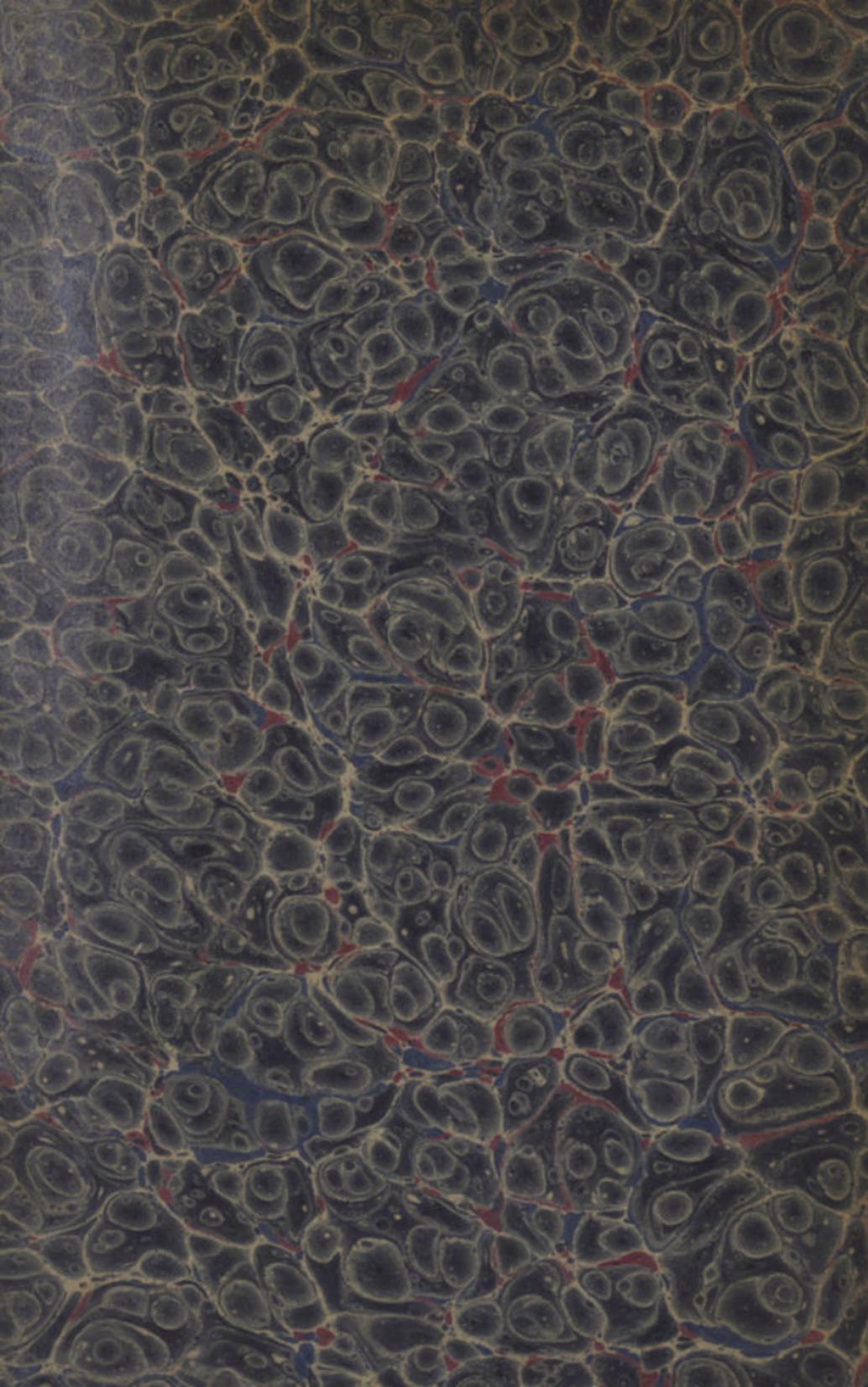




~~Sala 18
Est. 4
Tab. 6
N.º 44~~



Est. 5 Tab. 2 N.º 23-

CURSO
DE
PHYSICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA
E DA TÉCNICA

N.º 1052 - 219



COMPRA

CURSO
DE
PHYSICA

MINISTERIO DA EDUCACAO NACIONAL
MUSEU NACIONAL DA CIENCIA
E DA TECNICA

N.º 1022 - 519



COMPRA

INV: - Nº 857

CURSO

DE

PHYSICA

com suas principaes applicações
á meteorologia, ás artes
e á medicina,

COORDENADO POR

819

João Felix Pereira

MÉDICO, CIRURGIÃO, ENGENHEIRO CIVIL,
E AGRONOMO,
PELAS ESCHOLAS DE LISBOA



Centro ciência viva
ROMULO DE CARVALHO

TOMO II

RC
MKL
53
CUR

LISBOA

TYPOGRAPHIA DE JOSÉ DA COSTA NASCIMENTO CRUZ
69, RUA DO ARCO DA GRAÇA, 73
(ao hospital de S. José)

1866

N.º - 857

CLASO

DE

PHYSICA

com suas principaes applicações
à meteorologia, ás artes
e á medicina

COORDENADO POR

João Felis Pereira

MÉRICO, CIRURGIÃO, ENGENHEIRO CIVIL
E AGRÓNOMO,
FEZ AS ESCOLAS DE LISBOA



... a física explica os phenomenos da natureza
... da natureza e de industria
... a natureza e de industria

ESPOGRAPHIA DE JOSE DA COSTA NASCIMENTO CRUZ

69, RUA DO ARCO DA ERUA, 75

(no hospital de S. José)

CURSO

DE

PHYSICA

PARTE SEGUNDA

PHYSICA DOS IMPONDERAVEIS

PRELIMINAR

1. Para explicar os phenomenos do calor, da luz, da electricidade e do magnetismo, tem-se imaginado fluidos particulares, elasticos, eminentemente subtis, capazes de penetrar, com a maior facilidade, a maior parte dos corpos. Por este ultimo character, se lhes deu o nome de *fluidos incoerciveis*. Tãobem se denominarão *fluidos imponderaveis*, por não ter sido possivel, até hoje, achar-lhes peso.

Vemos, pois, que os fluidos incoerciveis differem essencialmente dos corpos até aqui estu-

dados, dos quaes são propriedades characteristicas a impenetrabilidade e o peso. Na falta d'estes characteres, pelos quaes reconhecemos ordinariamente a existencia dos corpos, é pelos diversos movimentos reconhecidos no estudo dos phenomenos, que admittimos a existencia dos fluidos incoerciveis.

2. A experiencia nos ensina; que a luz e o calor se propagaão a grandes distancias do foco, d'onde partem; que atravessão com facilidade certos corpos, refrangendo-se às vezes; que se reflectem á superficie d'outros. A experiencia nos ensina tãobem, que na electricidade e no magnetismo ha movimentos, phenomenos de accumulacão de forças num ou noutro poncto, que attestão a existencia d'um agente, o qual não podêmos ver nem apalpar.

3. Outro phenomeno importantissimo, resultado da experiencia tãobem, diz-nos; que estes movimentos são independentes de todos os corpos, de nós conhecidos; que não podem ser produzidos por elles, nem communicados por sua intervençãõ. Com effeito, os fluidos aeri-formes, que, na producçãõ e transmissãõ dos sons, offerecem alguma analogia com os phenomenos, que acabãmos de citar, não podem ser o principio nem o vehiculo d'elles. A luz, o calor, etc., propagaão-se no vacuo com a mesma facilidade, ou com mais facilidade ainda, que em qualquer fluido gazoso. Esta circumstancia faz admittir, para explicar os phenomenos, a existencia d'um ou mais agentes, differentes de todos,

que até aqui havemos estudado, agentes extremamente subtis e dotados de elasticidade.

4. Todos os physicos estão de acordo a este respeito; mas não o estão no modo de conceber os diversos phenomenos, que estes agentes apresentam. As principaes theorias ou hypotheses, que a sciencia tem acolhido, são, a das emanações e a das undulações.

5. **Theoria das undulações ou das vibrações.** Os agentes, que produzem os phenomenos luminosos, calorificos, magneticos e electricos, estão espalhados em todo o universo e em todos os corpos, onde não manifestão nenhuma propriedade, emquanto estão em repouso; mas, postos em movimento, dão logar a mui variados phenomenos.

Esta theoria, fundada por Descartes, foi adoptada e desenvolvida por Euler, e mais modernamente por Arago, Fresnel, Young. Nesta theoria, os phenomenos dos agentes imponderaveis são devidos aos movimentos vibratorios, communicados áquelles agentes universalmente espalhados; aos quaes se deu o nome de *ether*, fluido tenuissimo, cujas undulações constituem a luz, o calor, o magnetismo, a electricidade, como as undulações da atmosphaera, suscitadas pelas vibrações dos corpos sonoros, produzem o som.

Já Platão denominava *ether* (*aither*) certo fluido subtil, que se movia em torno da terra (*theein* correr, *erá* terra). Descartes, no seculo decimo sexto, fundou a presente theoria, ho-

je admittida geralmente, ao mesmo tempo que sua viva phantasia imaginava *turbilhões* de vapor ethereo, para fazer gyrar os astros na immensidade do espaço.

Se bem que não se tenha podido reconhecer o peso do ether, é provavel, que seja pesado, isto é, que obedeça á attracção da materia; porque as modificações, que um raio de luz experimenta, ao atravessar um crystal transparente de desigual elasticidade, mostram, que o ether, accumulado á roda de suas moleculas, possui densidades diferentes nas diferentes partes d'este crystal; o que se attribue á attracção variavel dos grupos moleculares.

Em lugar d'um só fluido, alguns philosophos tem admittido tantos fluidos, quantas são as especies de phenomenos, que pretendião explicar. Estes fluidos estarião constantemente misturados uns com os outros, e os phenomenos observados dependerião d'aquelle fluido, a que o movimento se communicasse. Um d'elles, uma vez posto em movimento por qualquer causa, poderia transmittir aos outros o seu movimento; e assim se concebe, porque os phenomenos luminosos, calorificos, magneticos e electricos, muitas vezes se complicão uns com os outros. Estas novas supposições são completamente inuteis.

A theoria das undulações é a que os physicos hoje adoptão, geralmente, por sua grande simplicidade, e pela facilidade, com que por ella se explica a maior parte dos phenomenos.

6. Theoria das emanações ou theoria corpuscular. Admittindo muitos fluidos em vez d'um só, podêmos reputal-os dotados immediatamente de muitas propriedades, que na theoria das undulações se attribuião aos seus movimentos. Podêmos consideral-os como luminosos, quentes, etc., por si mesmos, e julgar os diversos phenomenos mechanicos, em que figurão, não como produzidos por undulações analogas ás ondas sonoras, mas por *emanações* reaes de particulas, emergindo d'uma origem. Estas particulas, lançadas no espaço com certa velocidade, reflectem-se na superficie de certos corpos, penetrão em outros, atravessão alguns, refrangendo-se, etc.

