inductor*, e sobre este um outro fio fino e comprido, é o *fio induzido*; o fio inductor recebe a corrente de uma pilha, e o induzido produz correntes de indução; os fios estão completamente isolados um do outro por uma camada isolante de gomma-laque. Dois discos de vidro apertam os extremos da bobina e a isolam.

Os dois extremos do fio inductor, ligando-se aos botões F e E, communicam-se com os rheophoros N e P, de uma

pilha de Bunsen. Um pequeno aparelho, chamado *commutador*, collocado á direita da bobina, serve para abrir e fechar o circuito, e fazer entrar a corrente da pilha por qualquer dos botões E e F.

Como as correntes de indução só se desenvolvem no começo e no fim da corrente voltaica, é necessario em todos osapparelhos de indução um *interruptor*, que serve para interromper constantemente a corrente inductora.

No interior da bobina está collocado um feixe de fios de ferro, que tem por fim reforçar a corrente induzida, e cuja uma das extremidades sáe um pouco fóra da bobina. Por baixo d'esta extremidade do feixe ha um pequeno aparelho, o *interruptor*, cujo mechanismo é semelhante ao da campainha electrica, destinado a produzir vibrações muito rapidas, por meio das quaes a corrente inductora é successivamente interrompida e restabelecida.

Esta machina é notavel, entre todas as d'este genero, pela intensidade extraordinaria nos effeitos que produz.

Os effeitos da bobina de Ruhmkorff são analogos aos das baterias e das pilhas, mas muito mais intensos.

§ 729. *Machinas de Gramme.* As machinas de Gramme podem ser: *magneto-electricas, dynamico-electricas* e de *correntes alternativas.*

*Machina magneto-electrica de Gramme.* Esta machina consta de um forte iman-Jamain A, disposto verticalmente, fig. 223, composto de 24 laminas de aço, de um millimetro de espessura, magnetisadas separadamente até á saturação, sobrepostas em fórmula de ferradura. Aos dois polos d'este iman estão applicadas duas armaduras *a* e *b*, de ferro doce, que se magnetisam por influencia, e constituem polos efficazes do iman. Entre estes gyra um anel especial, formado de trinta bobinas, enroladas transversalmente sobre um feixe circular de fio de ferro doce. O movimento de rotação a este anel é dado por meio de uma manivella e rodas dentadas.

Os fios das bobinas, ligando-se a uns esquadros de latão,



cada um dos quaes recebe os fios de duas bobinas consecutivas, constituem um circuito unico. Os esquadros, isolados uns dos outros, assentam n'um tambor de madeira O, fixo no mesmo eixo de rotação. Sobre os esquadros descansam duas especies de escovas de cobre, de barbas delgadas e flexiveis, ligadas a dois botões, a que se prendem as extremidades do circuito receptor das correntes. A corrente recebida é continua, visto que as escovas tocam simultaneamente uns poucos, por estarem muito proximos.

Attendendo ás leis de indução electro-dynamica e á disposição das peças na machina, reconhece-se que as correntes vêm no mesmo sentido das duas escovas; por conseguinte, os botões  $c$  e  $c'$ , em contacto com ellas, são dois polos fixos da machina.

*Machina dynamo-electrica de Gramme.* Esta machina consta de dois fortes montantes verticaes, que sustentam tres arvores horizontaes. As duas extremas são fixas e a intermediaria é movel, que recebe o electro-iman annular, caracteristico das machinas de Gramme. As arvores fixas têm barras de ferro doce, enroladas por um grosso fio de cobre isolado, constituindo um electro-iman fixo, que excita o primeiro, já pelo magnetismo que sempre possui o ferro, já pela acção da terra; além d'isto é tambem fortemente excitado pelas correntes, desenvolvidas no electro-iman central. O electro-iman fixo tem quatro bobinas; as duas superiores formam um polo unico, polo boreal, e as inferiores o polo contrario, polo austral. Uma forte machina de vapor determina o movimento de rotação da arvore intermediaria.

§ 730. *Applicação das machinas de Gramme.* As machinas de Gramme que descrevemos são de correntes continuas; por conseguinte são proprias para substituir com vantagem as pilhas; porque estão sempre promptas para funcionar, e não fazem despeza, quando estão em repouso. Ellas servem em muitas experiencias

de physica, de chimica, em applicações therapeuticas e industriaes, e finalmente na illuminação electrica.

As machinas de Gramme tambem servem para demonstrar a *reversabilidade*, e determinar a correlação das forças physicas. Chama-se *reversabilidade* em physica á geração da causa pelo effeito. As machinas magneto-electricas transformam o movimento em electricidade; reciprocamente, ellas podem converter a electricidade em movimento. Com effeito, se na machina magneto-electrica de Gramme pozermos em communicação os polos de uma pilha de Bunsen com os dois botões; immediatamente o feixe circular de ferro doce magnetisar-se-ha pela acção da corrente que percorre as bobinas, e todo o systema tomará um movimento de rotação muito rapido, sob a influencia dos polos do feixe magnetisado.

§ 731. Machina de correntes alternativas de Gramme. Esta machina é bastante complicada. Consta de seis partes: 1.<sup>a</sup> de duas chapas circulares reunidas por oito travessas cylindricas de latão; 2.<sup>o</sup> de uma arvore gyrante de aço, com um electro-iman multiplo, formado de oito partes divergentes dos eixos; 3.<sup>a</sup> de uma serie de bobinas exteriores de cobre, enroladas sobre ferro doce annullar, e que constitue um grande annel de Gramme; 4.<sup>a</sup> de dois discos de latão isolados, onde se assentam duas escovas; 5.<sup>a</sup> de dois discos delgados, para manterem as armaduras do electro-iman; 6.<sup>a</sup> finalmente, de varios accessorios, para proteger as peças moveis e reunir as fixas.

Os discos de latão, cada um dos quaes communica com um dos extremos do fio do electro-iman central, e as escovas de fio de cobre prateado recebem geralmente a corrente continua da machina de Gramme ordinaria.

Gyrando o electro-iman no interior do annel de Gramme, cada um dos fios interiores das bobinas, pela disposição das peças, fica sob influencias inductoras inversas; por consequente, recebe correntes induzidas, alternativamente invertidas. N'esta machina não ha commutador.



§ 732. *Applicação.* As machinas magneto-dynamo-electricas, principalmente as modernas, energicos productores da electricidade, fizeram com que este agente definitiva e vantajosamente entrasse no dominio das artes e da industria. Todas são fundadas no desenvolvimento da electricidade por inducção, que se produz sempre que um corpo electrivel se encontra em presença de um outro, séde da electricidade.

A machina de Gramme de correntes alternativas, e os seus congeneres, de variados systemas, feitos, força e applicações, etc. são as mais importantes pelo interesse pratico, principalmente porque determinam a divisão da luz electrica. Umas são exclusivamente empregadas na producção da luz electrica, outras na galvanoplastia, outras na transmissão da força a distancia. Estas machinas que ha pouco eram o exclusivo dominio dos gabinetes de physica têm hoje uma importancia real nas artes e na industria.

Ha muitas outras machinas fundadas no mesmo principio das de Gramme, as principaes e as mais recentes são as de Siemens, Halske, Hfner, Brusck, Bertim, Jablochhoff, Morien, etc. A machina de Pixi aperfeiçoada por Delaurier é destinada exclusivamente á galvanoplastia.

§ 733. *Iluminação publica pela electricidade.* Em 1813 o celebre physico inglez Dawy conseguiu obter a luz electrica; por muito tempo se repetiu a experiencia de Dawy e constituiu o objecto de demonstração nos cursos escolares. Depois que se conheceram os trabalhos de Faraday sobre as correntes de inducção, e se pôde obter a electricidade com economia os physicos constructores encaminharam na invenção das machinas magneto e dinamico-electricas; a luz electrica deixou de ser uma experiencia de laboratoro, entrou no dominio da industria e foi successivamente empregada na illuminação das gares, nos trabalhos dos tunneis e no de muitas officinas,



A luz electrica é esplendida, deslumbrante e de um maravilhoso effeito, é rival da luz solar. Com taes propriedades ella não podia deixar de ser aproveitada na illuminação publica.

A invenção dos reguladores e das velas carbonicas de Jablochkoff, que mantêm a fixidez e intensidade do foco luminoso, e a dos apparatus da divisão electrica, isto é, a alimentação de muitos focos pelo mesmo gerador da electricidade, venceram as principaes difficuldades que se antepunham na applicação da illuminação electrica.

Quando muitos geradores mechanicos da electricidade entram simultaneamente em actividade fornecendo electricidade para muitas lampadas collocadas a distancia n'uma vasta extensão obtem-se uma claridade de admiravel deslumbramento. Observou-se na nave central do Palacio de Industria em Paris que os apparatus, taes como as velas de Jablochkoff, Vilde, Jamin; as lampadas incandescentes de Edison, Maxim, Swann e Fox esparziam luzes brilhantes que produziam um effeito phantastico.

Hoje o systema de illuminação publica e particular pela electricidade não offerece difficuldade alguma. É muito vantajoso já pela economia na instalação dos geradores da luz electrica, já pela despeza quotidiana para obter uma luz com intensidade de determinado numero de bicos de Carcel, já porque não produz explosões, e finalmente não vicia a atmospherá com o gaz de illuminação.

---

## CAPITULO XXXVIII

**Telephonio. Microphonio.  
Phonographo. Photophonio.  
Telecroscopio**

Os instrumentos que vamos estudar, que produziram um notavel enthusiasmo no mundo scientifico, e que constituem maravilhas, não são em principio mais do que uma nova applicação das correntes de inducção á transmissão dos sons. MMr. Graham Bell, Huges e Edison, americanos, são os seus inventores.

§ 734. **Telephonio.** O *telephonio* é um instrumento destinado a transmittir a distancia o som e a palavra. Compõe-se essencialmente, fig. 224, de um magnete A, permanente, cercado, n'um dos seus polos, por uma bobina inductora B, sobre a qual está enrolado um fio de cobre muito comprido, revestido de seda. Deante d'este magnete e a uma pequena distancia está collocada uma lamina muito delgada *ab* de ferro doce, que fórma o fundo de uma embocadura C. Um dos extremos do fio da bobina fica em communicação com a linha telegraphica *u'*, e o outro extremo dirige-se para o solo. Um outro aparelho identico fica collocado no outro extremo do fio telegraphico. Quando se falla em voz alta na embocadura C, aparelho transmissor, as ondas sonoras communicam vibrações unisonas á lamina de ferro doce, a qual vibrando, se approxima ou se afasta do polo magnetico A, defronte do qual ella está collocada, segundo a amplitude das suas vibrações. N'este iman opera-se uma mudança



no seu estado magnetico, o qual produz uma serie de correntes induzidas no fio da bobina.

Cada corrente, partindo d'esta bobina, chega pelo fio telegraphico á bobina B' do apparatus receptor, onde muda por seu turno o estado magnetico do iman A', o qual determina vibrações na lamina *a'b'* de ferro doce, semelhantes em fórma e intensidade ás vibrações iniciaes da lamina *ab*. Applicando o ouvido á embocadura C', apparatus receptor, ouvem-se sons identicos aos emitidos pela pessoa que falla na embocadura do transmissor, como tambem suas palavras e o timbre da sua voz. Os dous apparatus situados aos dois extremos da linha, sendo identicos, podem servir alternativamente para perguntas e respostas.

§ 735. *Microphonio*. O *microphonio* é um instrumento destinado a reforçar os sons; utiliza-se vantajosamente, quando nos seus fios percorre uma corrente de uma pilha de Daniel de dous ou tres elementos.

Consta de uma prancheta horizontal, fig. 225, á qual está fixa uma outra vertical atravessada por dois prismas de carvão *n* e *o*, que communicam respectivamente com dois botões metallicos, fixos atraz da prancheta vertical; cada carvão tem uma excavação, aonde se introduz um outro carvão *c*, um pouco grosso, de 4 centimetros de comprido, e livre para poder abanar levemente na cavidade superior. Os dois botões em contacto com os carvões levam dois fios de cobre que se dirigem a um telephonio receptor, ficando o circuito em communicação com os tres elementos da pilha de Daniel.

Se produzirmos qualquer som, por fraco que seja, sobre a prancheta horizontal, o carvão *c* abana, e modificando seus contactos faz variar a intensidade da corrente ampliando consideravelmente o som. O leve attrito com uma ponta de um alfinete, o tic-tac de um relógio, o correr de um insecto sobre a prancheta, são perceptíveis a distancia de muitos metros, quando se applica o ouvido



ao telephonio. Para que os sons ganhem maior intensidade, quando passam pelo microphonio, é preciso que sejam transmittidos por uma serie contínua de corpos solidos.

§ 736. Phonographo. O *phonographo* é um instrumento destinado a registrar e reproduzir á vontade o som e a palavra. Consta de um cylindro de latão, sobre o qual está applicada uma folha muito delgada de estanho; sobre esta folha se apoia a ponta de um estilete de aço, cuja extremidade opposta está fixada no centro de uma pequena lamina de ferro, segura no fundo de uma embocadura por um anel metallico. O cylindro pôde gyrar em redor do seu eixo por meio de uma manivella. Fallando deante d'esta embocadura, durante o movimento do cylindro, as vibrações da voz, transmittidas ao estilete pela lamina de ferro, imprimem-se sobre a folha de estanho em uma linha pontuada, mais ou ménos saliente segundo a intensidade da voz.

Resta pois fazer repetir pelo phonographo as palavras assim registradas. Para isso basta fazer repassar a ponta do estilete, para que a lamina de ferro reproduza exactamente essas mesmas vibrações.

O telephonio, o microphonio e o phonographo, funcionando conjunctamente, constituem um admiravel aparelho, sob a relação da intensidade e pureza dos sons, sobre o orgão de audiçãõ e sobre o trabalho mechanic dispendido no acto da palavra.

N'uma das salas do Palacio da Industria em Paris, convenientemente atapetada e estofada para se não ouvirem ruidos exteriores, estão pendentés junto das paredes 30 pares de telephonios, em communicacão com uns transmissores microphonicos de Ader, collocados ao lado da caixa do ponto no grande theatro de Opera. Estabelecida a communicacão por meio do commutador entre a Opera e a sala dos telephonios, e applicando aos ouvidos os telephonios ouve-se perfeitamente com uma admira-

vel nitidez, uma por uma, todas as notas cantadas na Opera.

§ 737. **Photophonio.** O *photophonio* é o instrumento que transmite o som pela acção da luz; por isso diz-se que é um instrumento que faz fallar e cantar a luz. Este instrumento, que demonstra claramente a transformação do movimento luminoso em movimento sonoro, funda-se na curiosa propriedade do silenio, descoberta por W. Smith. Esta propriedade consiste em o silenio, que é um máu conductor da electricidade, tornar-se bom conductor sob a influencia da luz; e o gráu d'esta conductibilidade ser tanto maior, quanto maior for a intensidade luminosa.

O photophonio compõe-se de um transmissor e um receptor. O transmissor é formado de uma caixa, em cujo interior estão collocadas verticalmente duas laminas L e L', com duas fendas horizontaes A e A', que se correspondem. A lamina L está fixada na parte inferior da caixa e a lamina L' está presa por uma tira de papel á face de uma membrana, que fôrma o fundo de uma embocadura, que fica na parte superior da caixa.

No estado de repouso uma luz muito intensa, por ex. a luz electrica, collocada no foco de um espelho, projecta raios que atravessam as fendas A e A' das laminas do transmissor. Quando porém se produzem sons juncto á embocadura, a membrana que a fecha, recebendo os sons, vibra e communica as vibrações á lamina L', a qual, oscillando verticalmente, faz com que a fenda A' ora coincida ora não com a fenda A; e n'este ultimo caso a luz é interceptada, de modo que as vibrações sonoras correspondem a outras tantas passagens e interrupções na passagem da luz.

O receptor é formado de um espelho parabolico, em cujo foco está um cylindro canellado de silenio, que ora recebe ora não os raios de luz reflectidos no espelho; donde resulta que ora se torna melhor conductor da electricidade, ora apresenta mais resistencia á passagem de



uma corrente electrica; e como o silenio faz parte de um circuito em que tambem se acha uma pilha e um telephonio, segue-se que das variações da resistencia do circuito, correspondentes ás emissões e interrupções da luz, resultam variações na intensidade da corrente da pilha e portanto no magnetismo do telephonio; por tanto a lamina de ferro d'este ultimo entrará em vibração e produzirá sons correspondentes aos produzidos no transmissor.

§ 738. **Telectroscopio.** A brilhante invenção do telephonio do illustre professor americano Grahah Bell havia sobre modo excitado a attenção de physicos muito distinctos; e muitos d'elles, sem considerarem a telephonia como ultima expressão da telegraphia electrica, haviam dirigido as suas attensões a soluções de novos problemas relativos á applicação da electricidade. Entre nós o sr. dr. Adriano de Paiva de Faria Leite Brandão, distincto professor de Physica da Academia Polytechnica do Porto, n'um conciso mas notavel artigo no Instituto de Coimbra, pondo em evidencia a correlação da telegraphia e telephonia electrica, previu a resolução do importante problema da telescopia electrica por meio das placas de silenio sensiveis á luz. Com quanto o erudito professor não chegasse á realisação practica do seu instrumento, appellidado *telescopio-electrico*, vista a absoluta carencia no nosso pequeno paiz de physicos constructores, e sobre tudo um sem numero de difficuldades, que se accumulam nos trabalhos d'este genero, accrescendo a isto as opposições systematicas e lamentoso indifferentismo dos que pelo dever da posição deveriam, pelo menos, tentar algumas experiencias, segundo a indicação do joven professor, o sr. dr. Adriano de Paiva, comtudo ninguem lhe póde usurpar a prioridade na indicação da resolução da telescopia electrica, que o festejado Grahah Bell appellidou *telectroscopia*, ver pelo telegrapho.