7. Polaridade. As forças, que se desenvolvem no ether, para produzirem os phenomenos da luz, do calor, do magnetismo e da electricidade, possuem uma propriedade notavel, chamada *polaridade*, a qual se pronuncia muito bem nos phenomenos magneticos e electricos. A polaridade consiste na tendencia, manifestada por duas forças contrarias, chamadas *polares*, para unir-se, e nos esforços de cada força polar, para excitar nos outros corpos a que lhe é opposta; d'onde nasce, repellirem-se mutuamente as forças polares similhantes. Quando estas forças oppostas se combinão, destruindo-se mutuamente, cessão todas as suas manifestações externas, e diz-se, que as forças estão *neutralizadas*. A energia polar desenvolve-se, quando as forças polares são excitadas por causas

externas, e continúa, até que a perfeita neutralização se restabeleça. Estando as forças neste estado de actividade, diz-se, que o corpo está *polarizado*; e os pontos, em que a energia é mais pronunciada, chamão-se *polos*. Os signaes $+$ e $-$, que nas mathematicas representam valores oppostos, tem sido adoptados como symbolos d'estas forças; d'onde vem poder exprimir-se assim a lei da polaridade: *polaridade $+$ e $-$ representa attracção; polaridade $+$ e $+$, ou $-$ e $-$ representa repulsão; polaridade $+$ e $-$, com equal valor absoluto, dá zero, isto é, neutralização, equilibrio.*

8. O progresso rapido, que esta parte da physica tem feito nos ultimos tempos, as analogias, que entre si offerecem a luz e o calor, o magnetismo e a electricidade, levão a concluir, que provavelmente os phenomenos d'estas quatro forças ethereas não são mais do que modificações d'um principio mais elevado, cuja natureza se esconde em grande obscuridade; principio, que, talvez, faça um papel importante nas obscuras operações d'aquella vitalidade, que anima todos os entes organizados.

SECÇÃO PRIMEIRA

OPTICA

CAPITULO I

HISTORIA DA OPTICA

§ I

ATÉ AO MEADO DO SEculo DECIMO SEXTO

9. Optica (*optesthai ver*), na sua acceção mais lata, é a sciencia da luz. As primeiras noções theoricas d'esta sciencia remontão-se á eschola de Platão, quatro seculos antes de Christo. Estas noções limitavão-se á propagação da luz em linha recta, e á propriedade, que ella tem, de se reflectir com um angulo de incidencia igual ao de reflexão. Havia, porém, já muito tempo, que se construião espelhos de metal, e no tempo de Socrates era commum o emprego dos espelhos ustorios. Aristophanes allude a estes espelhos em uma de suas comedias.

10. Pensa-se, que foi Empedocles, philosopho siciliano, quem primeiro escreveu systema-

ticamente a respeito da luz; mas a obra mais antiga, que se conhece, attribue-se a Euclides.

11. De Euclides a Ptolemeo, a optica fez progressos sensiveis. O auctor da *Grande Syntaxe* escreveu um extenso tractado sobre esta sciencia, no qual não só descreve o phenomeno da refração, mas tãobem determina, d'um modo sufficientemente exacto, a relação do angulo de incidencia com o de refração.

12. Alhazen, astrónomo arabe do seculo onze, escreveu um tractado de optica, em que se encontra o primeiro ensaio sobre a theoria da luz reflexa e refracta. O mesmo auctor fala das refrações astronomicas, e vê na refração dos raios solares a verdadeira causa dos crepusculos.

No seculo decimo terceiro, Vitellion e R. Bacon escreverão sobre optica, mas não fizeram mais do que pôr em melhor ordem as materias tractadas por Alhazen.

§ II

DESDE O MEADO DO SEculo DECIMO SEXTO
ATÉ NEWTON

13. Foi pelo meado do seculo decimo sexto, que a optica principiou a ser uma verdadeira sciencia. Maurolico abriu nova carreira ao estudo da luz, com a publicação da sua obra, intitulada *Photismi de lumine et umbra*: e se nem sempre achou a verdade, ao menos apresentou indicações, que poupárão falsas tentativas a seos

successores. Maurolico resolveu a questão, proposta por Aristoteles, sobre o motivo, por que a imagem do sol, vista através de qualquer orificio, é, em pequena distancia, semelhante a este orificio, e, a grande distancia, sempre se faz circular, phenomeno, sobre que tanto havião desvairado os antigos e o mesmo Aristoteles.

14. João Baptista Porta, sabio napolitano, contemporaneo de Maurolico, inventou a *camara escura*, e preparou assim a descoberta da theoria da visão; mas foi Kepler, alguns annos depois, quem, aproveitando-se das bases estabelecidas por Porta, completou esta theoria.

15. Em 1637, Descartes deu á sciencia uma face nova, estabelecendo, entre outras muitas verdades, a lei fundamental da dioptrica.

A obra de Descartes attrahiu para a optica a attenção de muitos sabios, e todos os ramos d'esta sciencia se desenvolvêrão então. Em 1663, Gregory introduziu consideraveis melhoramentos nos instrumentos de optica: em 1667, as *Lições de Optica* de Barrow, e, em 1678, o *Tractado da Luz* de Huygens, contribuirão ainda mais para ampliar o campo d'esta sciencia, que finalmente se podia reputar de todo explorado, quando, em 1706, a *Opticks* de Newton veio provar, que não se tinham ainda percorrido senão seus contornos.

§ III

DESDE NEWTON ATÉ AOS NOSSOS DIAS

16. Foi Newton, quem penetrou e revelou o grande segredo da decomposição da luz; e d'est'arte veio completar muitas theorias e dar a razão de grande numero de phenomenos, até então inexplicaveis. O livro de optica de Newton fez epocha nesta sciencia, como o seo livro dos *Principios* a fizera em astronomia physica, havia dezanove annos.

17. Durante quasi meio seculo, geometras eximios, caminhando sobre os vestigios de Newton, desenvolvêrão e submettêrão ao calculo as leis da refração e da reflexão da luz, não ouzando ninguém contestar os principios estabelecidos por aquelle grande genio; mas em 1747, Euler, buscando a lei da dispersão das côres, chegou a resultados differentes dos que Newton havia obtido. A discussão, então suscitada entre Euler e Dollond, trouxe cõsigo a invenção das lunetas achromaticas e uma das obras mais interessantes de Euler, a sua *Dioptrica*.

18. No ultimo meio seculo, a sciencia se locupletou com grande numero de bellas experiencias sobre as propriedades da luz, e com a descoberta d'uma nova propriedade, a da *polarização*, feita por Malus, em 1810. Muitos physicos eminentes, Arago, Biot, Brewster, Faraday, Fresnel, Herschel, fecundárão a desco-

berta de Malus. E nos ultimos annos, os trabalhos de Fizeau e Foucault sobre a velocidade da luz, o aperfeiçoamento dos instrumentos de optica, as investigações sobre a optica celeste, as indagações de Senarmont sobre as substancias birefragentes e isomorphas, as de Pasteur sobre as propriedades dos acidos e saes organicos, e as de Jamin sobre as propriedades, que tomão os raios polarizados, reflectindo-se sobre os meios diaphanos, tem dado grande incremento ao estudo da optica.

CAPITULO II

IMPORTANCIA DO ESTUDO DA OPTICA

19. Em parte nenhuma, como na optica, a physica offerece objecto mais digno do nosso estudo, já pela belleza, já pelo numero dos phenomenos. Os serviços, que nos presta o fluido, que allumia o mundo, serião, só por si, capazes de excitar toda a nossa attenção, para conhecer bem suas propriedades. Se o ar, servindo de vehiculo á palavra, nos põe em communicação de pensamentos com os nossos semelhantes, a luz, pondo em nossa presença a imagem d'estes, torna mais importante e mais grato este commercio. Mais susceptivel de impressões variadas do que os outros sentidos, o olho, com o auxilio da luz, conhece a figura dos corpos, suas côres, as relações de suas posições, os movimentos, que os transportão no espaço.

Se a visão não fosse senão directa, aquella mesma parte, em que o sentido da vista tem sua séde, a que nos caracteriza e nos faz conhecer pelos outros, permaneceria incognita para nós mesmos. A luz supprime este inconveniente, offerecendo-nos fielmente a nossa imagem por detrás das superficies reflectidoras, cuja acção reproduz tudo, que diante d'ellas se apresenta.

20. Não se limitão a estes os serviços, que nos prestão as propriedades da luz. Para lá dos globos, que brillão sobre nossas cabeças, ha outros, que se furtão á nossa vista por causa de sua enorme distancia, emquanto, perto de nós, milhões de seres organicos escapão tãobem aos nossos olhos por causa de sua extrema pequenez. A luz, por certas propriedades, de que é dotada, nos põe em circumstancias de conhecer estas duas especies de infinitos; abriu novo ceo á astronomia, novo campo á historia natural.

21. Na theoria da luz, ha a vantagem de tudo estar sujeito á geometria, de sorte que, partindo de pequeno numero de leis, chegámos a determinar os resultados por methodos rigorosos. É cousa sabida, que o celebre Saunderson, postoque cego desde a infancia, professava publicamente a sciencia da luz: considerava os raios luminosos, como simples linhas materiaes, que obravão por contacto sobre o olho: vendo estas linhas pelo pensamento, fazia conceber aos seus ouvintes, como os olhos d'elles vião os objectos, de que as mesmas linhas lhes levavão a impressão.

CAPITULO III

HYPOTHESES ÁCERCA DA LUZ E SUA APRECIACÃO

§ I

DUA8 HYPOTHESES

22. Effeituando-se sempre as sensações, proprias dos órgãos da vista, sem contacto entre este órgão e o objecto, que se vê, era natural admittir, por analogia com os outros sentidos; ou que, nas partes constituintes dos corpos luminosos; ha movimentos particulares, que se propagaõ aos nervos opticos por undulações em um fluido intermedio; ou que os corpos luminosos lançaõ em roda de si particulas tenuissimas, e que seo choque sobre os órgãos da vista produz a visão dos corpos luminosos. Estas duas hypothèses, são as bases de dous systemas diferentes, imaginados, um por Descartes, outro por Newton.

23. A hypothese de Descartes foi desenvolvida e aprofundada em suas consequencias mathematicas por Huygens e Euler. Grimaldi e Hooke fizeram sentir a importancia d'ella, para explicar os phenomenos da diffracção; e nos ultimos tempos a adoptarão e ampliãrão muitos philosophos eminentes, como Young, Fresnel, Frauenhofer, Herschel.

Esta hypothese recebeu o nome de *theoria* ou *systema das undulações* ou *das vibrações*.

24. A hypothese de Newton foi desenvolvida por Laplace; mas ninguem a estudou com mais individuação e seguiu mais longe em suas consequencias mathematicas do que Biot, não só no tocante aos phenomenos já conhecidos no tempo de Newton, mas tãobem no que respeita aos que forão descobertos depois.

A hypothese de Newton tem o nome de *theoria* ou *systema corpuscular* e tãobem o de *theoria* ou *systema das emanações* ou *das emissões*.

§ II

THEORIA DAS UNDULAÇÕES

25. Admitte-se no systema das undulações, que o espaço e os intervallos das moleculas dos corpos estão cheios d'um fluido imponderavel muito elastico, designado pelo nome de ether. No vacuo e em um mesmo corpo homogeneo, a densidade e a elasticidade do ether são as mesmas em todos os ponctos; porém mudão com a natureza do corpo, e nos corpos crystallizados a elasticidade do ether não é a mesma em todas as direcções.

26. Os corpos luminosos produzem a luz, como os corpos sonoros produzem o som, e o ether propaga as ondas luminosas, como o ar propaga as ondas sonoras.

27. Sendo isochronas as vibrações moleculares dos corpos luminosos, tudo, que dissemos das ondas sonoras, se applica ás ondas luminosas. Assim, cada onda luminosa se compõe de duas meias ondas eguaes, em que os movimentos do ether tem signaes contrarios: o comprimento d'uma onda é igual á velocidade de propagação do movimento no ether, tomando para unidade de tempo a duração d'uma vibração do corpo luminoso: as ondas podem ter intensidades e comprimentos differentes: a intensidade é proporcional á amplitude das oscillações ou á velocidade dos movimentos do ether.

28 a 30. Ha, porém, uma differença essencial entre a natureza das ondas sonoras e a das ondas luminosas. Nas primeiras os movimentos tem logar mesmo na direcção da propagação, isto é, perpendicularmente á superficie das ondas; emquanto nas ultimas o movimento se effeitua perpendicularmente á propagação, isto é, parallelamente á superficie das ondas, como se deduz das experiencias de Fresnel e de Arago.

31. Quando a superficie d'uma onda luminosa encontra a superficie de separação de dous meios, o movimento vibratorio d'aquella superficie communica-se ás moleculas da superficie de separação, e cada uma d'estas moleculas, actuando depois sobre o ether, se torna centro de vibrações, d'onde nascem dous systemas de ondas, umas, que se propagaõ no primeiro meio, outras no segundo, com velocidades, que dependem da velocidade, que o ether possui ali.

Este principio demonstra-se mathematicamente; mas o phenomeno do som fornece-nos uma applicação sensivel d'elle. Se perto d'uma corda ou d'uma membrana tensas produzimos ondas sonoras, esta corda ou membrana entrão em vibrações, e, obrando depois sobre o ar ambiente, gerão novas ondas, cuja existencia se reconhece pelo timbre particular do som, que produzem.

§ III

THEORIA DAS EMANAÇÕES

32. Nesta theoria admite-se, que os corpos luminosos lanção, em todas as direcções, moleculas de extrema tenuidade, as quaes vão, por sua acção sobre o olho, produzir a sensação da vista, analogamente como as particulas, emanadas das substancias odoríferas, excitão a sensação do cheiro. Um raio de luz compõe-se d'uma serie de moleculas, que se movem com igual velocidade na mesma direcção, e a velocidade de cada molecula é igual á velocidade real da luz. Estas moleculas devem ser de excessiva tenuidade, para que o choque, apezar de sua enorme velocidade, não fira o orgão tão delicado da vista.

33. Neste systema, sendo um raio luminoso formado d'uma serie de moleculas, que se movem em linha recta com a mesma velocidade, estas moleculas devem estar assaz proximas,

para que a retina se conserve num estado de excitação permanente. Ora, podêmos facilmente reconhecer pela experiencia, que, para obter uma sensação contínua, basta, que a causa excitadora se renove de oito a dez vezes por segundo. Concebe-se, pois, que, para produzir um effeito permanente, as moleculas luminosas, que constituem o mesmo raio, podem ser muito afastadas umas das outras, e sel-o desegualmente; porque basta, que ellas se succedão com intervallos menores que $\frac{1}{10}$ de segundo. Ora, como a luz percorre 30.000 myriametros por segundo, a continuidade da sensação exigiria, que sua distancia não excedesse 3.000 myriametros. Vê-se, pois, como os raios de luz podem cruzar-se em todas as direcções, sem se perturbarem na sua marcha.

§ IV

APRECIÇÃO GERAL DAS DUAS THEORIAS

34. Todos os phenomenos opticos, estudados até ao tempo de Newton, se explicão satisfactoriamente tanto numa como noutra theoria, e a grande auctoridade do philosopho inglez fez prevalecer a theoria das emanções: mas, posteriormente, se descobrirão novos factos, que esta theoria não podia explicar, sem admittir mil hypotheses addicionaes e contradictorias; e a theoria de Descartes reviveu. A

theoria das ondas luminosas explica d'um modo completo a totalidade dos factos conhecidos; estabelece um laço natural entre phenomenos aparentemente dessimilhantes; em summa, esta theoria, como para fornecer uma prova irrecusavel de sua realidade, precedeu a physica experimental, indicando-lhe muitos factos, que se não tinham suspeitado, e que vierão a verificar-se completamente. A theoria das ondas luminosas é, pois, um dos mais bellos monumentos scientificos, devido, principalmente ao genio de Cauchy e de Fresnel.

CAPITULO IV

CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS EM RELAÇÃO Á LUZ

§ I

CORPOS E PONCTOS LUMINOSOS. CORPOS NÃO LUMINOSOS

35. No tocante á producção da luz, os corpos dividem-se em *luminosos* e *não luminosos*.

36. **Corpos luminosos.** Dá-se este nome a todos os corpos, d'onde a luz se origina, e que, por isso, são visiveis por si mesmos. O corpo maior, permanentemente luminoso, é o Sol: as estrellas fixas são consideradas pelos astrónomos, como outros tantos soes, menos brilhantes, porém, por estarem muito mais longe. Os corpos em combustão, cuja efficacia é

transitoria, são, comtudo, importantes origens de luz.

37. Ponctos luminosos. Os corpos luminosos são essencialmente compostos de materia ponderavel; podem, pois, ser divididos em fragmentos ponderaveis cada vez menores, e os ultimos fragmentos, que podêmos physicamente conceber, são o que chamâmos *ponctos luminosos*. Assim, do mesmo modo que um corpo ordinario é uma reunião de moleculas ou de atomos, um corpo luminoso é uma reunião de ponctos luminosos.

38. Corpos não luminosos. Dá-se este nome a todos os corpos, que não se tornão visiveis senão quando a luz, que vem dos corpos luminosos, cae sobre elles. Os planetas e seos satellites brilhão aos nossos olhos, porque recebem a luz do Sol.

39. Segundo a theoria das undulações, as ondas ethereas, encontrando as superficies dos corpos não luminosos, recuão, exactamente como as ondas sonoras se repercutem, e formão o echo: segundo a theoria corpuscular, os corpos não luminosos fazem-se visiveis, em consequencia da propriedade, que tem, de reflectirem as particulas de luz, que sobre elles caem.

§ II

ORIGENS OU FONTES DE LUZ

40. 1.^a *Luz celeste*, fornecida pelos astros, que tem luz propria.

2.^a *Luz chymica*, fornecida pela combustão. As luzes artificiaes, com que nos allumiâmos, empregando oleos, gases, etc., são exemplos, bem conhecidos, de effeitos luminosos de acções chymicas.

3.^a *Augmento de temperatura*. Os corpos podem, pelo augmento do seo estado calorifico, fazer-se luminosos. Ao principio, apresentam um estado de calor, *escuro*, para assim dizer, passam depois ao estado de calor, *rubro* ou *vermelho*, *rubro-cereja*, *branco*, e finalmente, branco vivo e resplandecente, que deslumbra. Em geral, os corpos fazem-se luminosos, quando a temperatura se eleva a 500 graus centrigados.

4.^a *Luz electrica*, dada pelo desenvolvimento da electricidade em certas circumstancias.

5.^a *Luz friccional ou anatripsica* (*anatribein*, esfregar). Quasi todos os corpos, sendo esfregados ou batidos, quer no vacuo, quer no meio de gases incombustiveis, quer mesmo, segundo Heinrich, debaixo de agua e de azeite, produzem luz. Phenomenos semelhantes se desenvolvem na fractura d'alguns corpos, especialmente crystaes, na rapida condensação e expansão

dos gases e na rapida e violenta compressão dos liquidos.

6.^a *Luz phosphorescente ou phosphorica* é a que muitos corpos ministrão em baixa temperatura, e é acompanhada d'alguma alteração essencial em suas propriedades: é tão escassa, que apenas se pode divisar, não sendo na obscuridade. Deu-se-lhe aquelle nome pela grande analogia, que tem com a que produz a combustão lenta do phosphoro. Ha quatro especies de luz phosphorescente, que são, *phosphorescencia por insolação, phosphorescencia dos corpos organicos em estado de decomposição, phosphorescencia dos corpos organicos durante a vida e phosphorescencia vegetal.*

Phosphorescencia por insolação é uma propriedade, pela qual muitos corpos, depois de longa exposição aos raios solares, se fazem luminosos na obscuridade. Wall foi quem primeiro descobriu esta propriedade no diamante, propriedade, que se encontrou depois em outros muitos mineraes, particularmente em certas variedades de spatho fluor. Ha tãobem differentes composições chymicas, como a pedra de Bolo-nha, que retém durante muitas horas a propriedade luminosa, adquirida pela insolação. O phosphoro, mesmo immerso em agua, conserva esta propriedade. A causa d'esta phosphorescencia não é bem conhecida.

Phosphorescencia dos corpos organicos em estado de decomposição. Muitos corpos organizados, como troncos de arvores, musculos de pei-

xes, quando putrefeitos, apresentam-se luminosos; o que parece devido a um baixo grau de combustão: porquanto, rarefazendo-se o ar, a luz decresce.

Phosphorescencia dos corpos organicos durante a vida. Todos conhecem o *pyrilampo*, também chamado *vagalume* e *lumieira*, que volteia nos campos, e que é a femea d'um insecto coleoptero. Os viajantes dão aos vagalumes dos paizes intertropicaes o nome de *lustres dos campos*. Outros muitos insectos fazem, como estes, durante a noite, brilhar a atmospheria com sua luz. Multidões de animalculos microscopicos, que vivem nas aguas do mar, fulgurão na escuridão, quando as aguas se agitam. O que os homens do mar chamão *ardentia*, é o clarão, produzido nas aguas por zoophytons phosphorescentes, que, quando se apresentam em grande multidão, chegam a dar ao mar, em algumas localidades, o aspecto d'um lago de fogo. O navegante não pode preservar-se d'uma viva emoção, quando, no seio da bonança e da escuridão, se vê rodeado de ondas de lume.