O *telectroscopio* é um apparelho que consta de duas



camaras escuras, collocadas uma no ponto de partida e a outra no ponto de chegada, e ligadas por fios metallicos convenientemente dispostos. A parede anterior e interna da camara de partida é eriçada de fios imperceptiveis, cujas extremidades apparentes formam por sua reunião uma superficie plana. Se collocarmos deante d'esta superficie um objecto qualquer, e se as vibrações luminosas, correspondentes ás particularidades da fórma e das côres d'este objecto, depois de recebidos por cada um dos fios conductores, forem transmittidas a uma corrente electrica, reproduzir-se-hão identicamente na extremidade d'estes fios. As experiencias feitas com este apparelho dão excellentes resultados.

FIM.

# INDICE

## PHYSICA

	Pag.
NOÇÕES PRELIMINARES.....	1
Propriedades geraes dos corpos.....	7

### CAPITULO I

<i>Principios de mechanica</i> .....	15
--------------------------------------	----

### CAPITULO II

<i>Do movimento</i> .....	21
Proporcionalidade entre as forças constantes e as accelerações. Massa, quantidade de movimento. Medida das forças constantes.....	27
Da força centrífuga .....	29

### CAPITULO III

<i>Das machinas</i> .....	32
Alavanca .....	33
Plano inclinado.....	34
Roldana.....	36

## CAPITULO IV

	Pag.
<i>Gravidade</i> .....	37
Peso e densidade.....	40
Centro de gravidade. Equilibrio dos corpos.....	43

## CAPITULO V

<i>Leis da queda dos corpos</i> .....	48
Machina de Atwood.....	50

## CAPITULO VI

<i>Do pendulo</i> .....	54
Balança .....	62
Dinamometros .....	67

## CAPITULO VII

<i>Forças moleculares</i> .....	69
Propriedades particulares dos solidos .....	72

## CAPITULO VIII

<i>Hydrostatica</i> .....	75
Pressões dos liquidos sobre as paredes dos vasos.....	77
Prensa hydraulica. Vasos communicantes .....	82

## CAPITULO IX

<i>Principio de Archimedes</i> .....	90
Determinação do peso especifico dos corpos .....	94
Areometros.....	97
Capillaridade. Endosmose, exosmose .....	102



## CAPITULO X

	Pag.
<i>Pneumostatica</i> .....	106
Atmosfera. Pressão do ar .....	108
Barometros .....	113

## CAPITULO XI

<i>Força elastica dos gazes</i> .....	124
Lei de Mariote .....	124
Manometros .....	125
Machina pneumatica .....	127
Machina de compressão. Fonte de compressão. Fonte de Heron. Vaso de Tantaló. Espingarda de vento .....	133

## CAPITULO XII

<i>Bombas. Syphão. Baroscopio. Aerostatos</i> .....	137
---	-----

## CAPITULO XIII

<i>Acustica</i> .....	144
Propagação do som .....	146
Qualidades do som .....	152

## CAPITULO XIV

<i>Vibrações das cordas. Escala musical</i> .....	156
---	-----

## CAPITULO XV

<i>Calor</i> .....	162
Thermometros .....	169

## CAPITULO XVI

	Pag.
<i>Coefficiente de dilatação</i> .....	182

## CAPITULO XVII

<i>Calor radiante</i> .....	193
Poderes radiante, absorvente e reflectidor dos corpos para o calor.....	197
Poderes diathermanes e athermanes.....	200

## CAPITULO XVIII

<i>Conductibilidade calorifica. Calorimetria. Calores especificos.</i> ..	203
Calorimetria. Calores especificos.....	207

## CAPITULO XIX

<i>Mudança de estado dos corpos</i> .....	215
Fusão .....	"
Vaporisação .....	220
Evaporação. Ebullicão. Distillação .....	223

## CAPITULO XX

<i>Liquefacção e solidificação dos gases</i> .....	232
Misturas dos gases e vapores.....	234
Idêas geraes sobre as applicações domesticas do calor ....	238

## CAPITULO XXI

<i>Machinas de vapor</i> .....	244
Viação accelerada por vapor .....	254

## CAPITULO XXII

	Pag.
<i>Meteorologia</i> .....	259
Hygrometria .....	»
Meteoros aereos .....	264
Meteoros aquosos .....	272
Meteoros luminosos .....	276
Meteoros electricos .....	279

## CAPITULO XXIII

<i>Climatologia</i> .....	280
Previsão do tempo .....	288

## CAPITULO XXIV

<i>Optica</i> .....	293
---------------------	-----

## CAPITULO XXV

<i>Reflexão da luz, suas leis. Espelhos</i> .....	304
Espelhos .....	306
Espelhos planos .....	307
Espelhos esfericos .....	311

## CAPITULO XXVI

<i>Refracção da luz, suas leis</i> .....	324
Prismas .....	332

## CAPITULO XXVII

<i>Lentes</i> .....	334
---------------------	-----



## CAPITULO XXVIII

	Pag.
<i>Dispersão da luz. Achromatismo</i> .....	348

## CAPITULO XXIX

<i>Instrumentos opticos</i> .....	352
-----------------------------------	-----

## CAPITULO XXX

<i>Magnetismo</i> .....	363
Magnetismo terrestre.....	369
Processos de magnetisação.....	374

## CAPITULO XXXI

<i>Electricidade</i> .....	378
Distribuição da electricidade.....	387
Electrisação por influencia.....	390

## CAPITULO XXII

<i>Machinas electricas</i> .....	397
Condensação da electricidade.....	405
Efeitos da electricidade estatica.....	410
Electricidade atmospherica.....	414

## CAPITULO XXXIII

<i>Electricidade Dynamica</i> .....	419
Pilhas.....	422

## CAPITULO XXXIV

	Pag.
<i>Pilhas de dous liquidos</i> .....	430
Efeitos geraes da electricidade dynamica .....	434
Efeitos physiologicos das correntes .....	435
Efeitos calorificos das correntes .....	436
Efeitos luminosos das correntes .....	437
Efeitos chimicos das correntes.....	442
Galvanoplastia .....	444

## CAPITULO XXXV

<i>Efeitos magneticos das correntes</i> .....	446
Correntes thermo-electricas.....	450
Phenomenos fundamentaes da electro-dynamica .....	455

## CAPITULO XXXVI

<i>Electro-magnetismo</i> .....	457
Solenoides.....	458
Magnetisação pelas correntes. Electro-imans.....	460
Telegraphia electrica .....	463

## CAPITULO XXXVII

<i>Inducção electrica</i> .....	473
Machinas de inducção .....	475

## CAPITULO XXXVIII

<i>Telephonio. Microphonio. Phonographo. Photophonio. Tele- croscoPIO</i> .....	481
---	-----



## CAPITULO XXIV

Par	.....
430	.....
431	.....
432	.....
433	.....
434	.....
435	.....
436	.....
437	.....
438	.....
439	.....
440	.....

## CAPITULO XXV

441	.....
442	.....
443	.....
444	.....

## CAPITULO XXVI

445	.....
446	.....
447	.....
448	.....
449	.....
450	.....

## CAPITULO XXVII

451	.....
452	.....

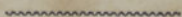
## CAPITULO XXVIII

453	.....
454	.....





OBRAS DO MESMO AUTHOR



**Curso completo de introdução  
à Historia Natural dos tres Reinos**

<i>Physica</i> . . . . .	1 \$200 réis
<i>Chimica</i> . . . . .	800 »
<i>Zoologia</i> . . . . .	800 »
<i>Botanica, Mineralogia e Geologia</i> . . . . .	800 »



<i>Arithmetica, 4.<sup>a</sup> edição</i> . . . . .	600 »
<i>Trigonometria rectilinea</i> . . . . .	600 »
<i>Generalidades de Geometria plana</i> . . . . .	120 »
<i>Generalidades de Geometria no espaço</i> . . . . .	120 »



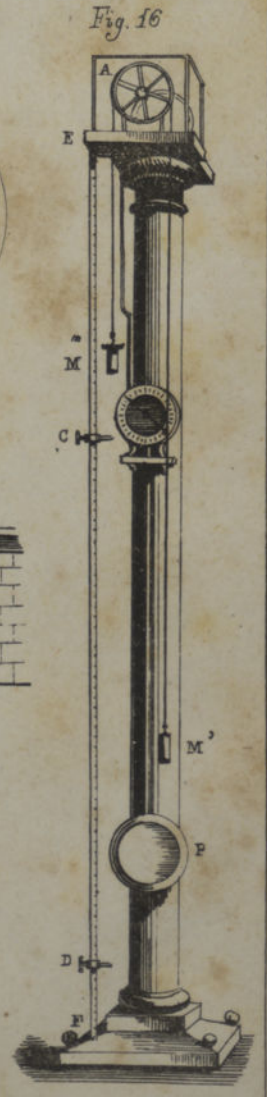
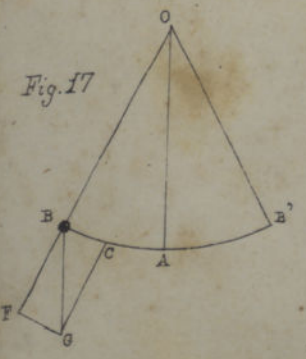
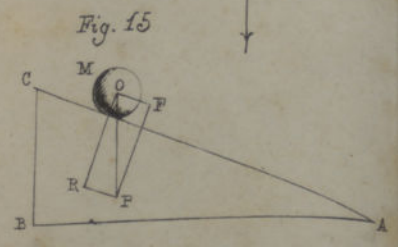
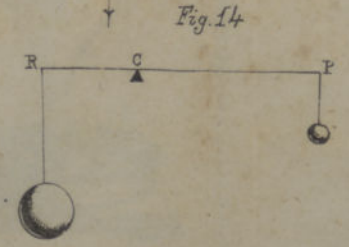
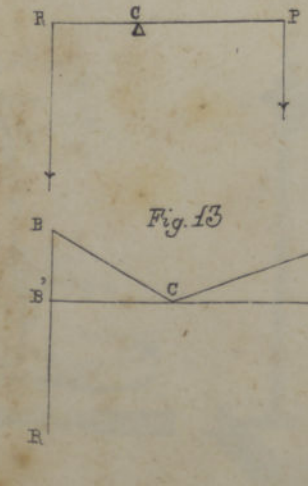
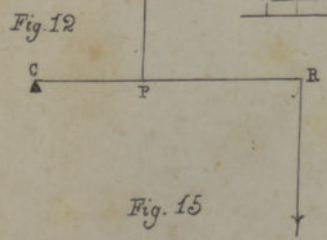
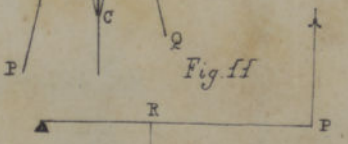
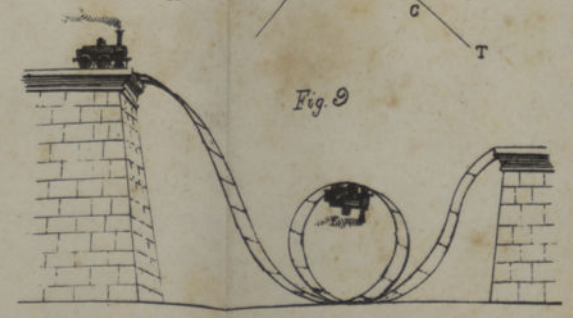
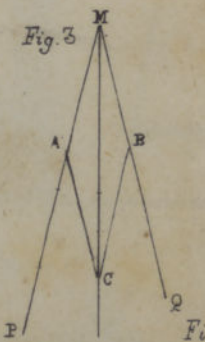
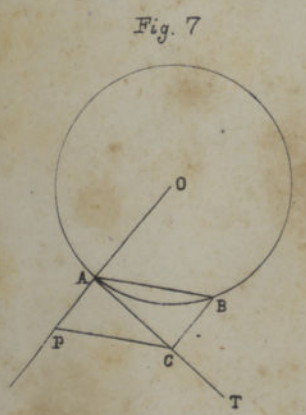
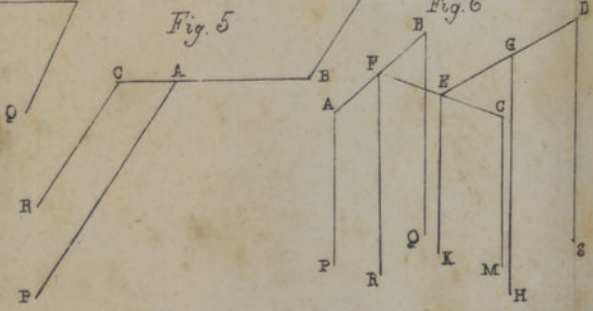
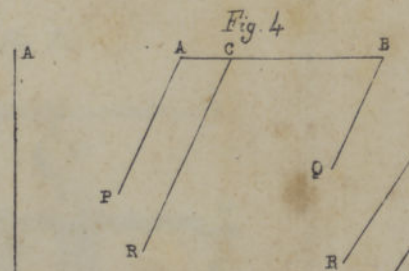
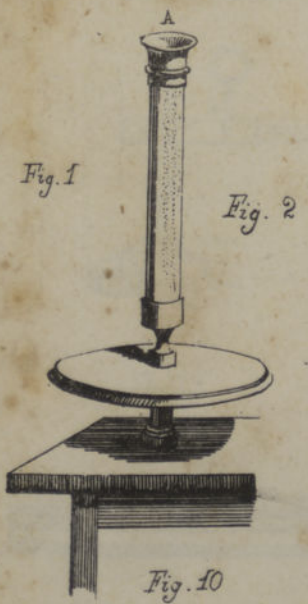
OPRAS DO MESMO AUTOR

Curso completo de medicina  
 e Historia Natural das tres Indias

1200	.....
800	.....
500	.....
500	.....

600	.....
600	.....
150	.....
150	.....