Phosphorescencia vegetal. O reino vegetal também offerece exemplos de phosphorescencia. E' notavel o que se observa de noite nas *flores das chagas*; phenomeno descoberto pela filha do egregio naturalista Linneo. E' muito brilhante a luz phosphorica do lirio amarello, a qual apparece um pouco depois do occaso do Sol, quando em julho e agosto a atmospheria se aquece bastante.

§ III

CORPOS TRANSPARENTES E OPACOS

49. Os corpos, considerados em relação à sua capacidade para transmittirem a luz através da sua substancia, podem dividir-se em *transparentes* e *opacos*.

50. **Corpos transparentes.** Corpos *transparentes* ou *diaphanos* são os que dão livre passagem à luz através da materia, de que são formados; por outros termos, são os corpos, através dos quaes podêmos ver os outros corpos mais ou menos distinctamente: taes são o ar, a agua, o vidro.

Perfeita transferencia não existe: o corpo, que a tivesse, deixaria passar toda a luz, que sobre elle caisse; não reflectiria, pois, nenhuma, e seria, portanto, invisivel. Quanto maior é a quantidade de luz, que um corpo transmite, e quanto menor é a que elle reflecte, mais se aproxima da transparencia ou diaphaneidade perfeita.

Experiencia. Faça-se entrar um raio de luz, em uma casa escura, de maneira que incida sobre a agua contida num vaso de vidro de paredes parallelas. O raio passa através da agua; mas na superficie d'esta se reflecte evidentemente uma porção da luz. O mesmo se observa, fazendo cair a luz sobre uma lamina de vidro espessa.

51. **Corpos translucidos.** Entre a

transparencia perfeita e a opacidade absoluta, ha muitos graus, os quaes não tem nomes distinctos. Comtudo, applica-se o nome de *translucidos* aos corpos, que occupão uma posição media entre estes dous extremos. Os corpos translucidos dão passagem a tão pouca luz, que não podêmos ver os objectos através d'elles, ou, se os vemos, é imperfeitamente: taes são o ar nebuloso, o papel oleado, as laminas corneas, o vidro despolido, etc.

52. *Circumstancias, de que depende a transparencia.* A transparencia não depende sómente da natureza dos corpos, depende muito da sua espessura, Quanto mais espessa é uma substancia, menos transparente é. Uma lamina muito delgada de crown-glass parece perfeitamente diaphana; mas se muitas laminas se sobrepõem, a transparencia decresce, e tanto mais quanto maior é o numero d'ellas. Por analogia razão, os objectos distantes, que vemos através da atmosphaera, são menos distinctos do que os que se achão perto de nós.

Nenhuma relação exacta se tem podido estabelecer até hoje entre a diaphaneidade d'um corpo e a materia, de que é formado.

Experiencia. O vidro moído não é transparente, mas, lançando qualquer oleo sobre elle, adquire transparencia, ou pelo menos, alto grau de translucidez.

53. **Corpos opacos.** *Corpos opacos* são os que obstão á passagem da luz, e através dos

quaes, por consequência, não podêmos ver os objectos.

É provavel, que nenhum corpo seria absolutamente opaco, se fosse reduzido a laminas de sufficiente tenuidade, visto que vemos a luz passar promptamente através de folhas de ouro e de outros metaes.

Experiencia. Cobrindo com folha de ouro uma das faces d'uma lamina de vidro, veremos através d'ella os objectos com uma côr esverdeada.

55. Explicação do phenomeno da transparencia pelas duas theorias de optica. Pela theoria undulatoria, admitte-se, que os corpos transparentes possuem a propriedade de transmittir as vibrações luminosas do ether, do mesmo modo que as vibrações da atmosphaera se communicão aos corpos solidos, sendo postos em estado de vibração as particulas do ether, que occupão os espaços, que ha entre os atomos dos corpos transparentes. Suppõe-se, que o grau de transparencia d'um corpo depende da intensidade, com que este movimento vibratorio se transmite através d'elle. Por esta theoria, são perfeitamente opacos os corpos, que destroem inteiramente as vibrações luminosas do ether.

Pela theoria corpuscular, os corpos transparentes dão mais ou menos livre passagem, através de sua substancia, ás particulas de luz; e corpos opacos são os que a luz não pode penetrar.

CAPITULO V

IDEAS GERAES SOBRE A PROPAGAÇÃO DA LUZ

§ I

RAIO, PINCEL, FEIXE DE LUZ ; FOCO

56. É observação familiar, que os corpos luminosos espargem luz em todas as direcções. Qualquer d'estas direcções, que a luz segue, propagando-se, denomina-se *raio luminoso*. A reunião de muitos raios proximos é um *pincel de luz*; e a reunião de muitos raios ou de muitos pinceis proximos ou separados é um *feixe de luz*.

Se d'um poncto luminoso concebemos linhas rectas, tiradas em todas as direcções, em cada uma d'estas direcções haverá um raio de luz. Quando a luz se propaga á roda d'um poncto luminoso, e a recebemos sobre uma superficie, diz-se, que esta superficie é esclarecida por um pincel luminoso, quando é pequena, e por um feixe luminoso, quando é maior. Então considerâmos esta superficie como a base d'um cone, cujo vertice é o poncto luminoso, e a luz do pincel ou do feixe é a luz contida neste cone. No paragrapho seguinte, veremos com que restricção devemos tomar esta asserção, conforme é homogeneo ou heterogeneo o meio, em que a luz se propaga.

57. Um pincel ou um feixe de luz é naturalmente *divergente*, isto é, sua secção é tanto maior, quanto mais se afasta do poncto luminoso. Comtudo, quando o poncto luminoso está muito distante, diz-se, que o feixe é paralelo; porque todas as secções são sensivelmente eguaes, ou, o que vem a ser o mesmo, todos os raios são sensivelmente paralelos. Assim, a luz, que nos envia o centro do disco do Sol, fórma um feixe paralelo; porque duas linhas, que distem uma da outra alguns centímetros ou mesmo alguns kilometros, e que, prolongando-se desde a superficie da terra, vão encontrar-se no centro do sol, podem reputar-se paralelas.

58. Os feixes de luz natural, convenientemente modificados, podem tornar-se convergentes, isto é, podem ser os raios conduzidos em tal direcção, que venhão a concorrer todos no mesmo poncto. Este poncto de concurso de todos os raios d'um feixe tem o nome de *foco*. Note-se, que depois de se terem reunido e concentrado em um foco, todos os raios continuão seo caminho, como se cada um d'elles fosse só; do que se segue, que alem do foco o feixe faz-se divergente, como um feixe natural.

§ II

PROPAGAÇÃO DA LUZ EM MEIOS HOMOGENEOS E MEIOS HETEROGENEOS

59. **Melo.** Dá-se o nome de *meio* ao espaço,

cheio ou vazio, em que um phenomeno se produz. O ar, a agua, o vidro, são meios, em que a luz se propaga. Diz-se, que um meio é homogeneo, quando, em todas as partes d'elles, a sua composição chymica e sua densidade são as mesmas.

60. Lei da propagação da luz em um meio homogeneo. Em um meio homogeneo, a luz se propaga em linha recta.

1.^a *Experiencia.* Pondo um objecto opaco entre o orgão da vista e a luz d'uma vela, a luz desaparecerá.

2.^a *Experiencia.* Fazendo entrar os raios do Sol em um quarto escuro por uma ou duas aberturas, a luz apparecerá debaixo da fôrma de linhas rectas.

3.^a *Experiencia.* Collocando sobre uma regua comprida tres discos atravessados no centro por um orificio muito pequeno, podêmos ver em grande distancia a luz d'uma vela, ou deixar de a ver, conforme os orificios estão ou não em linha recta.

61. Explicação do phenomeno da propagação da luz em um meio homogeneo. Segundo a theoria das emissões, a luz espalha-se á roda d'um poncto luminoso, como os raios d'uma esphera, e a phrase, *raio de luz*, é empregada, para exprimir a direcção, em que se suppõe caminhar um atomo ou uma successão de atomos d'esta materia.

Segundo a theoria das vibrações, a luz propaga-se de cada poncto luminoso em todas di-

recções, segundo as leis do movimento undulatorio. Cada linha, que se possa imaginar tirada perpendicularmente á superficie d'uma onda de luz, constitue um raio, e esta linha, prolongada até ao ponto luminoso, dará a direcção, em que as undulações se propagão.

62. Refracção da luz. Um raio de luz, que passa d'um para outro meio, soffre mudança de direcção na superficie de contacto, propagando-se no segundo meio na direcção d'uma recta differente da que seguia no primeiro meio. Este phenomeno tem o nome de *refracção da luz*.

63. Reflexão da luz. Se a luz cae sobre um corpo opaco, soffre modificações dependentes da natureza da superficie do corpo: se a superficie é polida, o raio luminoso é reflectido em uma direcção determinada; se não é polida, o raio é ainda reflectido, mas soffre muitas mudanças: o corpo torna-se visivel.

64. Tres modos de propagação da luz. 1.º Propagação directa ou em linha recta. Dá-se ás vezes o nome de *optica propriamente dicta* á parte da optica, encarregada d'este estudo: 2.º Propagação indirecta pela reflexão, cujo estudo é o objecto da *catoptrica* (*kata contra, optesthai* ver): 3.º Propagação indirecta pela refracção, cujo estudo pertence á *dioptrica* (*dia através de, optesthai*).

§ III

EXPERIENCIA DA CAMARA ESCURA

65. As imagens dos objectos exteriores são invertidas. A construcção da camara escura funda-se no principio da propagação da luz em linha recta. Se em uma casa escura fazemos entrar a luz por um pequeno orificio, e a recebemos sobre um alvo, aqui se representa cada poncto dos objectos exteriores com a côr propria. A combinação d'estas representações fórma imagens invertidas dos objectos.

66. Experiencia. Seja *AB*, *fig. 1*, o objecto, d'onde partem os raios, que, pelo orificio *c* entrão na camara escura, e incidem sobre uma parede vertical. O raio *Ao*, que desce da extremidade *A* do objecto, produz a imagem d'esta extremidade em *a*; e o raio *Bo*, que sobe do extremo *B*, produz a imagem d'este extremo em *b*. Do mesmo modo, os raios de todos os pontos intermedios, desde *A* até *B*, passam por *o*, e incidem sobre a parede entre *a* e *b*, formando a imagem *ab*, que é necessariamente invertida.

67. Quanto menor for o orificio, mais bem definido ficará o contorno do objecto; mas a luz diminuirá proporcionalmente. Se o tamanho do orificio augmenta, o brilho da imagem cresce; mas a distincção do contorno diminue na mesma razão.