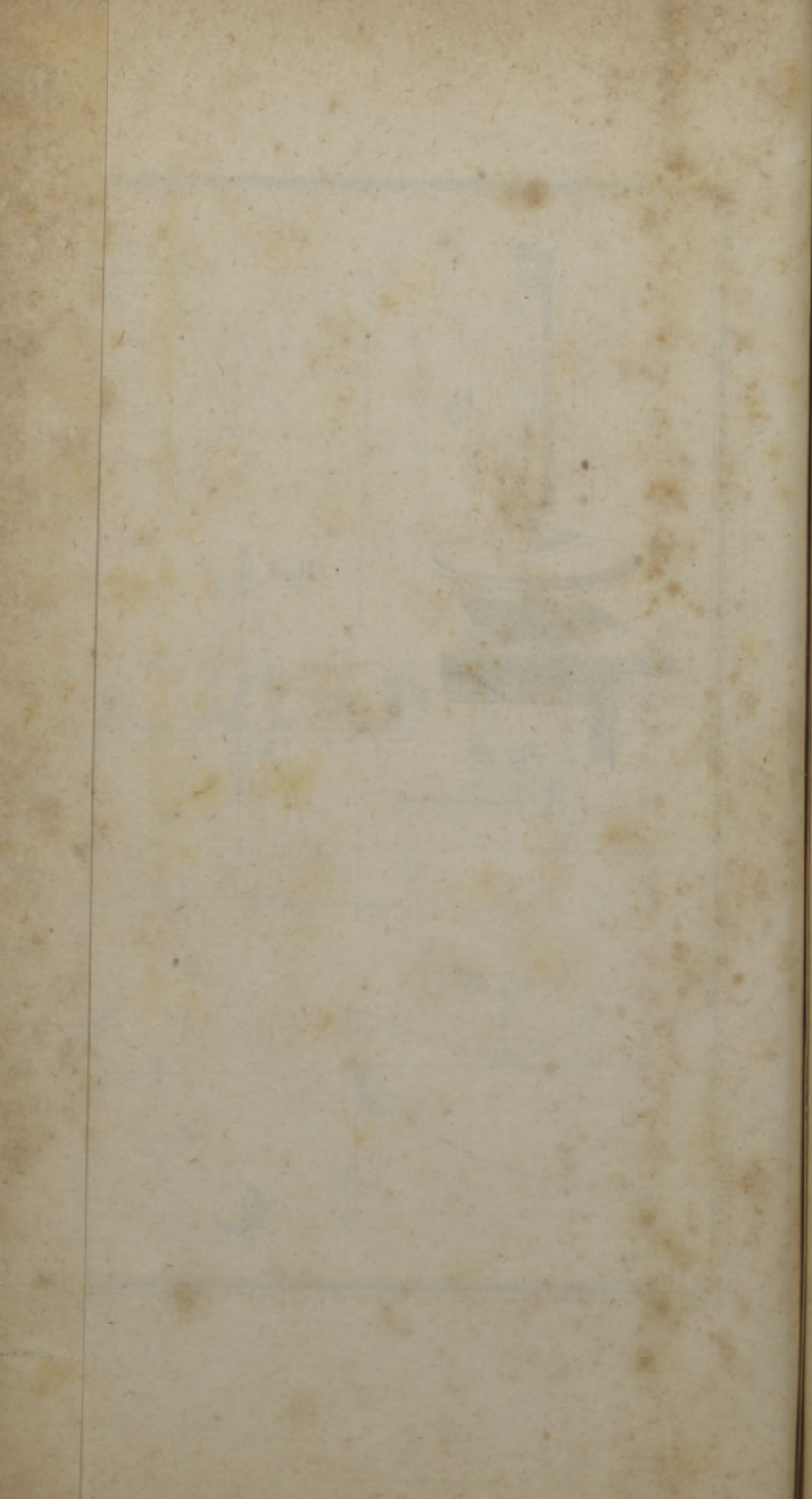


Fig. 18

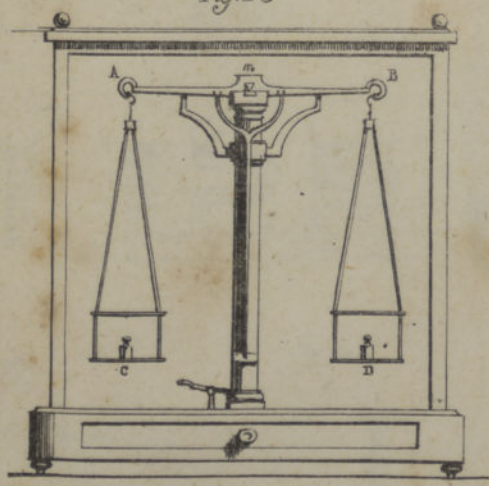


Fig. 19

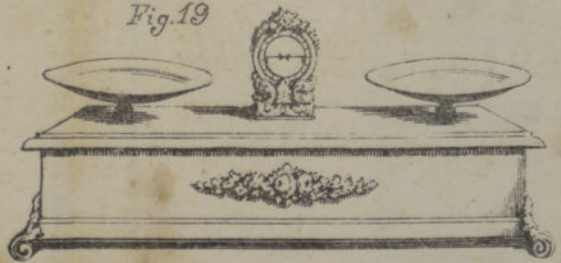


Fig. 23



Fig. 20

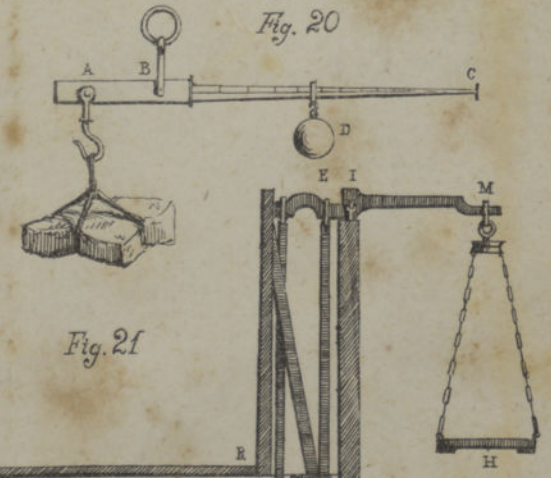


Fig. 22

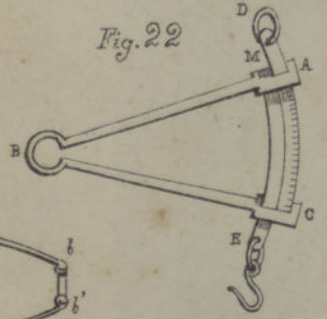


Fig. 24

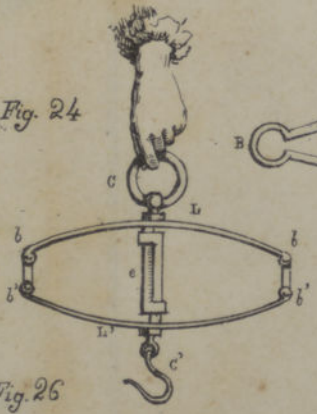


Fig. 25

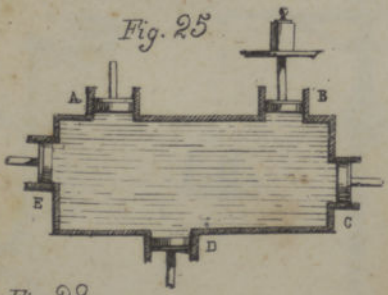


Fig. 27

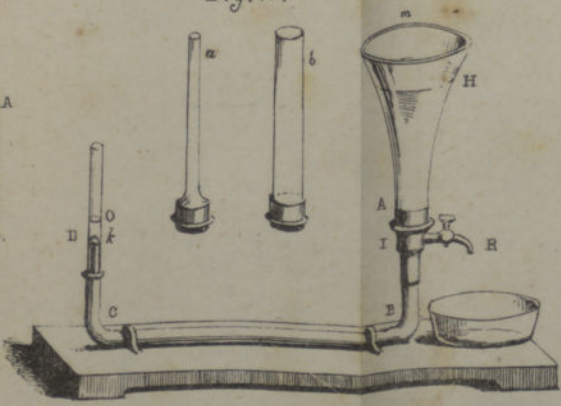


Fig. 30

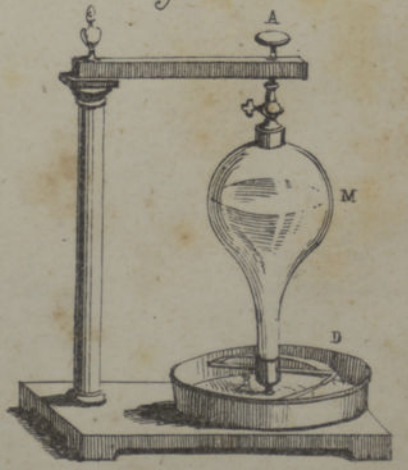


Fig. 29

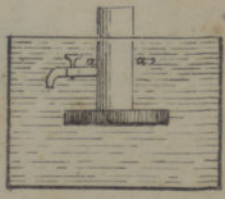


Fig. 26



Fig. 28

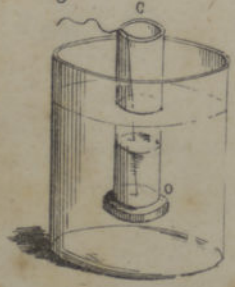






Fig. 31

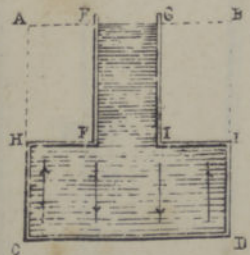


Fig. 33

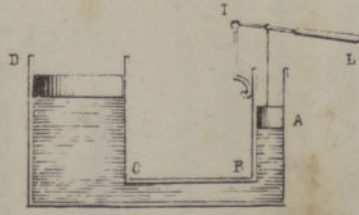


Fig. 34

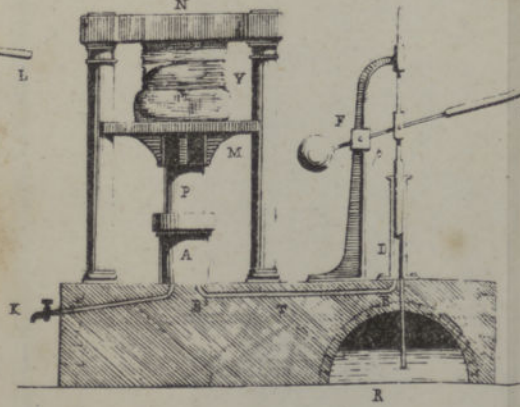


Fig. 35

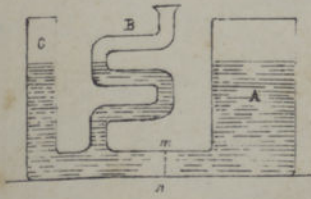


Fig. 36



Fig. 32

Fig. 39



Fig. 41

Fig. 37



Fig. 38

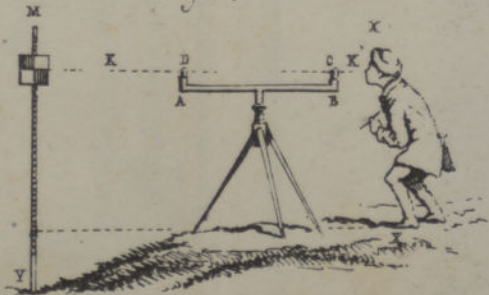


Fig. 40



Fig. 42



Fig. 43



Fig. 44



Fig. 45

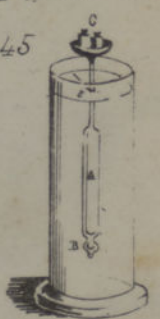


Fig. 46

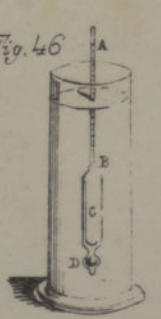
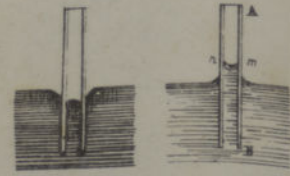


Fig. 47



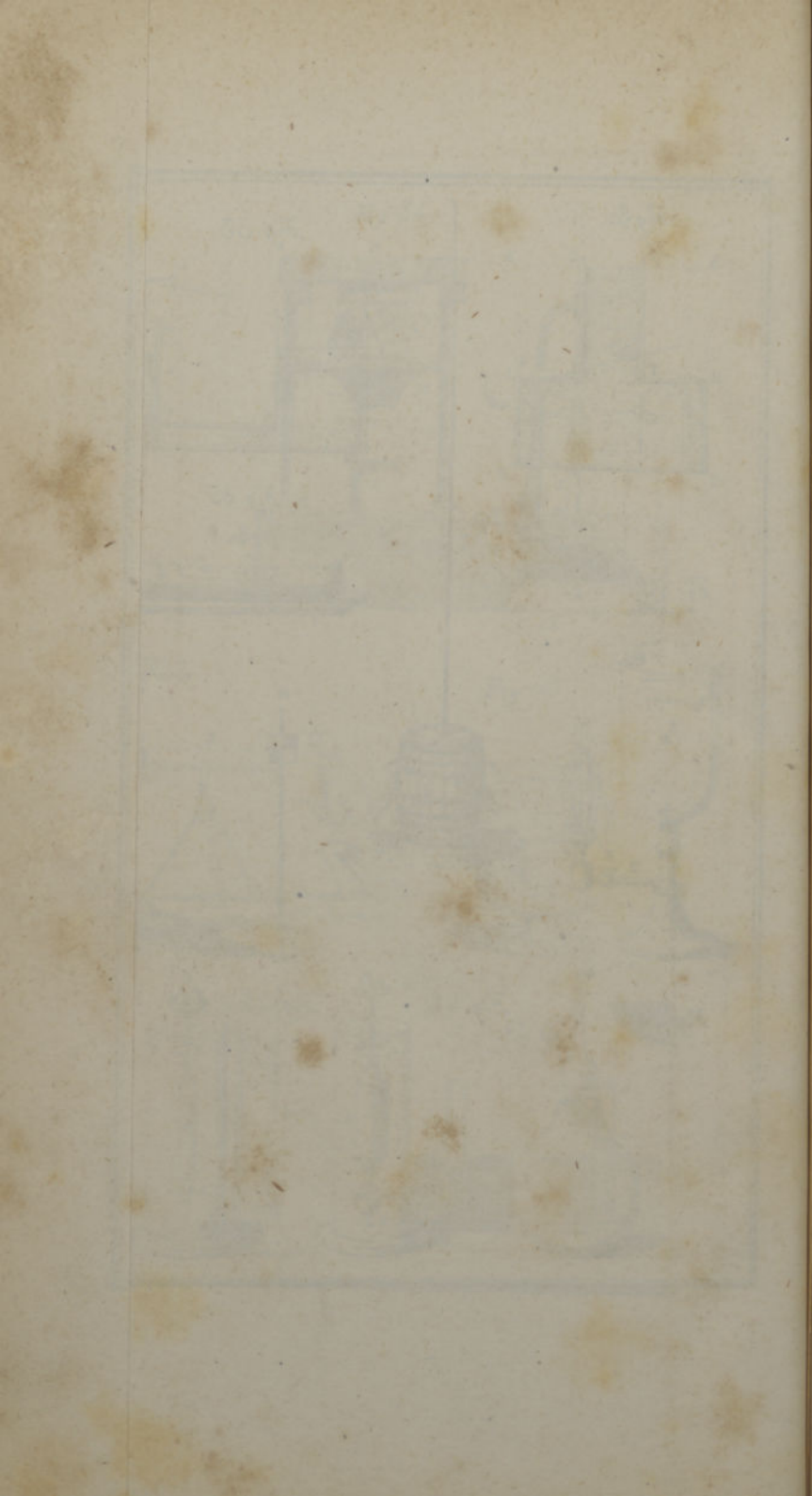




Fig. 48

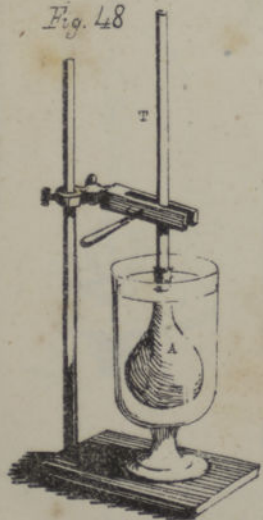


Fig. 49



Fig. 50



Fig. 51



Fig. 52



Fig. 53

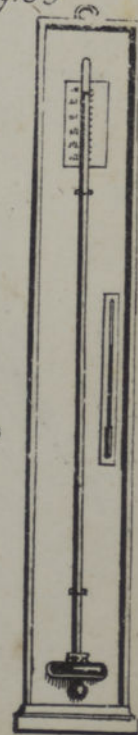


Fig. 54



Fig. 58



Fig. 60

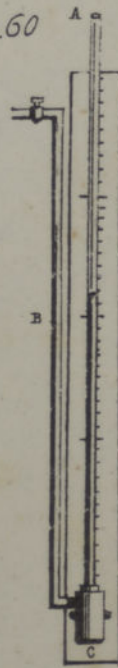


Fig. 55



Fig. 56



Fig. 57

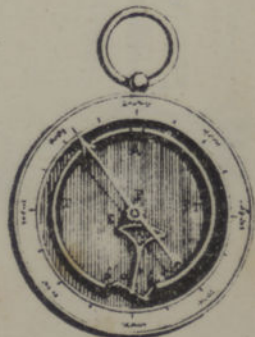


Fig. 59

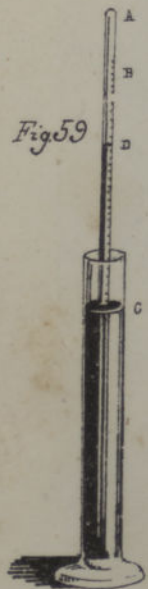
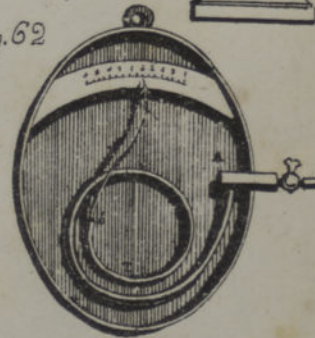


Fig. 61



Fig. 62





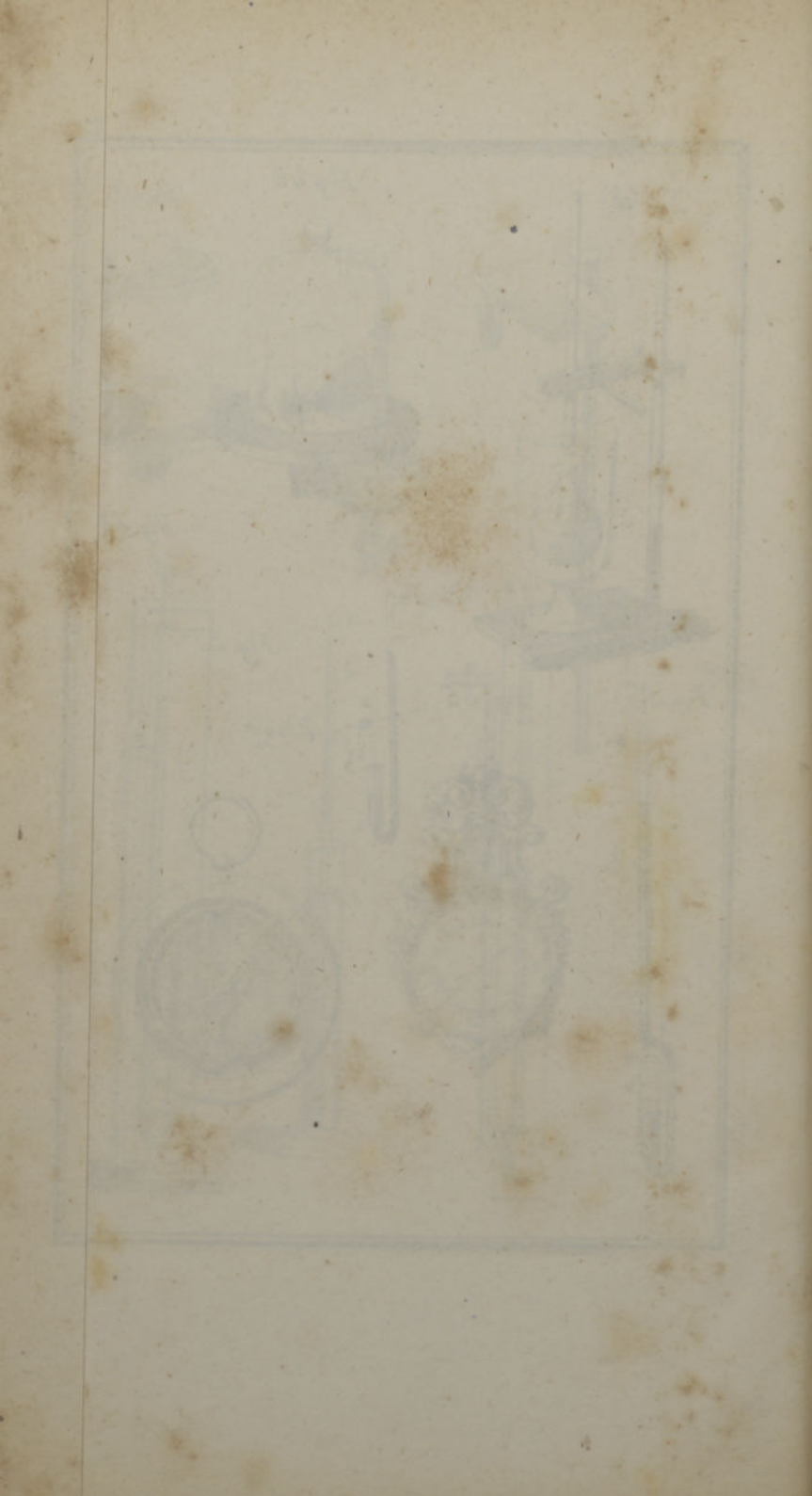


Fig. 63

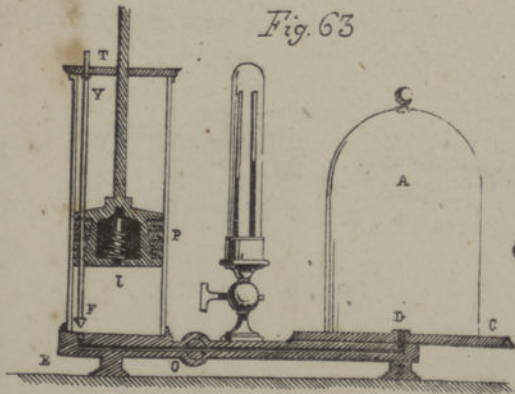


Fig. 64

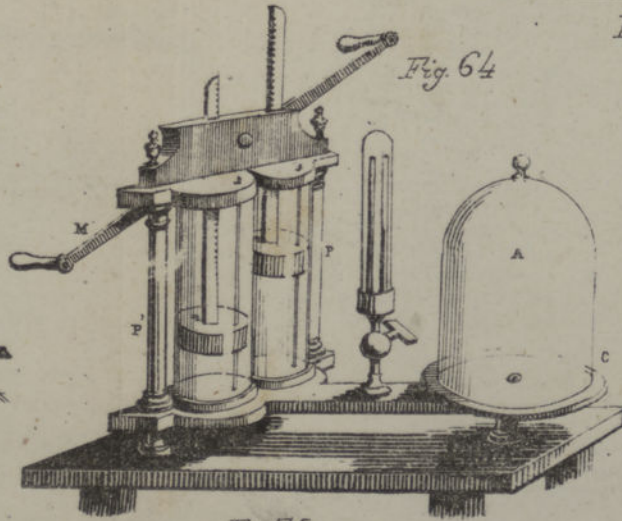


Fig. 65

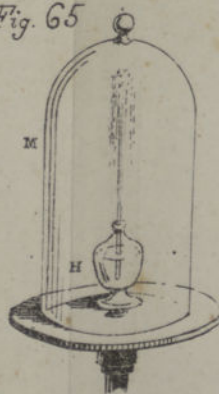


Fig. 66



Fig. 67

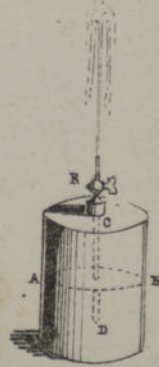


Fig. 70



Fig. 71

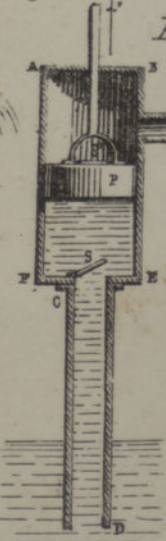


Fig. 73

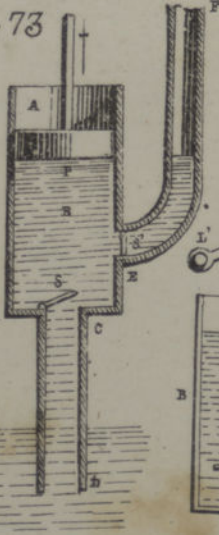


Fig. 74

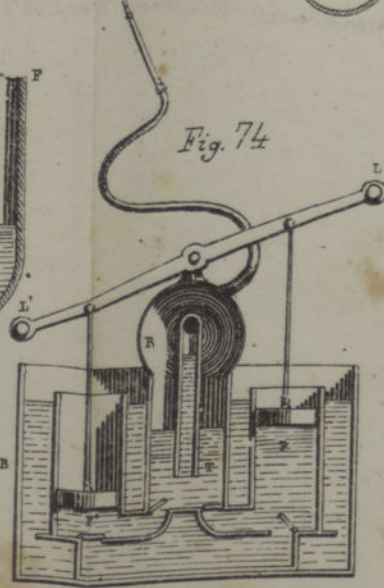


Fig. 75

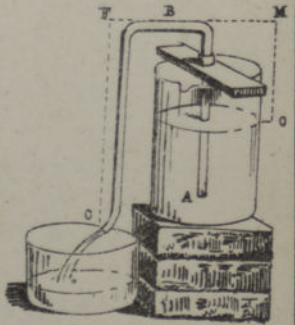


Fig. 68



Fig. 69

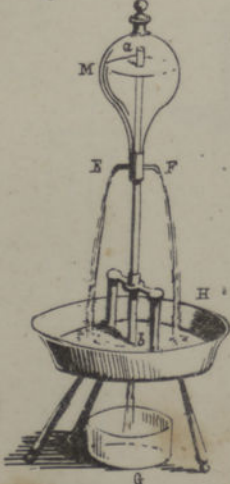
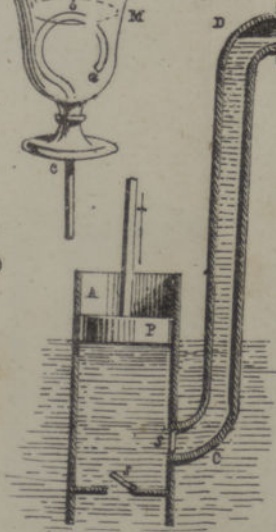