68. A fôrma da imagem é independente da fôrma do orifício. Para mostrar, como a fôrma da imagem é independente da fôrma do orifício, quando este é sufficientemente pequeno e o alvo bem afastado, seja *o* um orifício triangular, e seja *ab* um alvo, sobre que se receba a imagem d'uma chamma AB. De cada poncto da chamma, parte para dentro da camara escura um feixe divergente, que vem formar sobre o alvo uma imagem triangular, semelhante ao orifício, como a *fig.* mostra. Ora, é a reunião de todas estas imagens parciaes, que produz uma imagem total da mesma fôrma que o objecto.

Com effeito, se concebemos uma recta indefinida, movendo-se no orifício, com a condição de se conservar sempre tangente ao objecto luminoso AB, podêmos admittir, que, em seo movimento, a recta descreve dous cones, tendo ambos por vertice commum o orifício da camara, e tendo por base, um d'elles o corpo luminoso, e o outro a parte illuminada do alvo, isto é, a imagem. Portanto, se o alvo é perpendicular á recta, que une o centro do orifício ao centro do corpo luminoso, a imagem é semelhante a este corpo; mas se o alvo é obliquo, a imagem é alongada no sentido da obliquidade. É o que se observa, por exemplo, na sombra projectada pela folhagem das arvores: os feixes luminosos, que passam por entre as folhas, produzem imagens, que serão circulares ou ellipticas, segundo for perpendicular ou obliquo aos

raios solares o terreno, sobre que se projectão, qualquer que seja a fôrma dos intervallos formados pelas folhas, pelos quaes passa a luz.

No capitulo, destinado á descripção dos instrumentos de optica, descreveremos mais circumstanciadamente a camara escura.

§ IV

SOMBRA, UMBRA, PENUMBRA ; REFLEXO

69. **Sombra.** Se um corpo opaco é esclarecido por um lado sómente, o lado, que está mais distante da luz, ficará escuro, e alem d'elle haverá um espaço sem luz. Este espaço é a *sombra* do corpo opaco. Se algum objecto a intercepta, a face d'este objecto, que estiver voltada para o corpo opaco, será escurecida pela sombra.

Na linguagem vulgar e na perspectiva, a palavra sombra não significa o espaço privado de luz pela interposição d'um corpo opaco diante d'um corpo luminoso, mas a projecção d'este espaço sobre uma superficie. E' assim, que a sombra dos corpos, expostos aos raios solares, se projecta sobre a superficie da terra, e fôrma a sombra particular d'estes corpos.

70. Se considerarmos o corpo luminoso, como um só poncto, obteremos os limites da sombra, tirando d'este poncto linhas rectas, tangentes á superficie do corpo opaco, e prolongando-as até ao objecto, que intercepta o espaço escuro.

Se a linha de tangencia é uma curva, a sombra será um cone truncado, *fig. 2*; se a linha de tangencia é uma linha quebrada, a sombra será uma pyramide truncada, *fig. 3*.

Umbra e penumbra. Se o corpo luminoso é, como sempre acontece, formado, não d'um só, mas de muitos pontos luminosos, então o espaço, que fica atraz do corpo opaco, conterá duas sombras, a *umbra*, que é perfeitamente escura, e a *penumbra*, que principia na umbra, e, por graus imperceptiveis, se vai esclarecendo até á luz perfeita.

Seja *lm*, *fig. 4*, o corpo luminoso e *ab* o corpo opaco, por elle allumiado. A umbra é o espaço contido entre as linhas *ac* e *bc*, e a penumbra o que se encerra em *fbcad*.

Sombras geometricas e sombras physicas. As sombras, que acabámos de construir, são chamadas *sombras geometricas*; estas sombras não existem realmente. As que realmente observâmos, chamão-se *sombras physicas*; estas sombras não são tão rigorosamente definidas como aquellas. Com effeito, vemos luz dentro dos limites da sombra geometrica, e vemos sombra fora d'estes limites.

Reflexo. Quando um corpo opaco intercepta a luz por uma de suas faces, a face opposta não fica em completa obscuridade, fica sempre mais ou menos esclarecida pela luz, que os corpos vizinhos reflectem. A esta reverberação dá-se o nome de *reflexo*.

As sombras, desenhadas na superficie da ter-

ra pelos corpos, que interceptão os raios solares, tem sempre a forma, que a precedente construcção lhes assigna: são cercadas d'uma penumbra muito sensivel, cuja extensão depende do diametro apparente do astro e da distancia, que separa o corpo opaco do logar, em que sua sombra se observa. Se, nos eclipses da lua, a luz, reflectida por este satellite, vai gradualmente enfraquecendo-se, antes de desaparecer, é porque a lua atravessa a penumbra do nosso planeta, antes de chegar á umbra.

§ V
VELOCIDADE DA LUZ, MEDIDA PELOS ECLIPSES
DOS SATELLITES DE JUPITER

A velocidade, com que a luz se propaga, é tal, que á superficie da terra, por maior que seja a distancia, não se acha intervallo aprecia-vel entre o instante, em que um phenomeno luminoso tem logar, e o instante, em que o órgão da vista o observa. Foi Olof Römer, astrónomo dinamarquez, quem primeiro, em 1673, determinou a velocidade da luz, deduzindo-a da observação dos eclipses do primeiro satellite de jupiter. Este satellite *E*, *fig. 3*, entra na sombra projectada por jupiter, *J*, com intervallos eguaes de tempo, $42^h 28' 36''$. Enquanto a terra, *T*, se acha na parte *ab* de sua orbita, que está sensivelmente á mesma distancia de jupiter, e entre este planeta e o sol, observa-se, que aquelles inter-

vallos consecutivos são sempre os mesmos; mas á medida que a terra se afasta d'esta posição, gyrando á roda do sol, S, o intervallo cresce; e quando, ao cabo de seis mezes, o sol se acha entre a terra T' e jupiter, observa-se um atrazo total de $16' 36''$ entre o instante, em que apparece o phenomeno, e o instante, em que, segundo o calculo, teve realmente logar. Ora, a differença de distancia da terra ao satellite, nas duas mencionadas posições, é igual ao diametro da orbita da terra. Logo, a luz precisa de $16' 36''$ para percorrer este diametro, isto é, duas vezes a distancia da terra ao sol; o que corresponde a 300.000 kilometros, proximamente, por segundo.

Não se pode fazer idea de tão prodigiosa velocidade senão comparando-a com as que parecem muito grandes. Por exemplo, uma bala de artilheria gastaria mais de dezasepte annos para chegar ao sol, suppondo, que conservava sua velocidade inicial, de maneira que em um anno andaria metade do caminho, que a luz anda num minuto. A ave de mais rapido vôo gastaria perto de tres semanas em dar uma volta inteira á roda da terra, e a luz percorreria este espaço em menos tempo do que a ave careceria para bater as asas uma só vez.

As estrellas mais proximas da terra estão, pelo menos, 200.000 vezes mais longe do que o sol: sua luz gasta mais de tres annos para chegar á terra. Quanto ás estrellas, que não podemos ver sem auxilio de telescopio, é muito pro-

vavel, que sua distancia á terra seja tal, que sua luz precise de milhares de annos para cá chegar. Estes astros podem, pois, ter deixado de existir ha muitos seculos, continuando nós a contemplal-os e a estudar seos movimentos.

§ VI

ABERRAÇÃO DA LUZ

A falta de instantaneidade na propagação da luz dá lugar a um phenomeno muito notavel, que, em 1727, foi descoberto pelo insigne astrónomo inglez, James Bradley, e que veio confirmar a descoberta do astrónomo dinamarquez.

Quando um raio de luz, expedido d'um astro, vem percutir a retina d'um observador, este observador, se está immovel, vê, fazendo abstracção da atmosphera, o astro na direcção do raio, que elle recebe d'este astro; mas se está em movimento, vê o astro na direcção da diagonal do parallelogrammo, formado sobre duas linhas, uma das quaes representa a velocidade da luz, e a outra a sua propria velocidade. D'aqui resulta, que o logar apparente dos astros differe do logar verdadeiro; que a grandeza do desvio depende da razão da velocidade da luz para a do observador e das direcções d'estas velocidades. Dos movimentos, que a terra tem, só o que se executa na ecliptica pode ser comparado com o da luz. O desvio, que os astros soffrem de sua

posição verdadeira, é o phenomeno, que Bradley descobriu, e que se chama *aberração da luz*.

É em virtude da aberração da luz, que as estrellas fixas parecem descrever annualmente pequenas ellipses. No calculo da aberração, depois de ter corrigido as observações da influencia da refração atmospherica, é necessario attender não só á velocidade da luz e da terra, mas tãobem á velocidade de translação do astro, quando sua velocidade é comparavel com a da luz.

Seja *MN*, *fig. 6*, um navio e *a* uma peça de artilheria. Se o navio está parado, a bala, que entrasse pelo poncto *b*, sairia pelo poncto *c*, de modo que os tres ponctos *a*, *b*, *c*, estarião em linha recta; mas se o navio caminha de *M* para *N*, a bala, que entra pelo poncto *b*, não sairá por *c*, mas por algum outro poncto *d*, tanto mais proximo da poppa, quanto maior é o espaço andado pelo navio durante a passagem da bala através d'elle. As linhas *bc* e *bd* formão, portanto, um angulo em *b*, cuja grandeza depende das velocidades relativas da bala e do navio: quanto maior é a velocidade da bala, comparada com a do navio, menor é o angulo. Imaginemos agora, que o navio é a terra, e a peça uma estrella fixa, que a velocidade *bc* da bala é a velocidade da luz, e *dc* a velocidade da terra em sua orbita. O angulo *dbc* é o que se chama *angulo de aberração*. Bradley achou, que este angulo era de 20'' proximamente, e que era o mesmo para todas as estrellas. Do triangulo

bed, que podemos suppor rectangulo em *c*, deduziremos a velocidade da luz.

O resultado, obtido por este meio, concorda, muito proximamente, com o que Römer obtivera; e esta concordancia, em resultados colhidos por methodos tão differentes, prova a exacção das observações astronomicas e ratifica a idea do movimento da terra em torno do sol.

§ VII

APPARELHO DE FOUCAULT PARA MEDIR A VELOCIDADE DA LUZ

Não obstante a prodigiosa velocidade da luz, Foucault conseguiu determiná-la experimentalmente a favor d'um ingenhoso aparelho, fundado no emprego do espelho rotatorio, já adoptado por Wheatstone, para medir a velocidade da electricidade. A intelligencia do aparelho, que vamos descrever, suppõe conhecidas as propriedades dos espelhos e das lentes, que hão de ser adiante estudadas.

A *fig. 7* representa uma secção horizontal do aparelho. Um feixe de luz solar, reflectido horizontalmente por um heliostato, penetra na camara escura por uma abertura quadrada, no meio da qual está fixado verticalmente um fio muito fino de platina, e cae sobre uma lente achromatica *L*, de longo foco, afastada do fio de platina menos do que o dobro da distancia focal principal. A imagem do fio de platina

tende então a ir formar-se sobre o eixo da lente com dimensões mais ou menos amplificadas. Mas o feixe luminoso, depois de ter atravessado a lente, encontra um espelho plano m , animado de movimento rotatorio muito rapido, sobre o qual se reflecte, e vai formar no espaço uma imagem do fio de platina. Esta imagem desloca-se com velocidade angular, dupla da do espelho; o que se demonstra do modo seguinte:

Seja mn , *fig. 8*, o espelho rotatorio, O um objecto fixo, collocado adiante d'elle, e formando sua imagem em O' . Quando o espelho chega á posição $m'n'$, a imagem se representa em O'' . Ora, os dous angulos $O'O''$ e mcm' são eguaes, por serem os lados de um perpendicularaes aos lados do outro; mas o angulo inscripto $O'O''$ não tem por medida senão metade do arco $O'O''$, e o angulo mcm' , formado no centro, tem por medida todo o arco mm' . Logo, o arco $O'O''$ é duplo de mm' ; o que demonstra, que a velocidade angular da imagem é dupla da do espelho.

Esta imagem encontra um espelho M , *fig. 7*, concavo e fixo, cujo centro de curvatura coincide com o eixo de rotação do espelho rotatorio m e com seu centro de figura. O feixe, reflectido sobre o espelho M , volta sobre si mesmo, reflecte-se outra vez sobre o espelho m , atravessa segunda vez a lente, e vem formar uma imagem do fio de platina, que apparece sobre este mesmo fio, enquanto o espelho m gyra lentamente.

Para observar esta imagem, põe-se um espelho não estanhado V , de faces paralelas, entre a lente e o fio de platina, e inclina-se de modo que os raios reflectidos venhão cair sobre a ocular P . Dando conveniente espessura ao espelho, evita-se a confusão, que resultaria das imagens reflectidas sobre a primeira e sobre a segunda superficie.

Posto isto, se o espelho m está em repouso, ou se tem pouca velocidade, o raio de retorno Mm encontra o espelho m na mesma posição, em que estava no momento da primeira reflexão: retoma, pois, a mesma direcção, que já seguiu, encontra em a o espelho V , aqui se reflecte parcialmente, e vem formar em d na distancia ad , egual a ao , a imagem, que o observador vê com a ocular P . O espelho m , em cada revolução, faz reaparecer esta imagem; e se a velocidade é uniforme, a imagem conserva-se immovel no espaço. Para menos de trinta voltas por segundo, as aparições successivas são distinctas; quando o numero de voltas se vai aproximando de trinta, a persistencia das impressões faz ver uma imagem persistente.

Quando a rotação se torna muito rapida, dando o espelho muitas centenas de voltas por segundo, as cousas mudão de aspecto, e é pelo phenomeno, que então se produz, que Foucault chegou o resolver o problema da velocidade da luz. Com esta rapidez de rotação, o espelho muda sensivelmente de posição durante o tempo, que a luz gasta a fazer o duplo trajecto de

m para M e de M para m ; o raio de retorno, depois de sua reflexão em m , toma então a direcção mb , e vem formar sua imagem em i ; isto é, a imagem soffre um desvio total di . Rigorosamente falando, ha desvio, todas as vezes que o espelho gyra, aindaque seja lentamente; mas não é apreciavel senão quando adquire certa grandeza; o que exige uma rotação assaz rapida ou uma distancia Mm sufficientemente grande. Na experiencia de Foucault, a distancia mM era de quatro metros sómente, e fazendo então dar ao espelho m de 600 a 800 voltas por segundo, se obtinhão desvios de 2 a 3 decimillimetros.

Assim, a velocidade da luz, a velocidade de rotação do espelho e a amplitude do desvio, são tres cousas ligadas eate si por uma relação tão intima, que, sendo dadas duas d'ellas, podemos deduzir a outra.

O mecanismo, com que se imprime grande velocidade ao espelho rotatorio, é uma *sereia de vapor*, que tem alguma analogia com a sereia acustica, e dá, como esta, um som, tanto mais elevado, quanto mais rapida é a rotação. Alem do som, que pode até certo poncto dar a medida da velocidade, ha um contador particular, cuja idea é ingenhosissima.

§ VIII
 FORMULAS, QUE DÃO O DESVIO LINEAR, D , POR MEIO
 DA VELOCIDADE DA LUZ E DA VELOCIDADE
 DO ESPELHO ROTATORIO.

Seja r , *fig.* 9, o raio za'' do espelho conca-
 vo, expresso em metros; o tempo $2t$, que a
 luz leva a ir de z para a'' e para voltar de a''
 para z , é dado por

$$2t = \frac{2r}{v},$$

sendo v a velocidade da luz expressa em metros.

Designa-se por n o numero de voltas, que o
 espelho dá em $1''$ e por x o angulo, que elle
 descreve durante $2t$, expresso em graus, minu-
 tos e segundos da circumferencia, cujo raio se
 toma para unidade. Como o espelho descreve em
 $1''$ um numero de graus igual a $2\pi n$, e em $2t$
 o angulo x , teremos

$$\frac{x}{2\pi n} = 2t = \frac{2r}{v}$$

$$x = \frac{4\pi nr}{v}.$$

Deslocando-se a imagem do fio um angulo p' ,
 egual ao dobro de x , como se demonstrou, te-
 remos

$$p' = \frac{8 \sqrt{nr}}{v}$$

Represente-se por p o angulo $ayd' = a'yd'$, por
 e a distancia ay do objecto á lente, por l a
 distancia yz da lente ao espelho rotatorio, te-
 remos

$$a'y = r + l$$

e, como podêmos tomar os angulos por suas
 tangentes, por serem muito pequenos, teremos

$$D = ep \quad \frac{p}{p'} = \frac{r}{r+l}$$

$$D = \frac{8 \sqrt{nr^2en}}{v(r+l)}$$

visto que a luz gasta $8'43''$ para vir do sol á
 terra ou para percorrer 24.000 raios terrestres
 de 6.366.000 metros, temos

$$v = 309.906.085 \text{ metros.}$$

Supponha-se, que tomâmos os seguintes da-
 dos para a experiencia:

$$\begin{aligned}e &= 3^m \\r &= 4^m \\l &= 1^m, 1818;\end{aligned}$$

d'onde tirámos, para $n=100$, $D=0^{\text{mm}}, 075$; para $n=800^m$, $D=0^{\text{mm}}, 6$. Assim, quando o espelho dá sómente 100 voltas por segundo, já o desvio é facil de observar; porquanto septe centesimos de millimetro distinguem-se bem á vista simples, e tornão-se uma quantidade consideravel com a amplificação de 15 ou 20 vezes.

§ IX

DEMONSTRAÇÃO DIRECTA DO SYSTEMA
DAS UNDULAÇÕES
PELO APPARELHO DE FOUCAULT

Foucault applicou o seo aparelho á determinação directa de qual dos dous systemas de optica é a expressão da verdade. O systema das emanações conclue, que a luz se transmite na agua com mais velocidade do que no ar; o systema das undulações conclue o inverso. O aparelho de Foucault permite comparar as velocidades da luz no ar e na agua.

Situa-se, *fig. 7*, um tubo AB , cheio de agua distillada, entre o espelho rotatorio m e um espelho concavo M' identico ao espelho M . Os raios luminosos, reflectidos pelo espelho movel na direcção mM' , atravessão duas vezes a columna de agua AB , antes de voltarem sobre o espe-

lho *V*. Ora, o raio de retorno vem então reflectir-se em *c* e fazer sua imagem em *h*: o desvio é, pois, maior para os raios, que atravessarão a agua do que para os que se propagarão pelo ar; o que mostra, que a velocidade da luz é menor na agua do que no ar.

Assim, a velocidade da luz, em vez de crescer com a refrangibilidade, como suppõe o systema das emanações, é, pelo contrario, decrescente, como quer o systema das undulações. Logo, é este ultimo systema, que deve ser exclusivamente adoptado.

CAPITULO VI

PHOTOMETRIA

§ I

INTENSIDADE DA LUZ EM GERAL

O ramo da optica, denominado *photometria* (*phôs otos* luz, *metron* medida), tem por objecto, avaliar a intensidade da luz. Dá-se o nome de intensidade da luz á quantidade absoluta de luz, que se diffunde sobre uma unidade de superficie do corpo illuminado. O grau de illumination d'um corpo é, ao mesmo tempo, proporcional ao numero e intensidade dos raios luminosos; é tãobem proporcional á extensão da superficie illuminante.

A *claridade intrinseca real* d'um corpo lu-

minoso é a intensidade da luz de cada ponto physico de sua superficie; a *claridade intrinseca apparente* d'um corpo luminoso é o grau de claridade de sua imagem no fundo do olho. É pela claridade intrinseca apparente, que ordinariamente julgamos da luz dos corpos. Assim, pode um corpo ser mais luminoso que outro, e faremos differente juizo, se causas accidentaes interceptarem parte da luz, que d'elle vem para nossos olhos.

A *luz absoluta* d'um corpo luminoso é igual á somma das areas de suas porções elementares, sendo cada uma d'ellas multiplicada por sua claridade intrinseca real. A *luz apparente* d'um objecto é igual á quantidade de luz, que penetra no olho.

Quando nos afastamos d'um corpo luminoso, sua luz apparente diminue por dous motivos: 1.º nossos olhos, sendo de grandeza limitada, apresentam á luz uma superficie constante, e, por consequencia, recebem uma quantidade de luz, que diminue, quando a distancia augmenta; 2.º ao atravessar a atmospherá, uma porção de luz se extingue pela falta de transparencia perfeita d'este meio. A claridade intrinseca apparente é igual á luz apparente, dividida pela superficie da imagem sobre a retina.

§ II

LEIS DA INTENSIDADE DA LUZ

1.^a lei — *A intensidade da luz, que provém d'um ponto luminoso, decresce na razão inversa do quadrado da distancia.*

A formula d'esta lei geral é

$$I = \frac{IS}{D^2};$$

sendo *I* a intensidade da luz apparente, *I'* a intensidade da luz absoluta, *S* a superficie luminosa, *D* a distancia.

Demonstração theorica. Sendo cada ponto luminoso considerado como centro d'uma esphera de raios de luz, que, partindo em todas as direcções, se espalhão indefinidamente no espaço, ou até encontrarem corpos opacos, que lhes interrompão a marcha, segue-se, que, em um meio homogeneo e perfeitamente diaphano, a luz deve obedecer áquella lei, como no calor, no som, nas acções attractivas.

E' um theorema de geometria, que a superficie d'uma esphera é proporcional ao quadrado do raio. Se concebemos uma esphera oca de qualquer raio, tendo no centro um ponto luminoso, cada unidade de superficie da parede interior recebe uma dada quantidade de luz. Ora, duplicando-se o raio da esphera, sua su-

perficie, pelo theorema citado, será quadruplo. A parede interior conterá, pois, quatro vezes mais unidades de superficie, e, como a luz, que vem do centro, continua a ser a mesma, cada unidade receberá necessariamente quatro vezes menos luz.