Fig. 72



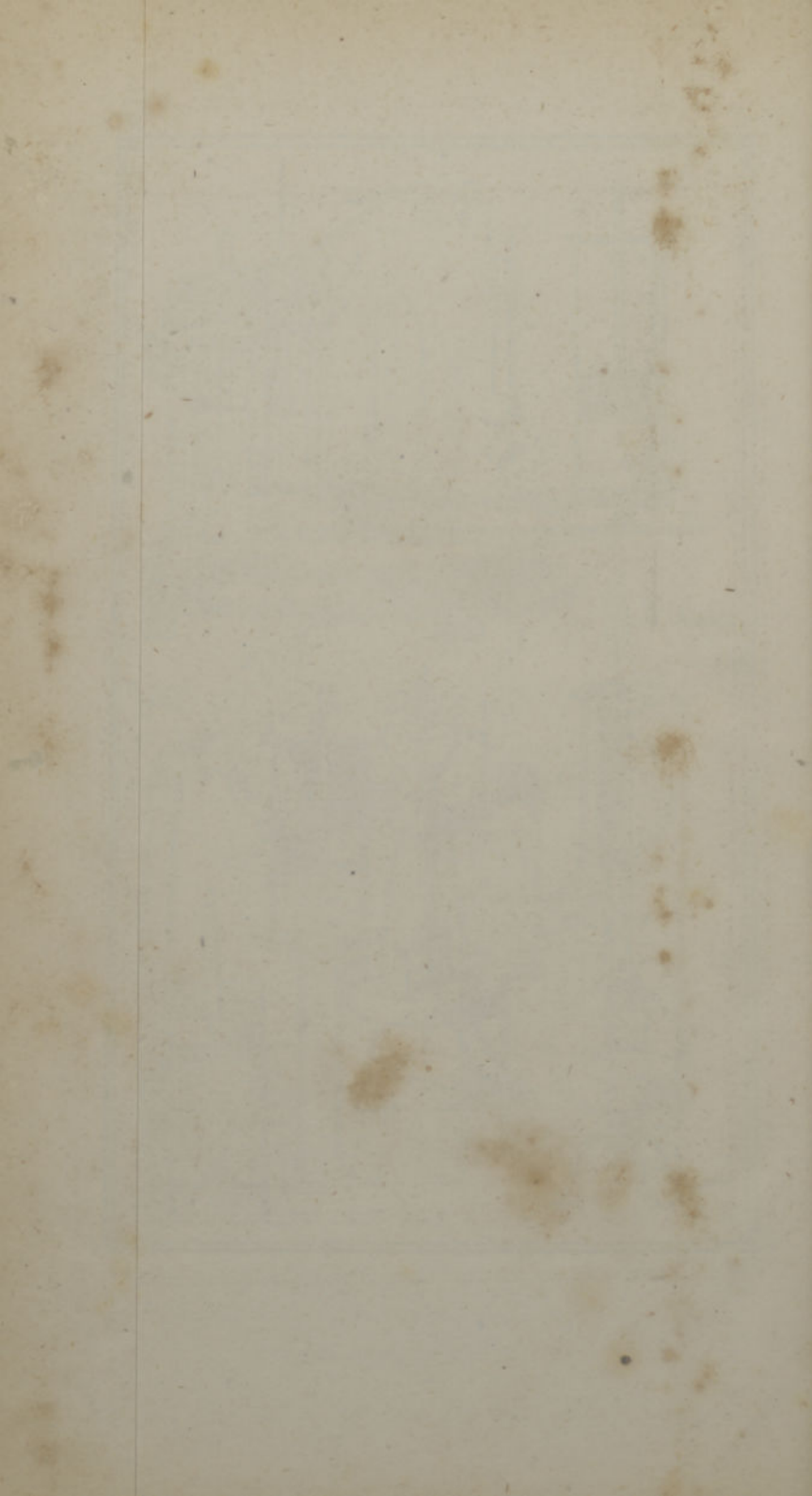




Fig. 76

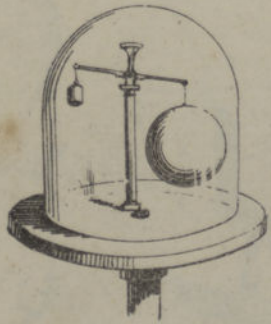


Fig. 77

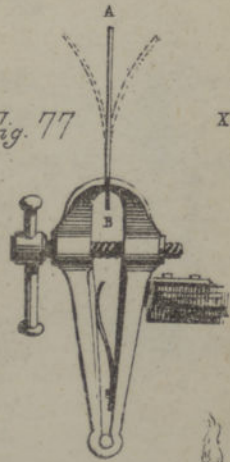


Fig. 78

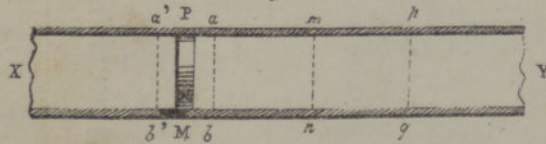


Fig. 79

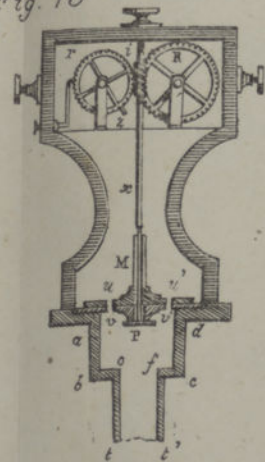


Fig. 85

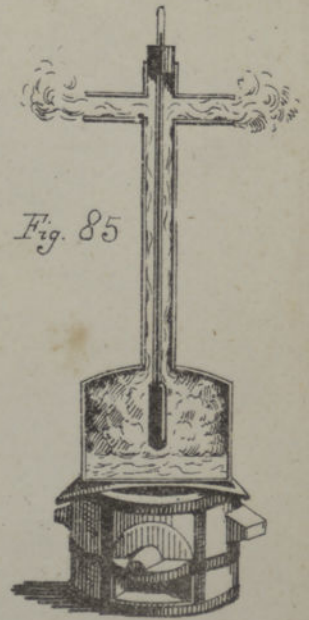


Fig. 80

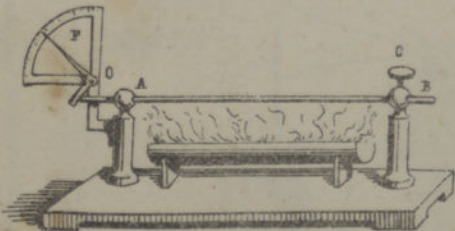


Fig. 81

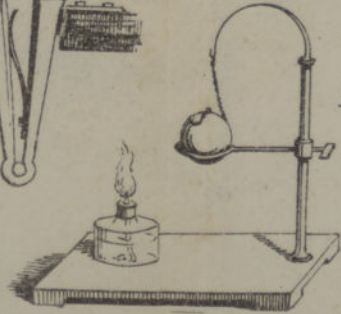


Fig. 83

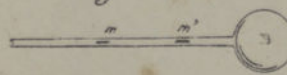


Fig. 82

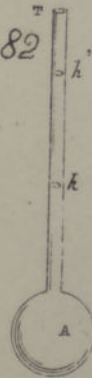


Fig. 84

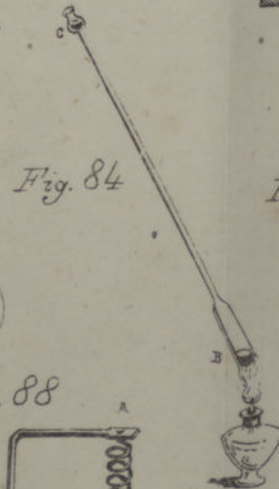


Fig. 90

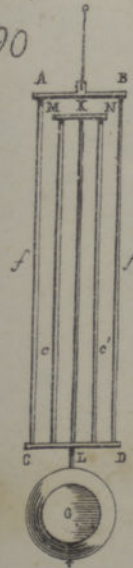


Fig. 86



Fig. 87

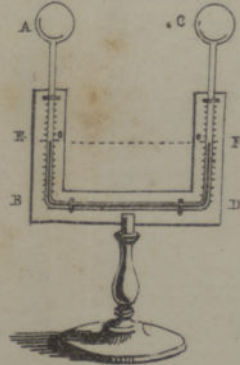


Fig. 88

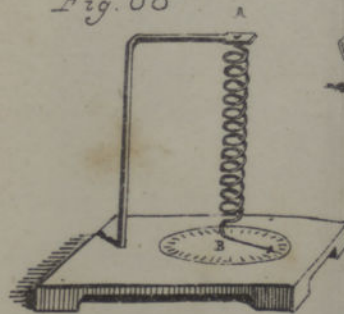


Fig. 89







Fig. 91

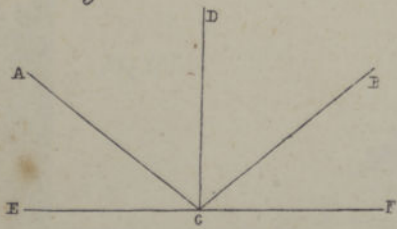


Fig. 92

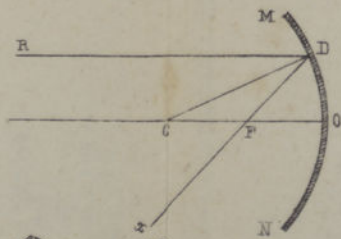


Fig. 93

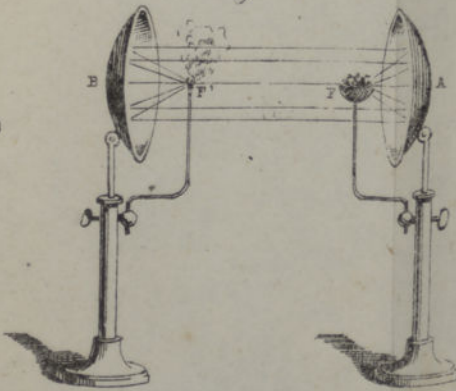


Fig. 94

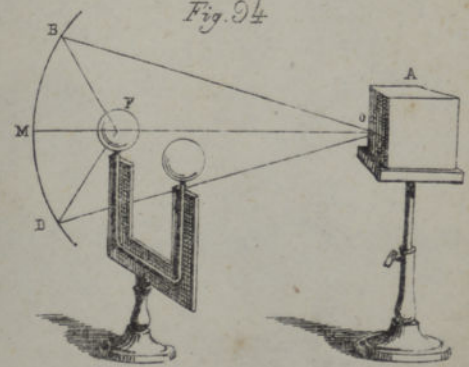


Fig. 95

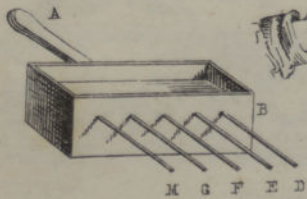


Fig. 98

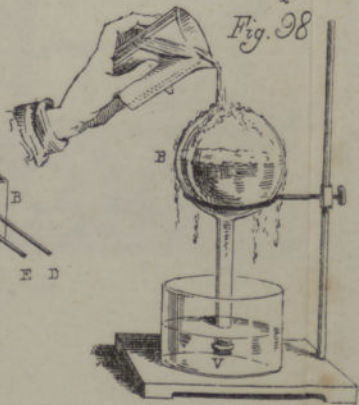


Fig. 99

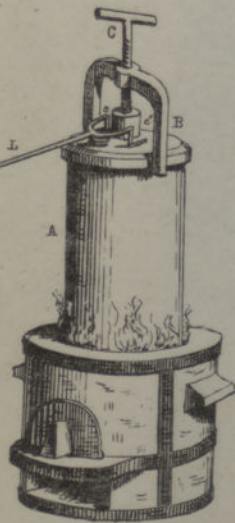


Fig. 100

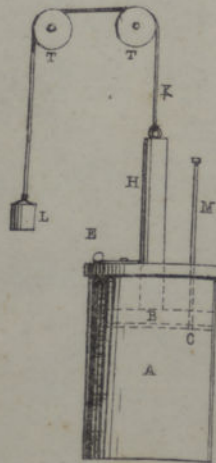


Fig. 96



Fig. 97

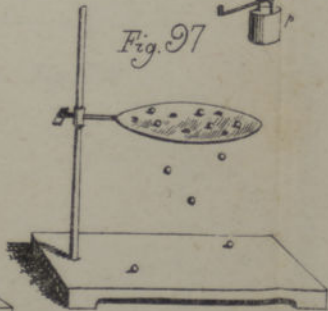


Fig. 101

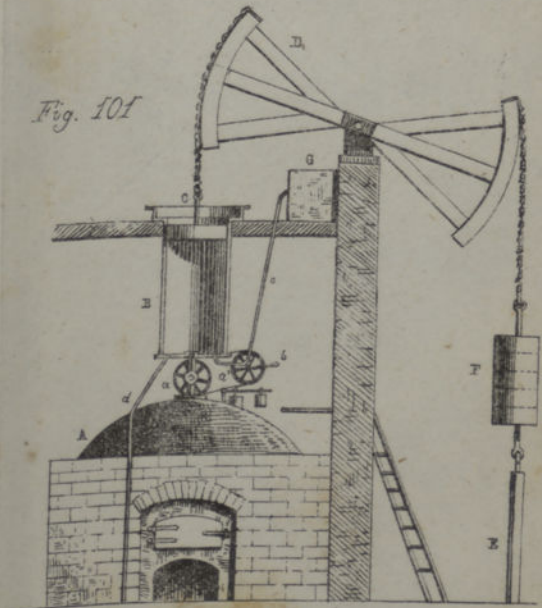






Fig. 102

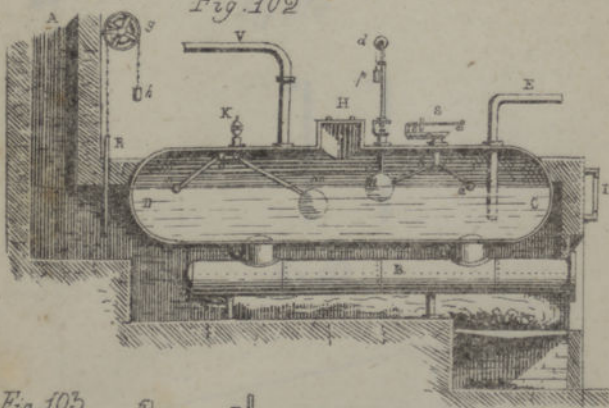


Fig. 105

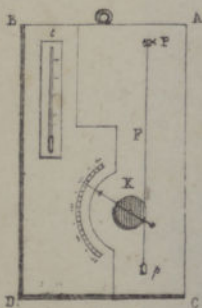


Fig. 104

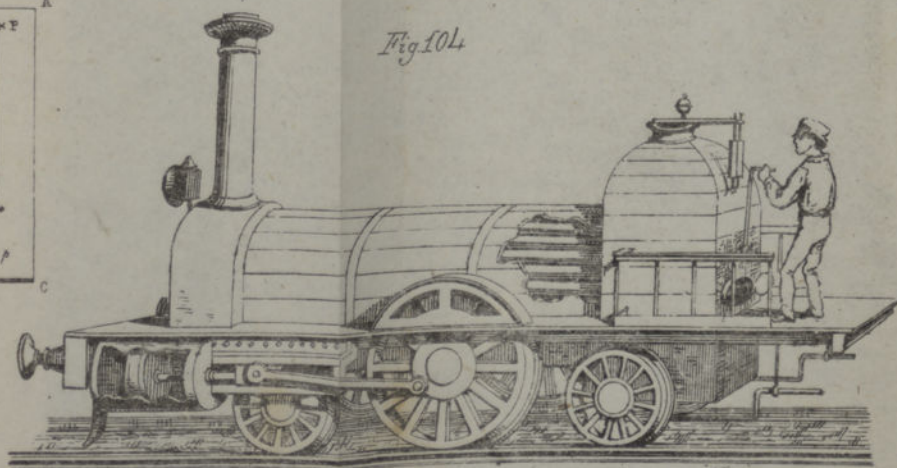


Fig. 103

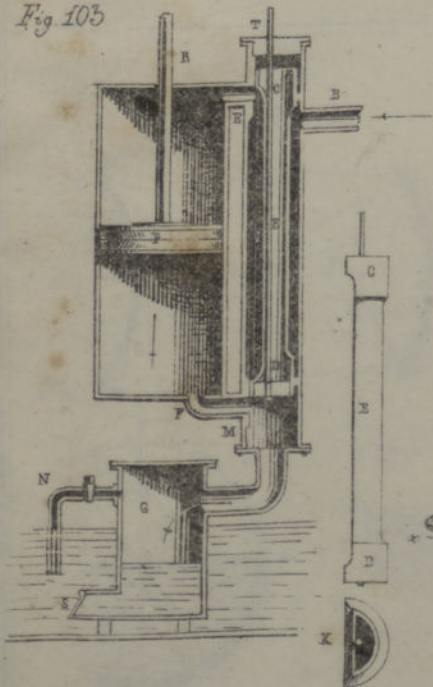


Fig. 106

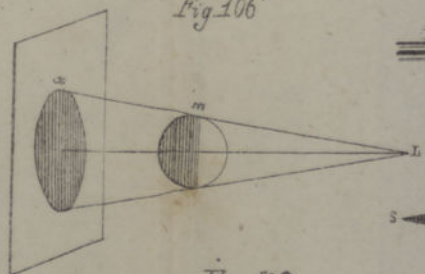


Fig. 109

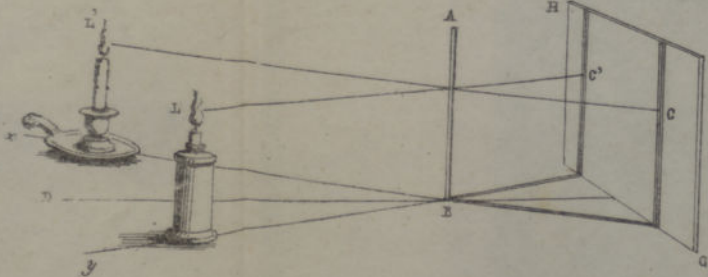


Fig. 107

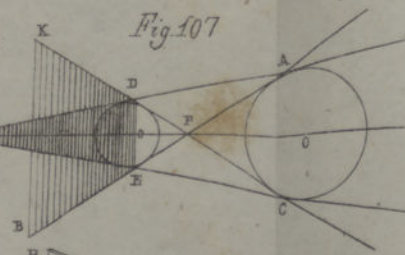


Fig. 110

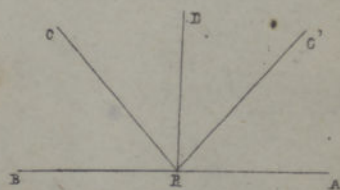
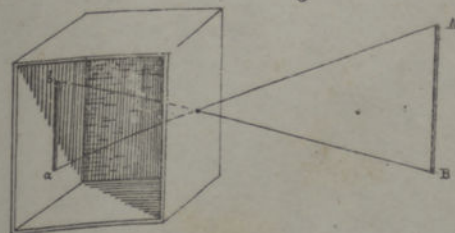
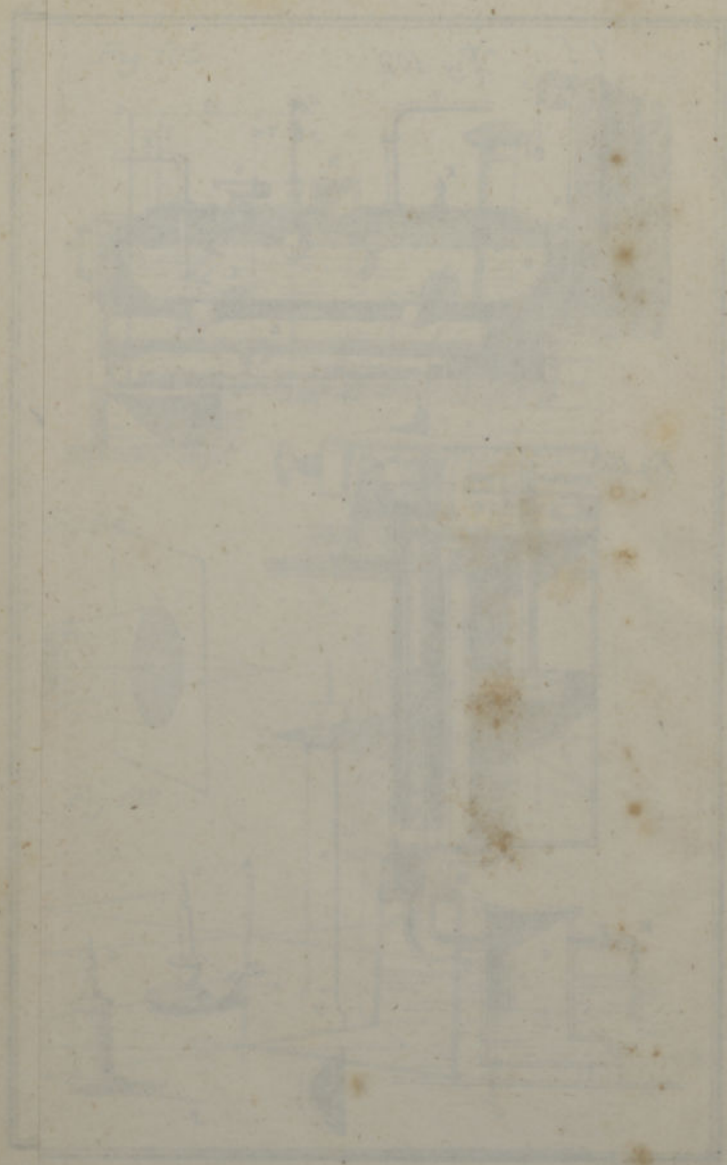
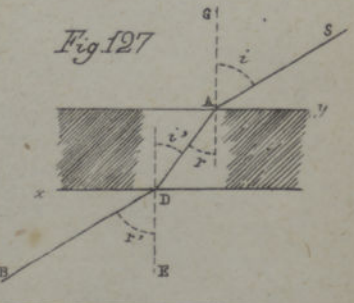
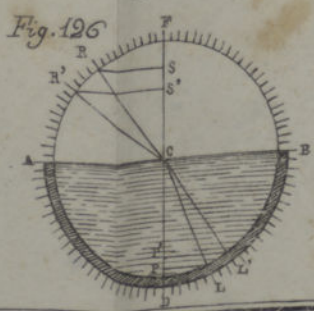
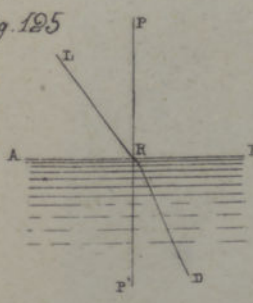
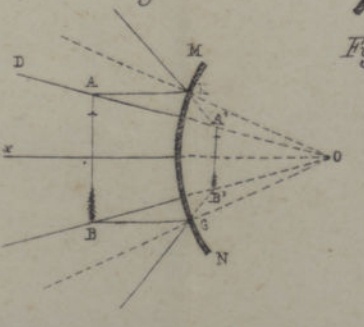
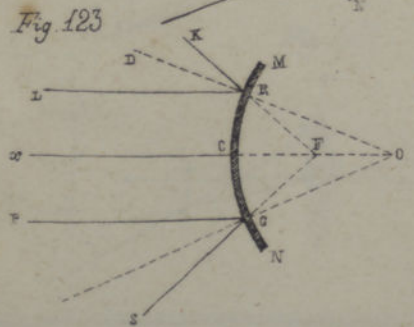
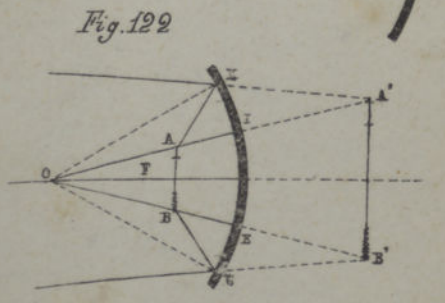
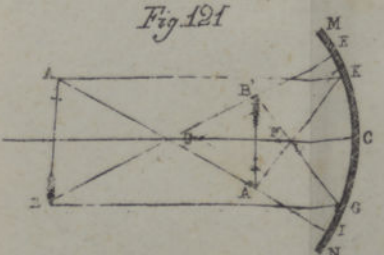
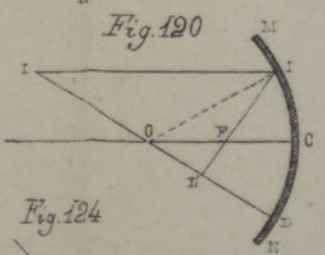
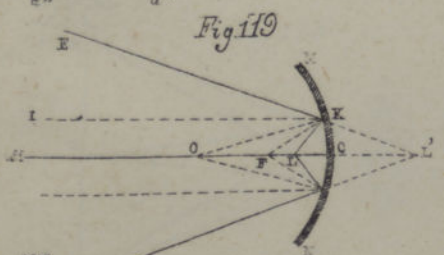
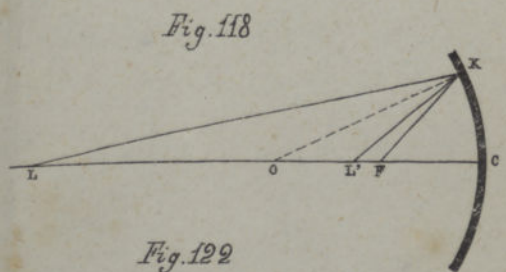
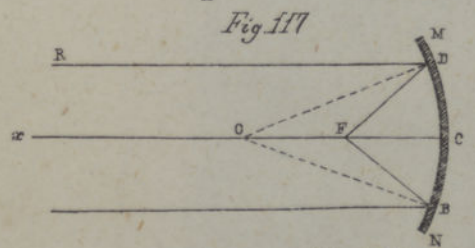
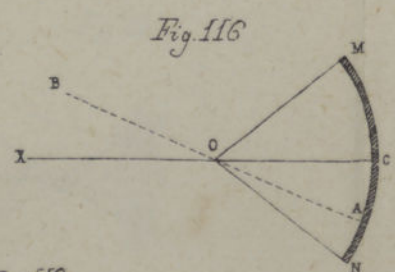
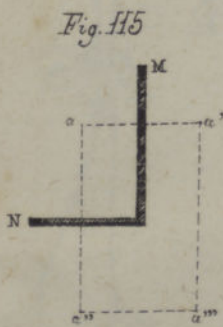
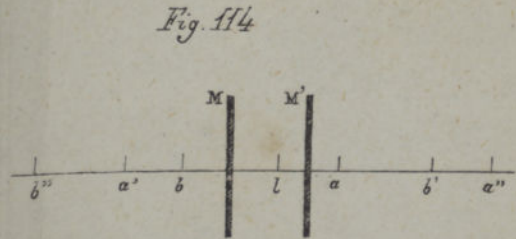
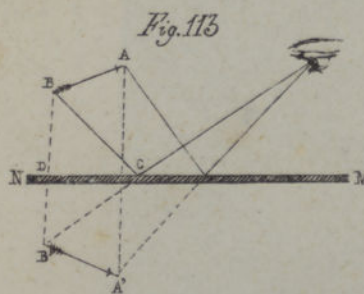
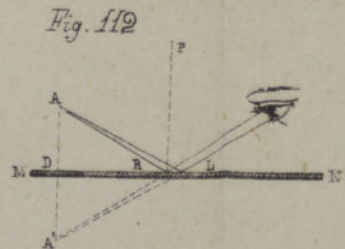
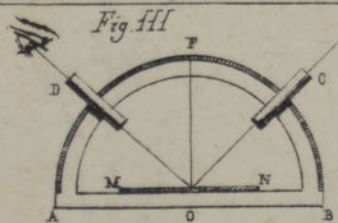


Fig. 108









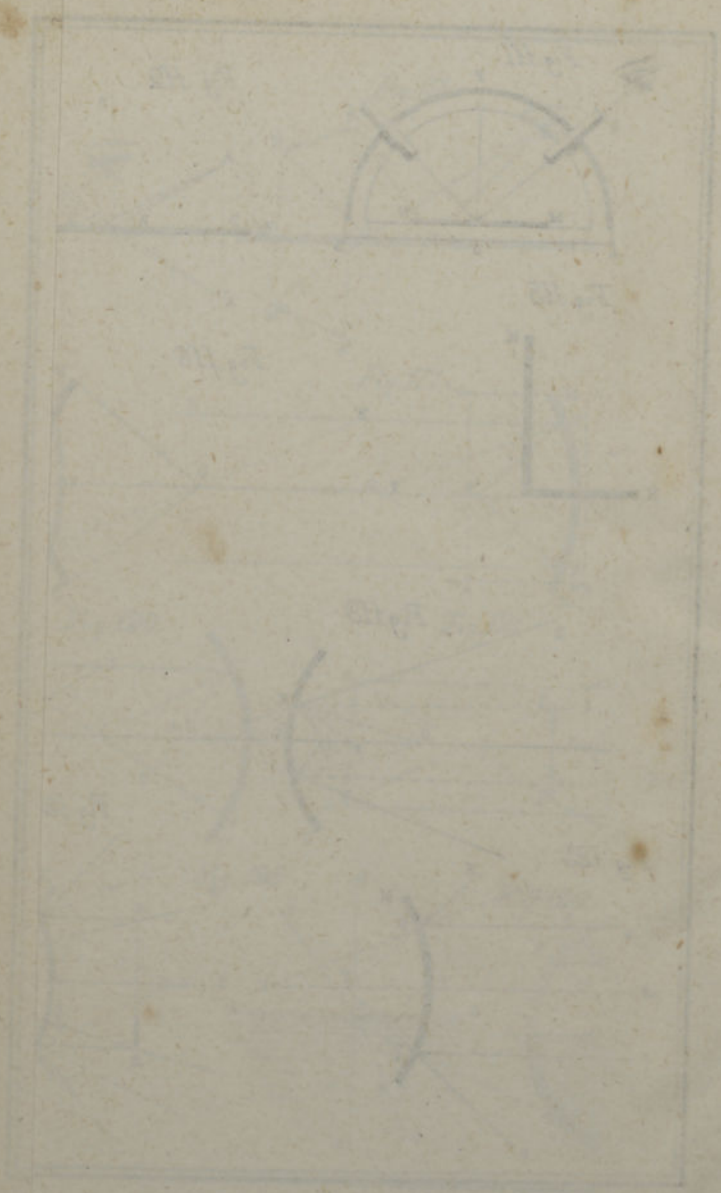




Fig. 128

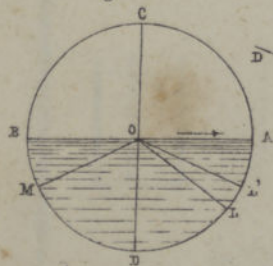


Fig. 129

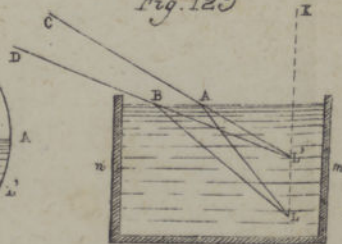


Fig. 130

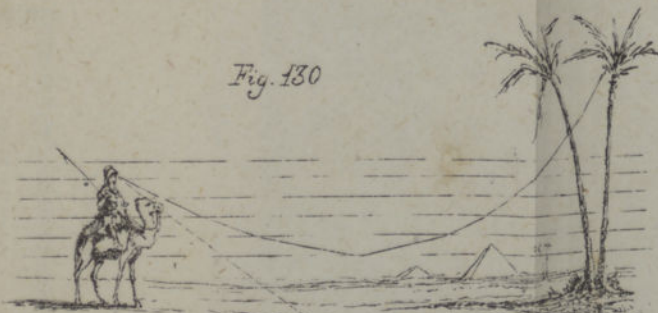


Fig. 131

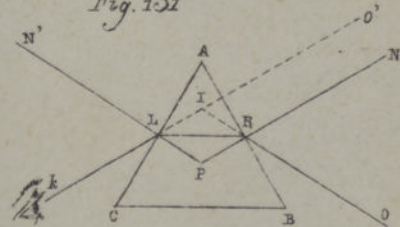


Fig. 132

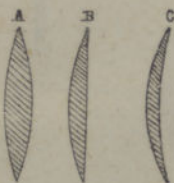


Fig. 133



Fig. 134



Fig. 135

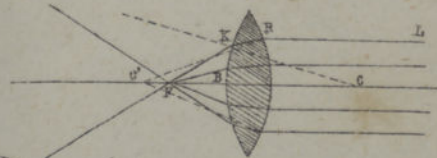


Fig. 136

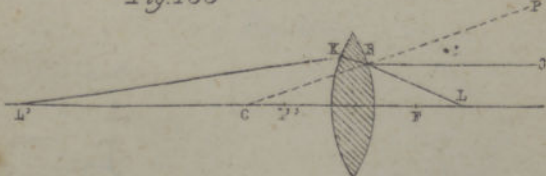


Fig. 137



Fig. 138

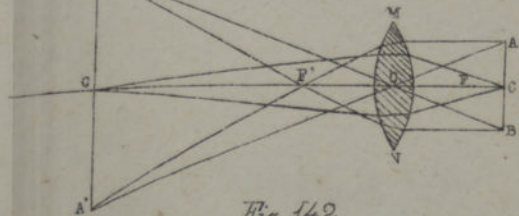


Fig. 139

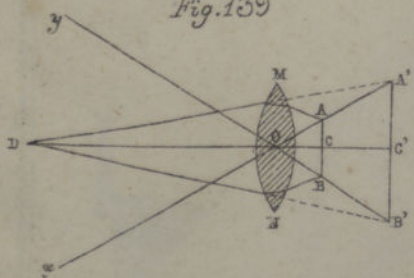


Fig. 140

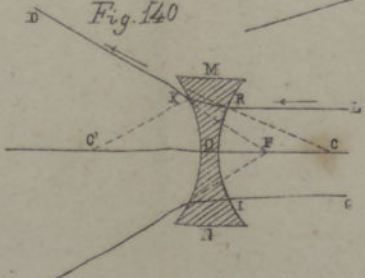


Fig. 141

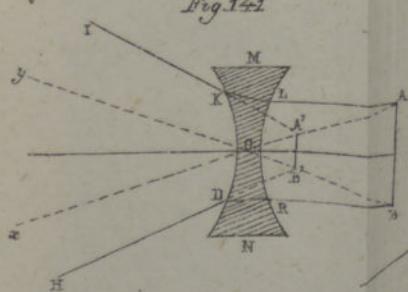


Fig. 142

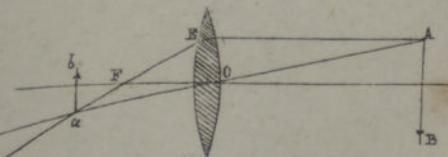






Fig. 143

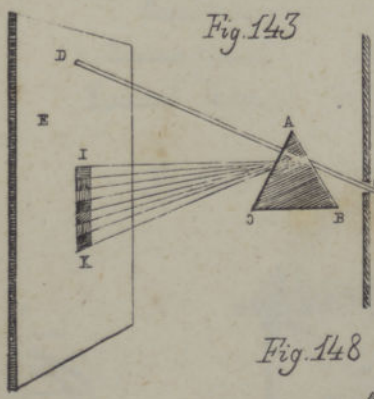


Fig. 144

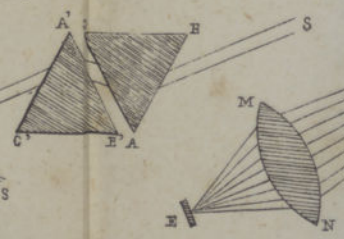


Fig. 145

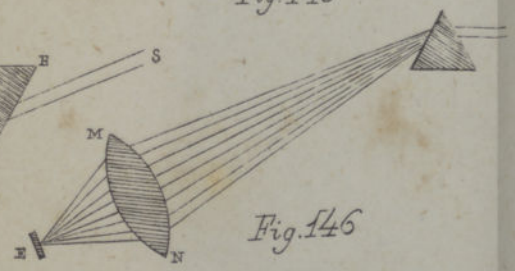


Fig. 147



Fig. 148

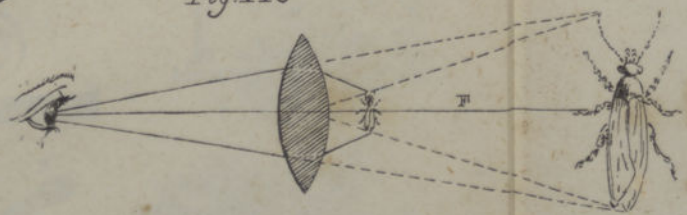


Fig. 146

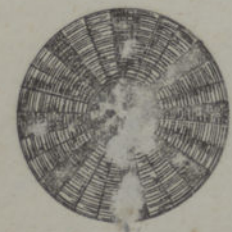


Fig. 149

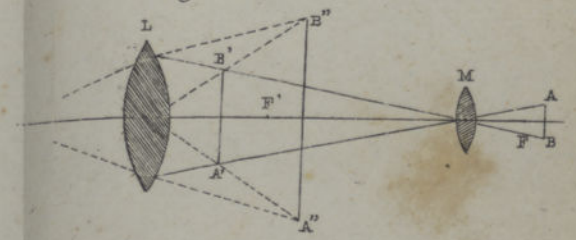


Fig. 150

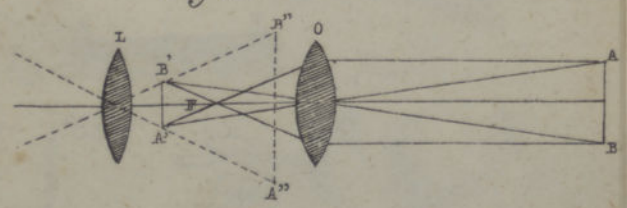


Fig. 151

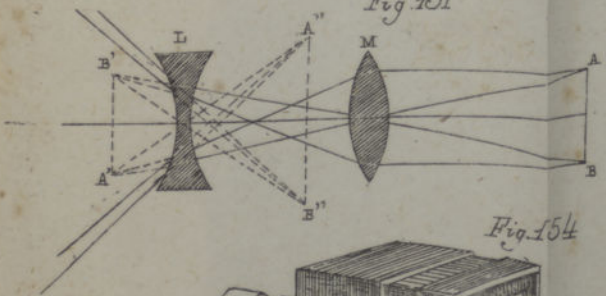


Fig. 153

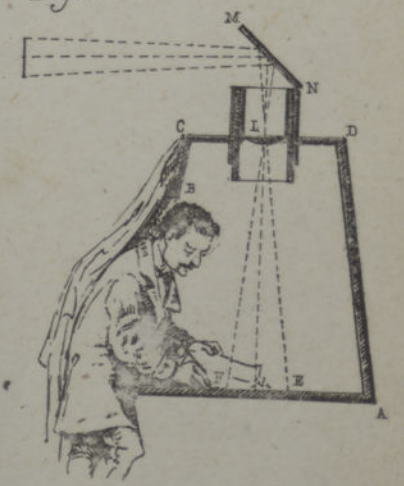


Fig. 152

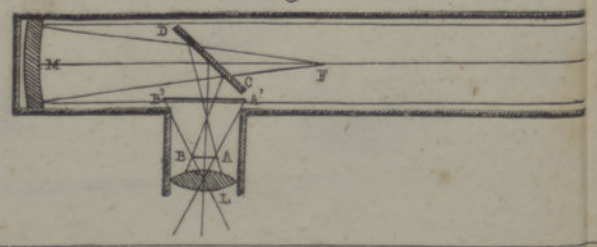
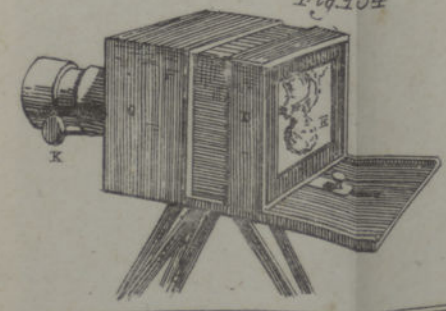