Demonstração experimental. É facil reconhecer, á simples vista, a egualdade de duas luzes, que allumião duas laminas eguaes e da mesma natureza, como dous boccados de papel, para os quaes se olha pela parte de traz, recebendo cada um d'elles a luz d'um só corpo luminoso; condição, que se satisfaz facilmente por meio d'uma lamina opaca, pósta entre os dous corpos luminosos e normal ás folhas translucidas. Se, quando esta egualdade se observa, os dous corpos luminosos estão a distancias eguaes, e collocados do mesmo modo a respeito dos corpos, que elles respectivamente esclarecem, poderemos réputar eguaes as intensidades da luz, que elles expedem.

Ora, se allumiámos um dos boccados de papel com uma só luz, posta a um pé de distancia, e o outro com quatro luzes eguaes á primeira, mas postas a dous pés de distancia, veremos os dous corpos translucidos igualmente esclarecidos.

Este resultado da experiencia confirma a lei deduzida da theoria.

2.^a lei — *A intensidade da luz, recebida obliquamente sobre um plano, é proporcional ao seno do angulo, que o plano faz com os raios*

incidentes ou ao coseno do angulo, que o plano faz com uma perpendicular aos raios.

A formula d'esta lei é

$$I = \frac{I' S \operatorname{sen} \alpha}{D^2}$$

Demonstração. Representem raios do sol as linhas parallelas da *fig. 9*. É evidente, que a superficie *ab*, sobre que incidem perpendicularmente, recebe o maior numero possivel de raios, enquanto que a mesma superficie, em qualquer outra posição, *ac*, recebe menor numero de raios; pois que sobre ella não caem senão os que incidirão sobre a superficie *dc*, perpendicular aos mesmos raios, menor que *ab*. Ora, *dc* é o seno do angulo, que o plano faz com os raios incidentes, e o coseno do angulo, que o mesmo plano faz com uma perpendicular aos mesmos raios; e tal é o theorema, que queriamos demonstrar,

§ III

INFLUENCIA DO MEIO

Como não ha sobre a terra nenhum corpo perfeitamente transparente, a intensidade da luz deve necessariamente diminuir em sua passagem através de todos os meios chamados transparentes, e a diminuição, que soffre, variará conforme o meio é mais ou menos transparente, e conforme o caminho é mais ou menos longo. A ra-

não exacta, em que a luz diminue, não tem sido determinada: é todavia um facto estabelecido, que mesmo os corpos, que mais se aproximão da transparencia perfeita, se tornão opacos, quando sua espessura cresce consideravelmente.

Segundo Bouguer, a agua mais limpida do mar, na profundidade de 730 pés, perde toda a sua transparencia, e a atmospherá, em seo estado mais puro, seria inteiramente impenetável aos raios do sol, se sua altura fosse muito mais considerável. Por este principio podêmos explicar o menor esplendor do sol e da lua na occasião de seo nascimento e occaso: porque, quanto mais proximos estão do horizonte, mais longo é o caminho e mais densas são as camadas, que os raios de luz tem de atravessar. Se a luz diminue similhantemente, atravessando o vacuo absoluto ou o ether, não temos meio nenhum de determiná-lo: todavia o brilho das estrellas fixas, immensamente distantes de nós, probabiliza a idea contrária.

§ IV

PHOTOMETROS

Dê-se o nome de *photometros* a instrumentos proprios para comparar as intensidades de duas luzes. D'entre os muitos aparelhos d'esta ordem, que se tem imaginado, não ha nenhum, que seja dotado do desejado grau de exactão.

A descoberta d'um meio, capaz de dar a medida exacta da intensidade d'uma luz natural, ainda que fosse muito fraca, como uma estrella, seria incontestavelmente seguida de importantes progressos em astronomia; poderíamos, pois, classificar as estrellas pela intensidade de sua luz, e apreciar as relações prováveis de suas distancias á terra; achar os periodos das estrellas mudaveis, etc. A esperança de obter estes resultados explica bem as numerosas tentativas, feitas para achar um photometro perfeito e comparavel.

Tem-se inventado muitos photometros, os quaes são conhecidos pelos nomes de seus inventores; como são, Rumford, Leslie, Wheatstone, Foucault, Goni, Ritchie, Bunsen, Masson. Descreveremos somente os primeiros tres.

§ V

PHOTOMETRO DE RUMFORD

Sobre uma mesa, coberta com uma folha de papel branco, fixe-se verticalmente uma aste opaca AB , *fig. 10*. Se d'um lado collocâmos uma vela C , a aste projectará uma sombra AB' : um pouco mais longe e um pouco para fora da linha AC , ponha-se um candieiro D , que também produzirá uma sombra AB'' . A sombra AB' recebe luz do candieiro, a sombra AB'' recebe luz da vela, e o resto do papel a recebe ao mesmo tempo das duas chammass. Ao principio,

as duas sombras são de desigual intensidade; mas, indo afastando o candieiro, fazemos, com que, afinal, a intensidade das duas sombras seja a mesma. Neste momento, as duas luzes tem a mesma intensidade em *A*. Então medimos as distancias *DA* e *CA*; e a intensidade da luz do

candieiro será $\left(\frac{DA}{CA}\right)^2$ vezes maior que a da luz da vela.

§ VI

PHOTOMETRO DE LESLIE

Leslie tentou servir-se d'uma das esferas de seo thermometro differencial, para comparar os efeitos luminosos, produzidos por differentes corpos. A outra esfera deve estar coberta com uma camada opaca, afim de não receber interiormente o calor irradiante luminoso. Então, aquecendo-se o ar da esfera transparente mais do que o da outra esfera, o indice do thermometro avança.

Leslie suppunha, que a intensidade da luz era proporcional ao effeito calorifico, manifestado pelo seo aparelho. Não podêmos, porém, admittir esta proporcionalidade; porque o poder diathermico do vidro depende, como veremos, da natureza dos raios calorificos. Arago, expondo o photometro de Leslie aos raios solares e aos raios d'um candieiro de Argant, notou, que as indicações, por elle fornecidas, erão em sen-

tido inverso. Um caso, em que este instrumento poderá ser empregado com vantagem, é, quando as fontes de luz, que pretendemos comparar, forem da mesma natureza, só differindo em intensidade.

§ VII

PHOTOMETRO DE WHEATSTONE.

Este pequeno instrumento, *fig. 11*, serve, principalmente, para comparar os bicos de gaz. Sua peça principal é uma ampolla de vidro, estanhada por dentro *m*. Esta ampolla está pegada sobre um disco de cortiça, e este disco achase fixado sobre um carrete, o qual entrosa interiormente com uma coroa dentada. Esta coroa está presa ás bordas d'uma caixa cylindrica. Com uma das mãos pega-se nesta caixa, e com a outra faz-se girar a manivella *M*, a qual transmite o movimento a um eixo central, ao raio *r* e ao carrete *c*. Tendo a coroa quatro vezes mais dentes que o carrete, este dá quatro voltas, enquanto a alavanca dá uma só.

A luz, reflectindo-se sobre a ampolla, produz um poncto brilhante, que descreveria um circulo durante a rotação da alavanca *r*, se o poncto estivesse exactamente no eixo do carrete. Não estando o poncto brilhante no eixo do carrete, esse poncto descreverá uma curva com quatro partes eguaes, cuja forma depende da distancia do poncto brilhante áquelle eixo. Se esta distan-

cia é sufficientemente grande, a curva apresenta a forma, que se vê na *fig.* 12.

Se fazemos cair sobre o aparelho os raios de duas luzes L e L' , que queremos comparar, cada uma d'ellas produz sobre a ampolla um ponto brilhante, e obtemos duas curvas, como se veêm na *fig.* Se uma d'ellas é mais intensa do que a outra, a que provêm da luz L , por exemplo, aproximâmos o instrumento da luz L' , até que as duas curvas apresentem o mesmo brilho. Mede-se então a distancia do photometro a cada uma das luzes, e suas intensidades são proporcionaes aos quadrados das distancias.

§ VIII

APPLICAÇÕES DA PHOTOMETRIA

O photometro de Rumford serve, não só para comparar as intensidades de diferentes especies de luzes, mas tãobem para determinar a influencia das diversas partes dosapparelhos, que as fornecem, e as proporções relativas, que convem dar-lhes, com o duplo fim de augmentar sua intensidade, e diminuir a despesa, que exigem. D'entre os resultados, que Rumford obteve, citaremos os seguintes: a intensidade da luz, fornecida por uma vela, sendo 100, quando está bem espivitada, desce a 39 no fim de 11', não é senão 16 ao cabo de meia hora, e torna a subir a 100, quando outra vez se espivita. Um candieiro ordinario de Argant, isto e, de tor-

cida cylindrica, e dupla corrente de ar, presta, quando arde com todo o seo brilho, tanta luz, como nove velas bem espivitadas. Um candieiro de torcida achatada, nas circumstancias mais favoraveis, isto é, apresentando chamina larga, clara e sem fumo, gasta seis partes de azeite, emquanto um candieiro de bico de Argant, que dá a mesma quantidade de luz, não gasta senão cinco partes.

O photometro de Rumford tãoobem serve para comparar as intensidades da luz dos gazes combustiveis, extrahidos do carvão de pedra e do azeite, e para estudar as disposições e as proporções dos bicos e das chaminés, que permitem obter mais luz com a mesma quantidade de gaz. Em geral, na illuminação por meio do gaz, a luz mais brilhante e ao mesmo tempo a mais economica é ministrada pelo bico de dupla corrente de ar, cujos orificios são mais numerosos, menor o conducto de ar interior, e mais estreita a chaminé. As intensidades da luz de dous volumes eguaes de gazes combustiveis, um extrahido de carvão, outro de azeite, usando-se do bico mais conveniente a cada um d'elles, estão entre si como 1 para $2\frac{1}{4}$. Comtudo, esta relação varia muito com a qualidade das materias primas e com a perfeição dos processos de fabricação.

Com o seo photometro, Leslie julgou poder determinar a relação da intensidade da luz do sol com a d'uma vela. A vela, de que se serviu, representava um disco luminoso de $\frac{3}{7}$ de pollega-

da de diametro: posto a duas pollegadas de distancia, produzia sobre o instrumento um effeito de 6° ; por consequencia, a um pé de distancia, este effeito não seria senão $\frac{1}{36}$ de 6° , ou $\frac{1}{6}$. O sol, em certa altura acima do horizonte, fazia andar o indice 125° . Ora, para que a vela subtendesse o mesmo angulo, que o sol subtendia, que era $30'$ proximamente, seria preciso pol-a a quatro pés de distancia, d'onde não teria produzido senão um effeito dezaseis vezes menor que $\frac{1}{6}^\circ$ ou igual a $\frac{1}{96}^\circ$. Assim, os effeitos, produzidos pelo sol e pela vela, subtendendo o mesmo angulo, estarião entre si na razão de 125 para $\frac{1}{96}$, ou como 12.000 para 1; d'onde Leslie concluiu, que a claridade do sol é 12.000 maior do que a d'uma vela.