Fig. 154



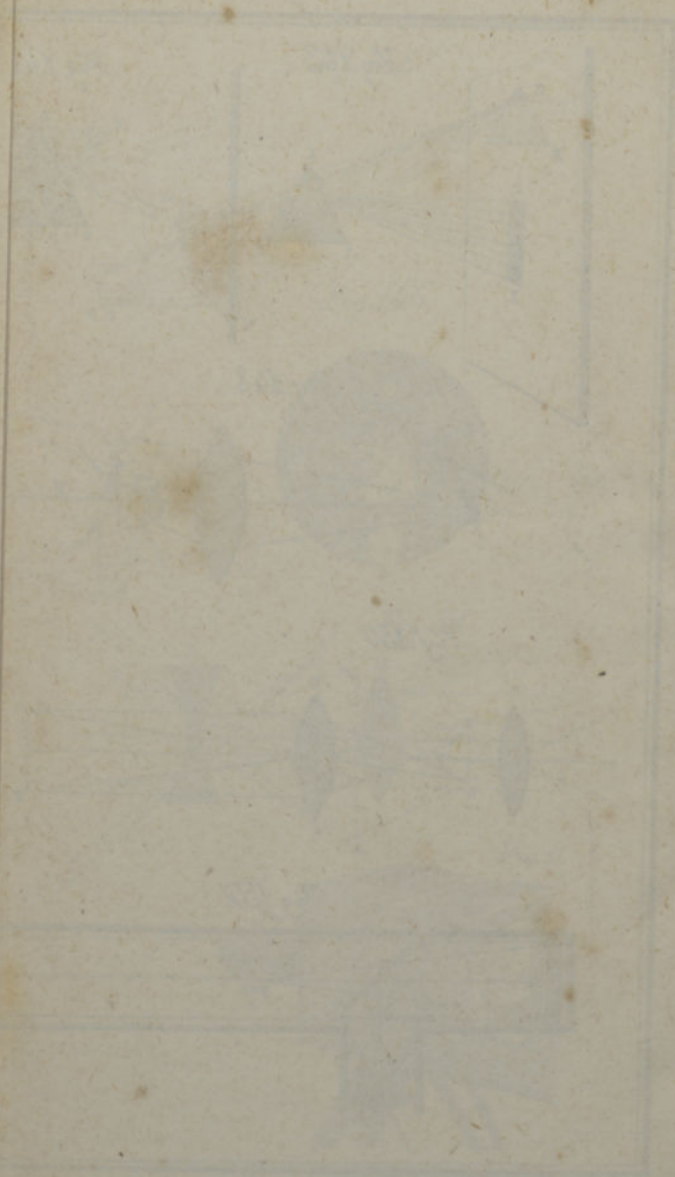




Fig. 155



Fig. 157

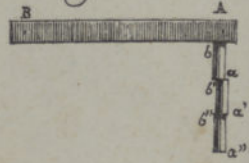


Fig. 158

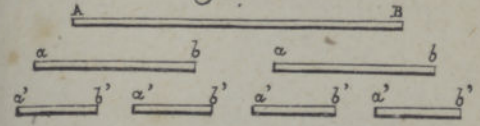


Fig. 156

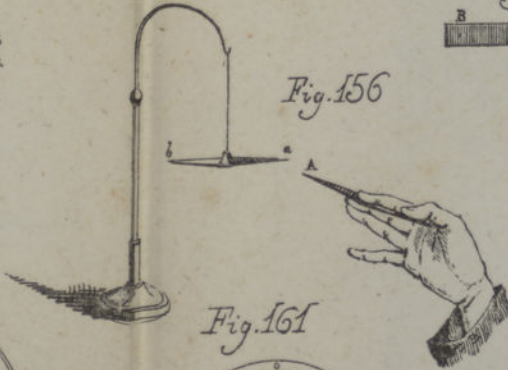


Fig. 162



Fig. 163

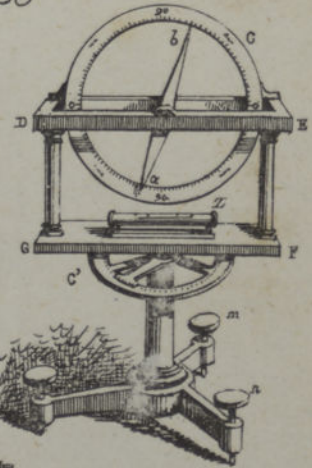


Fig. 159

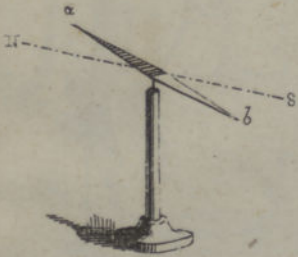


Fig. 160



Fig. 161



Fig. 165



Fig. 166

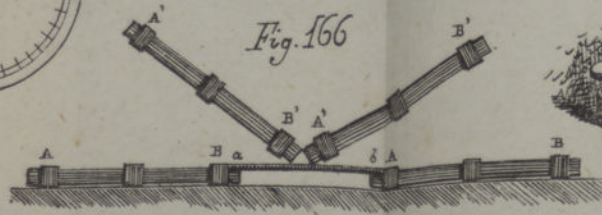


Fig. 164



Fig. 170

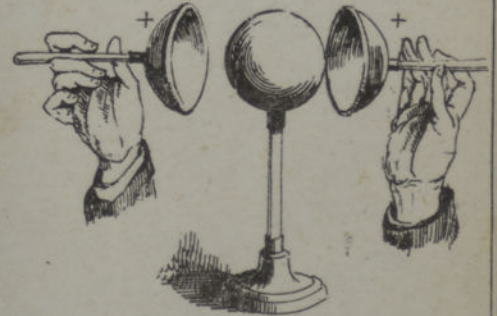


Fig. 167

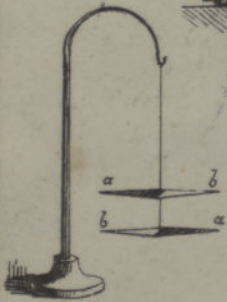


Fig. 168



Fig. 169

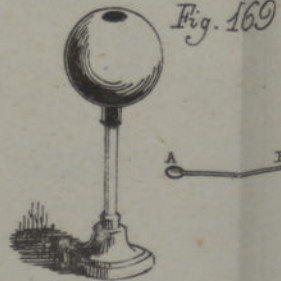






Fig. 171



Fig. 172

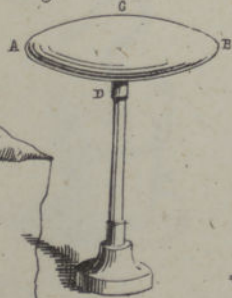


Fig. 173

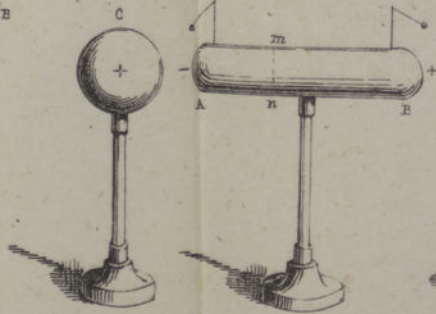


Fig. 174

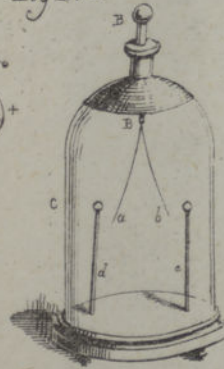


Fig. 175

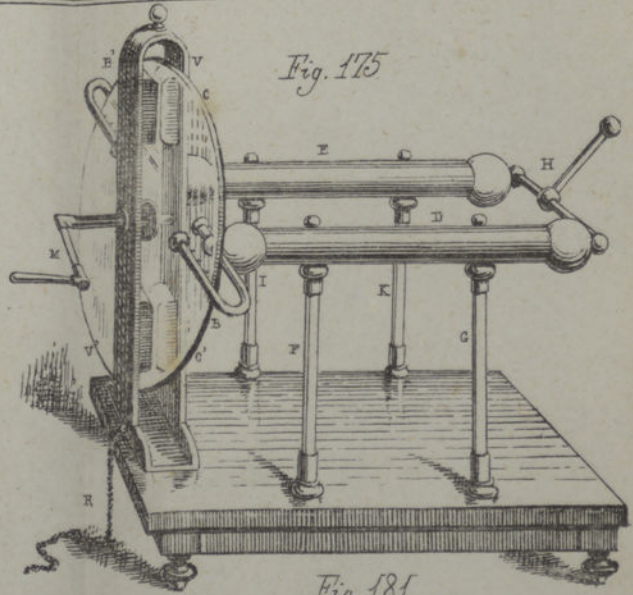


Fig. 176

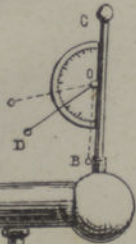


Fig. 177

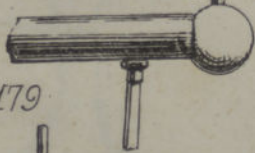


Fig. 178

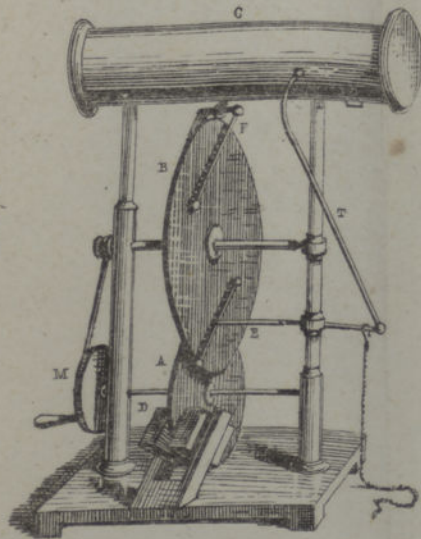


Fig. 181

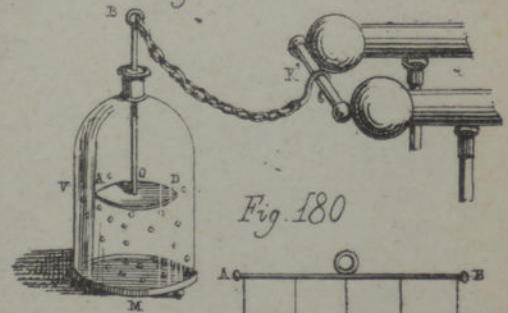


Fig. 179

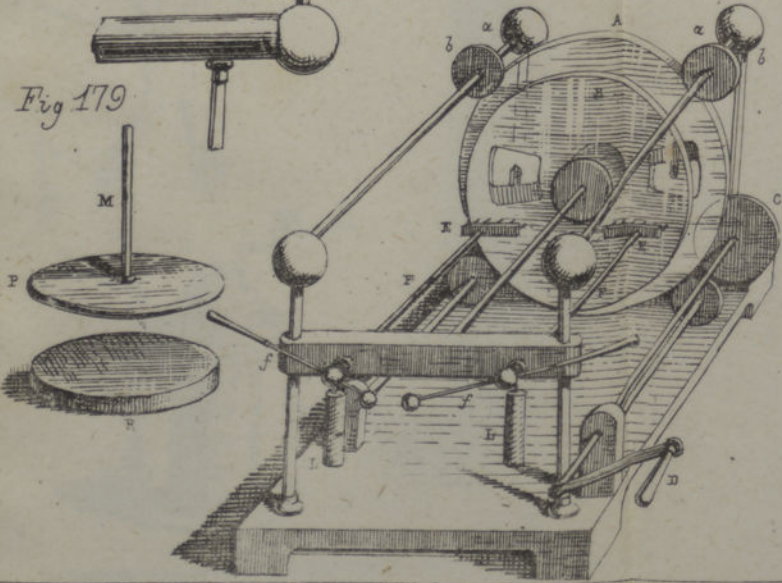


Fig. 180

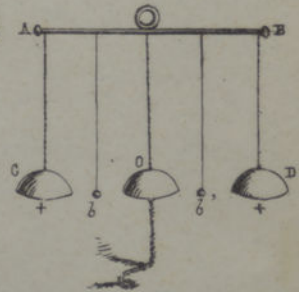






Fig. 171



Fig. 172

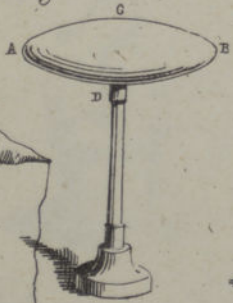


Fig. 173

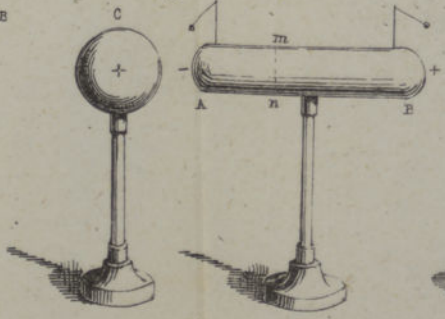


Fig. 174

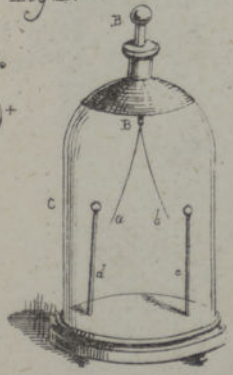


Fig. 175

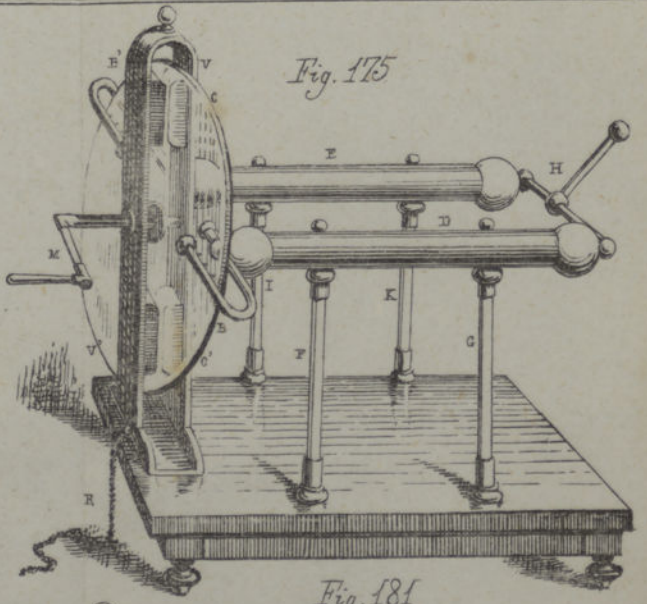


Fig. 176

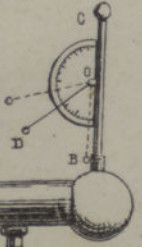


Fig. 177

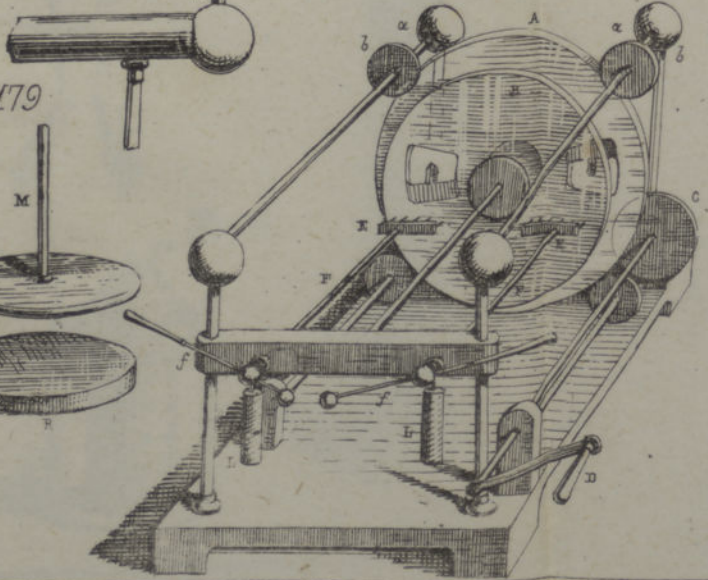


Fig. 178

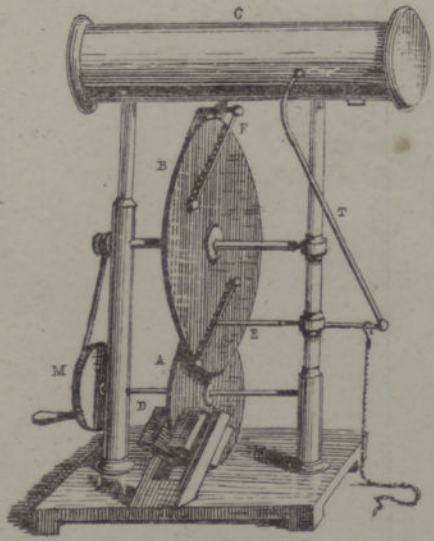


Fig. 179

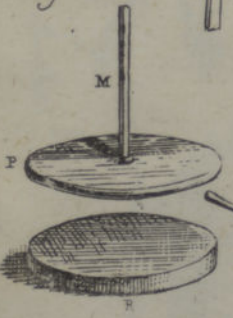


Fig. 181

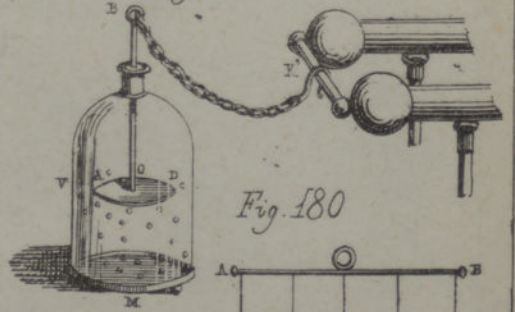
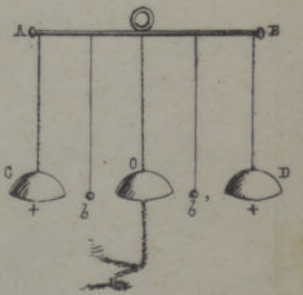


Fig. 180







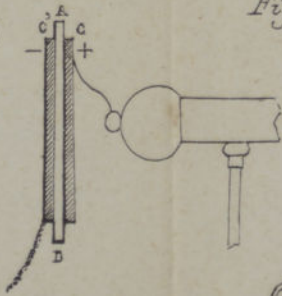
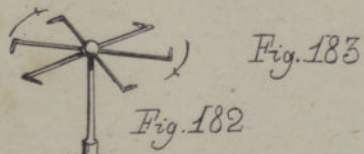


Fig. 184

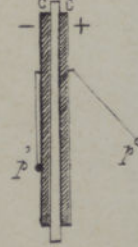


Fig. 185

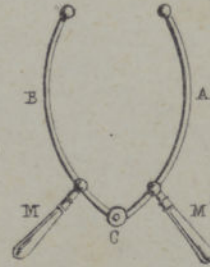


Fig. 186



Fig. 187



Fig. 193



Fig. 188

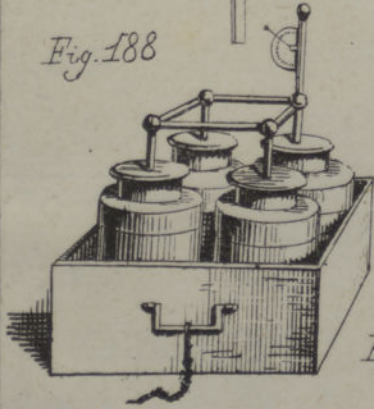


Fig. 189

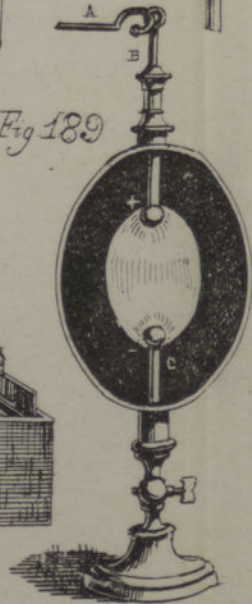


Fig. 190

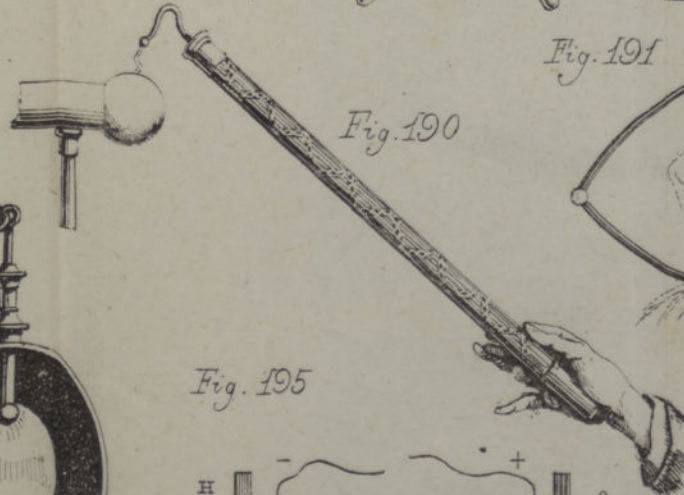


Fig. 191



Fig. 192

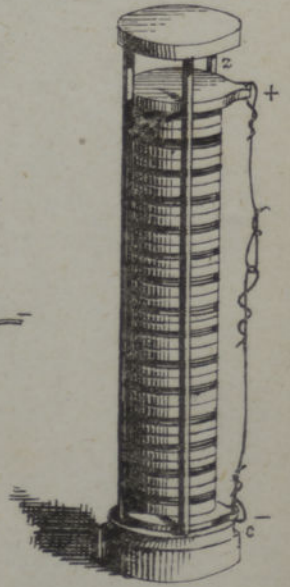


Fig. 194

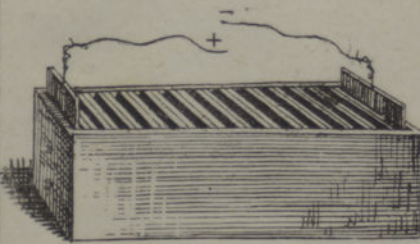


Fig. 195

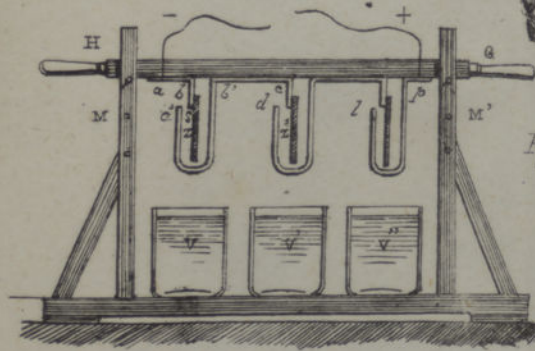
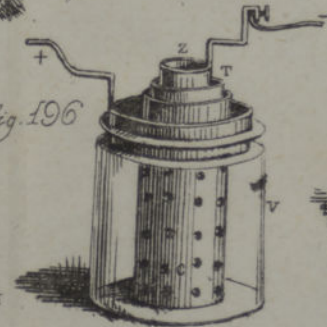


Fig. 196







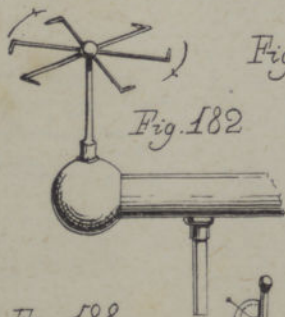


Fig. 183

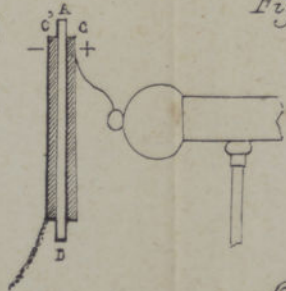


Fig. 184

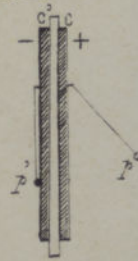


Fig. 185

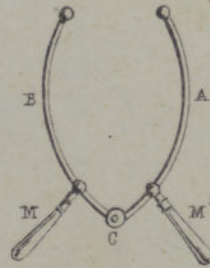


Fig. 186



Fig. 187



Fig. 193



Fig. 188

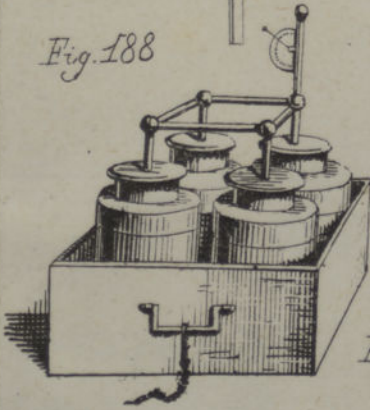


Fig. 189

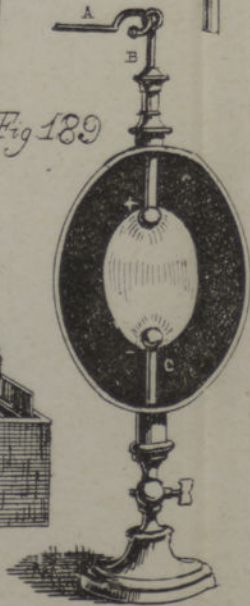


Fig. 190

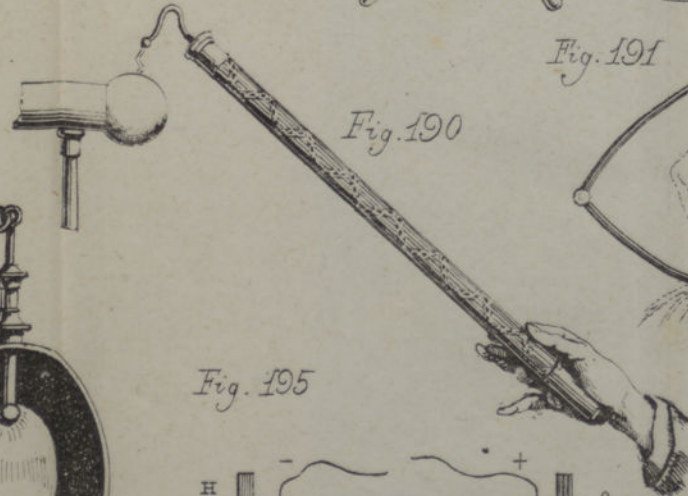


Fig. 191



Fig. 192

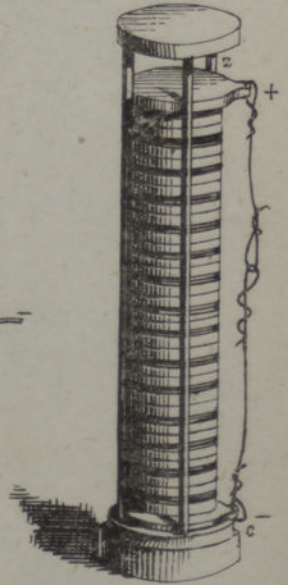


Fig. 194

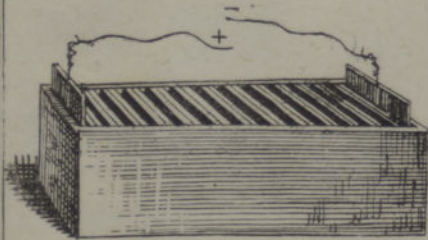


Fig. 195

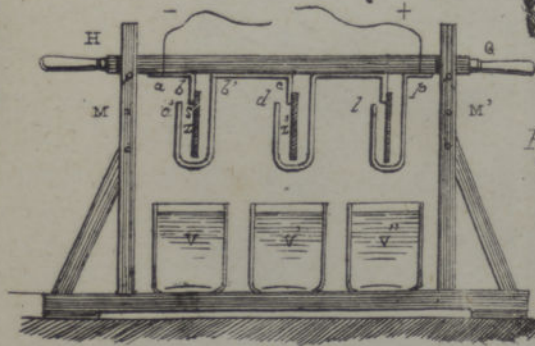


Fig. 196

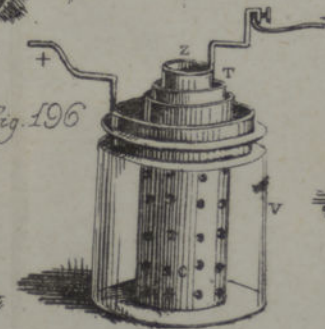






Fig. 197



Fig. 198

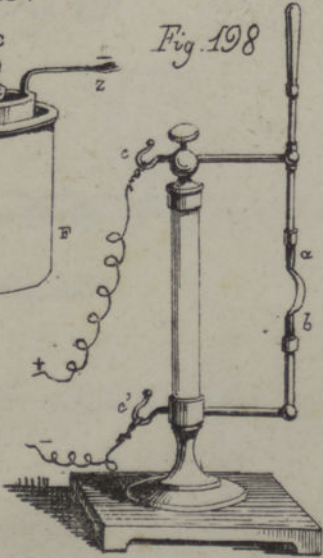


Fig. 199



Fig. 200

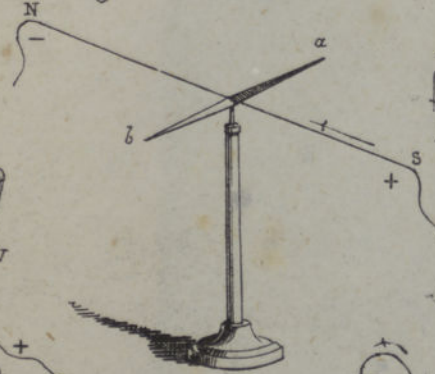


Fig. 202

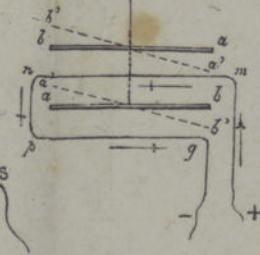


Fig. 201

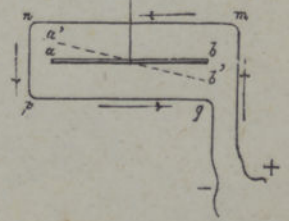


Fig. 203

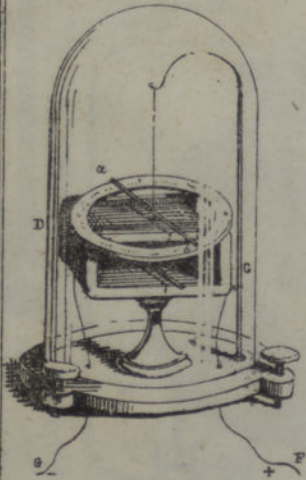


Fig. 204

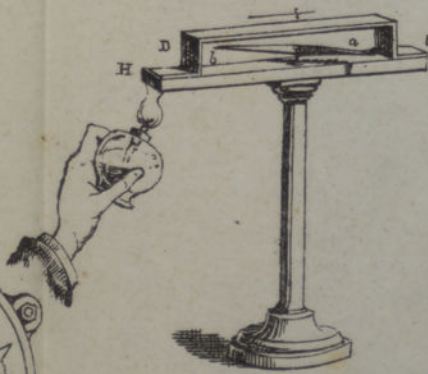


Fig. 205

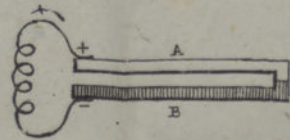


Fig. 206

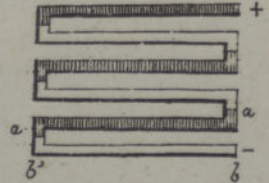


Fig. 207

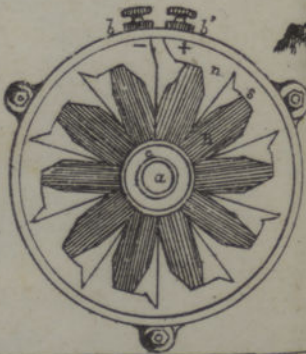


Fig. 208

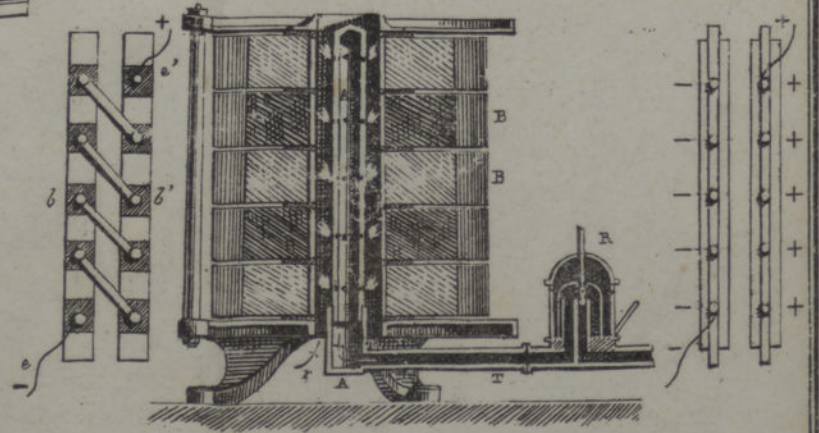






Fig. 209

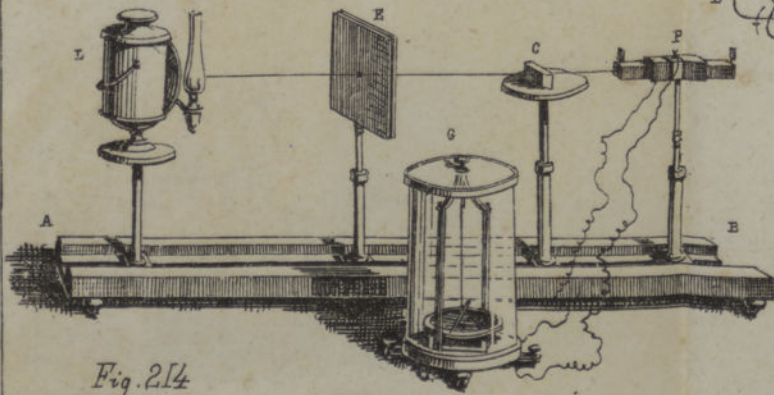


Fig. 210

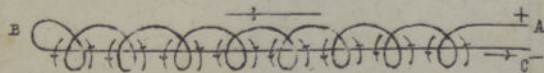


Fig. 211

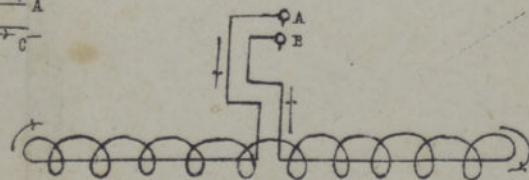


Fig. 214

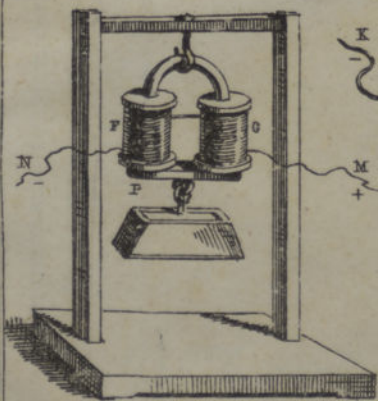


Fig. 215

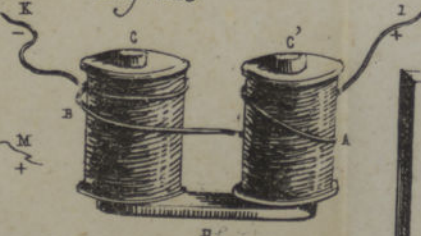


Fig. 216

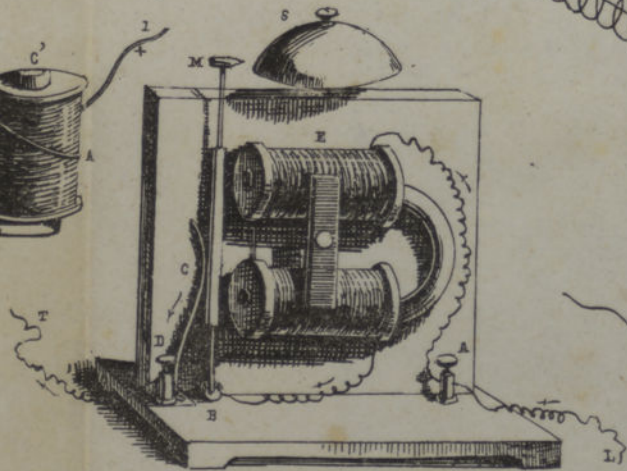


Fig. 213

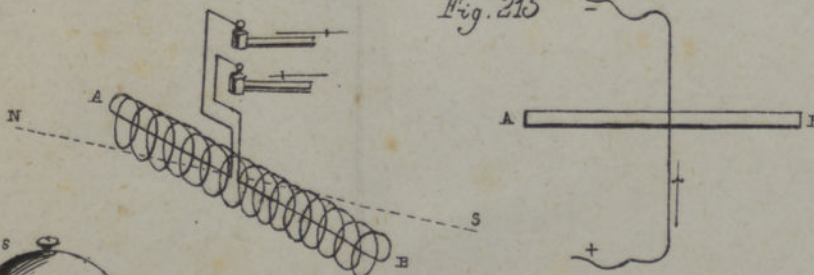


Fig. 217

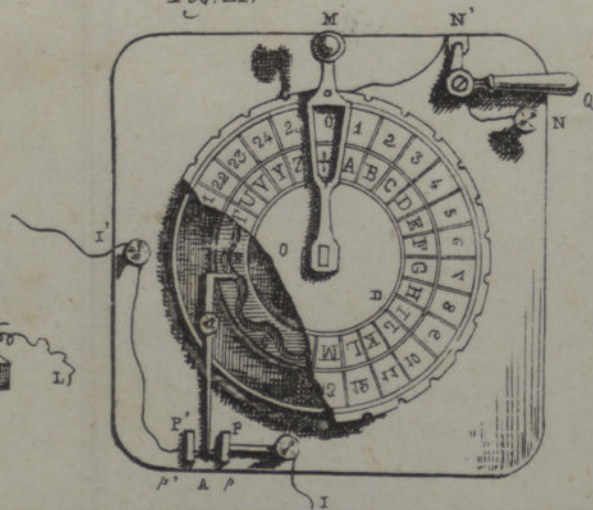
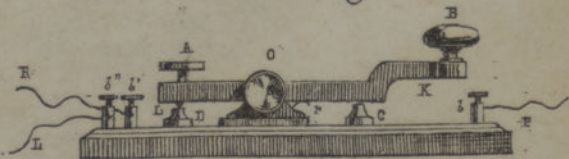


Fig. 218









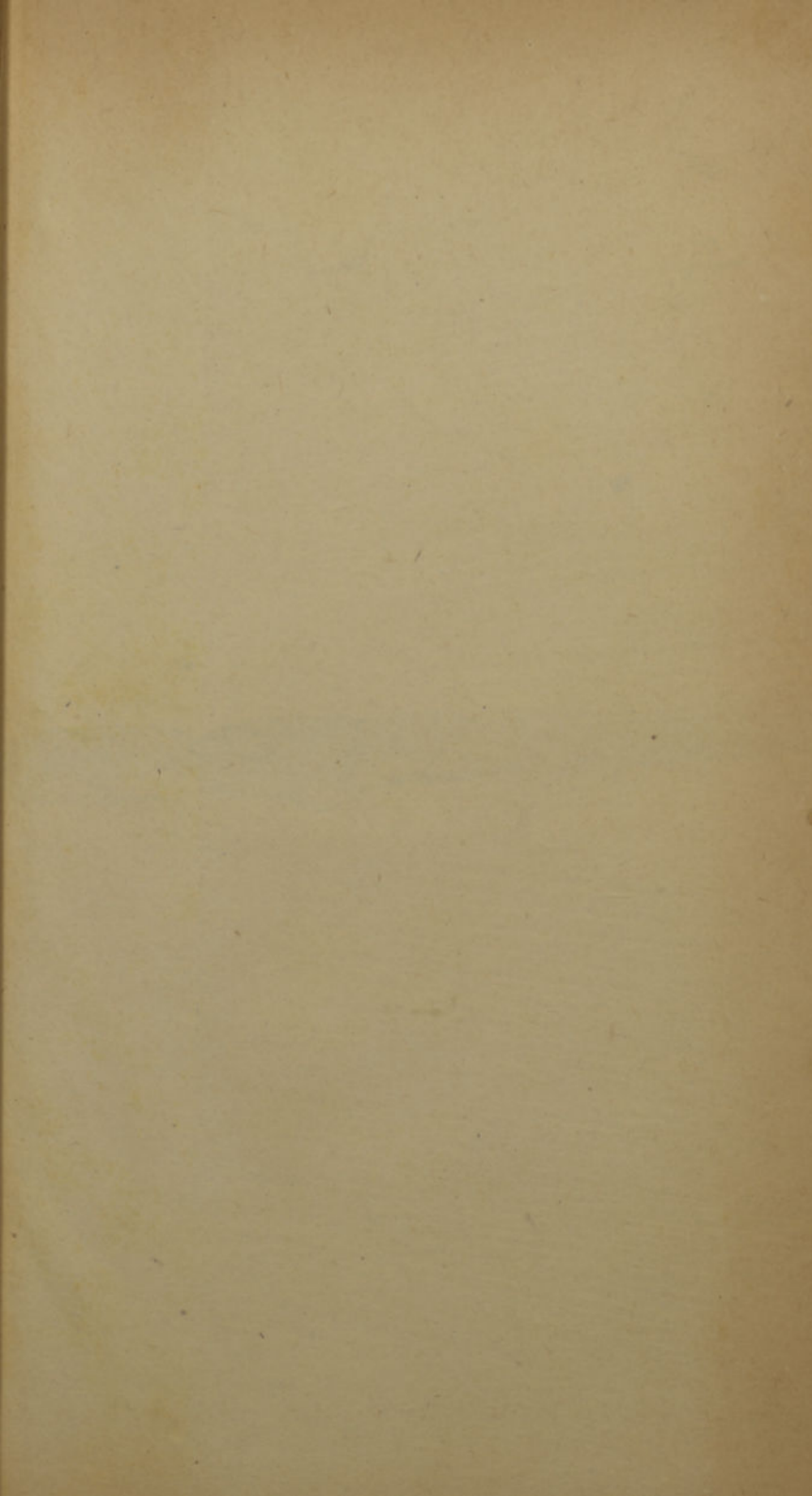
























RÓ  
MU  
LO

CENTRO CIÊNCIA VIVA  
UNIVERSIDADE COIMBRA



\*1329659992\*