Leslie tãobem comparou a luz do sol com a luz da lua; e achou, que a do sol era 94.500 vezes maior. Bouguer achára o triplo, e Wollaston achou mais do octuplo. Estas grandes differenças, que existem entre os valores assignados a esta relação pelos diversos physicos, mostram quão imperfeitos são os meios photometricos, usados até hoje, para comparar a luz dos astros.

Catoptrica

CAPITULO VII

REFLEXÃO IRREGULAR E REFLEXÃO ESPECULAR. ESPELHOS. LEIS DA REFLEXÃO

§ I

REFLEXÃO IRREGULAR E REFLEXÃO ESPECULAR

Reflexão irregular. Se fazemos entrar na camara escura um feixe de luz solar, e lhe offerecemos a superficie d'um corpo, os phenomenos observados dependerão da natureza da superficie d'este corpo. Se o corpo for escabroso, a parte da superficie, em que os raios cairem, será visivel de todos os pontos da camara escura; o que nos mostra, que a luz, incidindo em uma superficie escabrosa, é em parte absorvida, e em parte irregularmente reflectida em todas as direcções. A reflexão, que tem lugar em todas as direcções, é chamada *reflexão irregular*; e a luz, reflectida irregularmente, toma o nome de *luz diffusa*.

Reflexão especular. Se o corpo é opaco, e sua superficie bem polida, haverá uma direcção unica, em que o observador receberá com grande brilho a imagem do sol, a qual imagem a superficie polida lhe enviará com perfeita

regularidade, emquanto que, olhando para a superfície em qualquer outra direcção, vel-a-á sómente illuminada, como as superfícies escabrosas. D'aqui se vê, que a luz, caindo na superfície polida d'um corpo opaco, é em parte absorvida, em parte regularmente reflectida, em parte reflectida irregularmente. A reflexão, que tem lugar em uma direcção determinada, chama-se *reflexão regular* ou *especular* (*speculum* espelho).

§ II

ESPELHOS

Dá-se o nome de *espelhos* a todos os corpos, em cujas superfícies se verifica, em alto grau, a reflexão regular.

Espelhos naturaes. Os espelhos são *naturaes* ou *artificiaes*. Como exemplos da primeira classe, podêmos mencionar as superfícies dos liquidos em repouso, que são os mais perfectos espelhos: muitos crystaes sãs tãobem espelhos naturaes.

Espelhos artificiaes. Os espelhos artificiaes fabricão-se de metal ou de vidro. Os melhores espelhos metallicos são de platina, ou d'uma liga de cobre, prata e zinco. Laminas de vidro muito bem polidas, enegrecidas d'um lado, são bons espelhos para muitos usos, assim como as laminas de obsidiana ou vidro vulcanico, estando bem polida uma de suas faces. Os nossos espe-

lhos ordinarios, que por um lado se revestem d'um amalgama de estanho, afim de formar uma superficie reflectidora, tem o inconveniente de dar muitas imagens.

Classificação dos espelhos artificiaes. Os espelhos artificiaes classificão-se segundo a forma de suas superficies, em *planos*, *convexos* e *concaros*; segundo a especie de curvatura d'ellas, podem ser *esphericos*, *parabolicos*, *ellipticos*: os espelhos tãobem podem ser *cylindricos* e *conicos*.

§ III

LEIS DA REFLEXÃO ESPECULAR

Sejão, *fig. 13*, *acb* uma secção d'um espelho plano, *dce* e *feg* secções de dous espelhos, um concavo, outro convexo, a ambos os quaes é tangente o plano *acb* no poncto *c*; *kc* é um raio de luz caindo sobre os espelhos, chama-se *raio incidente*; *ch* é este raio, que se reflecte no poncto *c*, chama-se *raio reflexo*; *lc* é a *normal* aos espelhos; *x* é o *angulo de incidencia*, *y* é o *angulo de reflexão*.

1.^a lei — A *normal* e os *raios incidente e reflexo* estão todos no mesmo plano. Este plano, que se denomina plano de reflexão, é perpendicular ás superficies reflectidoras.

2.^a lei — O *angulo de incidencia* e o de *reflexão* tem o mesmo valor, e estão em lados oppostos da *normal*: logo, os *raios incidente e reflexo* formão angulos eguaes com a superficie

reflectidora; e o raio, que incidir perpendicularmente, se reflectirá na mesma direcção.

Estas leis demonstrão-se experimentalmente.

1.^a Seja *caa'c'*, *fig. 14*, um semi-circulo graduado; no centro *b*, perpendicularmente ao plano do semi-circulo, está um pequeno espelho; *db* é a normal ao poncto *b*. Ora, ponha-se um pequeno corpo luminoso em *a*, que diste de *d* 50° por exemplo: o raio *ab* reflectir-se-á em *b*, e irá passar por *a'*, do outro lado de *d*, distante exactamente 50°, e parallelamente ao plano do semi-circulo. E' só d'este poncto, que se pode ver no espelho a imagem do objecto.

2.^a As leis da reflexão tãobem podem ser demonstradas por uma experiencia, que os astrónomos tem occasião de repetir muitas vezes e com instrumentos de grande precisão.

A' roda do centro *c* d'um grande circulo vertical *vv'*, *fig. 15*, move-se uma luneta *l*, com que se observão as estrellas. Primeiramente, faz-se uma observação por meio da luz directa *ed*; depois, faz-se outra observação por meio da luz *e'ir*, que é reflectida sobre a superficie tranquilla d'um vaso com mercurio; e acha-se constantemente, que o angulo *dcp* é egual ao angulo *pcol*. Ora, sendo parallelas as verticaes *pc* e *ip'*, bem como os raios *ed* e *e'i*; que vem da mesma estrella, é evidente, que os angulos *dcp* e *pcol* são respectivamente eguaes aos angulos *e'ip'* e *p'ir*, e que, por consequencia, estes são eguaes entre si; e é tãobem evidente, que o plano de incidencia *e'ip'* coincide com o de reflexão *p'ir*.

CAPITULO VIII

EXPLICAÇÃO DO PHENOMENO DA REFLEXÃO DA LUZ

§ I

EXPLICAÇÃO DA REFLEXÃO DA LUZ PELA THEORIA
DAS UNDULAÇÕES

Supporemos parallelos os raios incidentes, o que equivale a considerar um feixe com secção infinitamente pequena. Seja *sabs'*, *fig. 16*, o feixe incidente e *cb* a superficie da onda, que neste caso é plana e perpendicular ao feixe. Quando esta superficie chega a *cb*, o poncto *b* torna-se, como já sabemos, centro de undulações; e quando chega a *a*, estas undulações tem chegado á distancia *bd*, igual a *ca*. Os abalos, produzidos pelos ponctos intermedios a *a* e *b*, quando a superficie da onda chega ahi, tãobem se tem propagado a distancias proporcionaes á distancia d'elles ao poncto *a*, de sorte que um plano tangente *ad* á esphera de raio *bd*, é tãobem tangente á superficie das ondas, que partem de todos os ponctos de *ab*, e forma, por consequencia, a superficie da onda reflectida. Traçando as perpendiculares, *ar*, *br'*, a esta superficie, teremos, pois, o feixe reflectido *rabr'*. E' facil ver, que os triangulos rectangulos, *abc*, *bad*, são eguaes; e, portanto, os raios incidentes e os raios reflexos são igualmente inclinados sobre a superficie reflectidora,

d'onde se conclue a lei da egualdade dos angulos de incidencia e de reflexão.

A outra lei resulta da symmetria da figura a respeito do plano de incidencia.

§ II

EXPLICAÇÃO DA REFLEXÃO DA LUZ PELA THEORIA DAS EMANAÇÕES

Newton suppoz, que a superficie dos corpos exerce sobre uma parte das moleculas luminosas uma repulsão, que diminue rapidamente com a distancia, e torna-se nulla desde o momento, em que é apreciavel. Seja AB , *fig. 17*, a superficie reflectidora, sa um raio incidente, e mn um plano parallelo a AB , a partir do qual a repulsão principia a fazer-se sentir sobre as particulas luminosas. Podêmos decompor a velocidade da particula, que chega a a , em duas componentes, uma horizontal, outra vertical. A primeira não é modificada pela repulsão da superficie AB ; a segunda, pelo contrario, diminue cada vez mais, á medida que a particula se desvia de mn . Esta componente acaba por se tornar nulla: depois, continuando a repulsão a obrar, dá com a componente horizontal uma resultante obliqua de baixo para cima, que faz subir a particula e acaba por lhe dar a direcção br . Como a repulsão é a mesma em egual distancia de AB , as duas metades da trajectoria acb serão symmetricas em relação a

normal DN , e estarão no mesmo plano scN ; d'onde se concluem as duas leis da reflexão.

Vê-se, que a distancia Dc será tanto menor, quanto maior for a componente vertical da velocidade, isto é, quanto menor for o angulo de incidencia.

CAPITULO IX

REFLEXÃO NOS ESPELHOS PLANOS

§ I

REFLEXÃO EM UM SÓ ESPELHO

Em conformidade com as leis da reflexão, os raios de luz, parallellos, convergentes e divergentes, que incidirem sobre um espelho, serão tãobem, depois da reflexão, parallellos, convergentes e divergentes, e seos angulos de reflexão serão eguaes aos de incidencia. Isto demonstra-se pela seguinte

Experiencia. Fação-se entrar, em uma casa escura, dous raios parallellos, que incidão sobre um espelho plano: veremos estes raios reflectir-se em direcções parallelas entré si. Se os raios incidentes são convergentes, vel-os-emos, depois de reflectidos, encontrar-se diante do espelho. Se são divergentes, afastar-se-ão um do outro depois da reflexão.

Todos os raios, enviados d'um poncto, que incidem sobre um espelho plano, se reflectem

de modo que parecem partir d'um poncto situado atraz do espelho. Este poncto estará exactamente onde os raios reflexos, sendo prolongados, se encontrarião, e distará do espelho tanto, quanto dista o poncto irradiante. Este poncto designa-se pelo nome de *foco virtual* do espelho.

Sejão, *MN*, *fig. 48*, a secção vertical d'um espelho plano; *a* um poncto luminoso situado diante d'elle; *ab* e *ac* dous raios procedentes de *a*; *bd* e *ce* os raios reflexos respectivos. Prolonguem-se *db* e *ec* para o outro lado do espelho, e estas linhas irão encontrar-se em *a'*: *a'* é o foco virtual. De serem eguaes os triangulos *abm* e *a'bm*, e os triangulos *acm* e *a'cm*, segue-se, que $a'm = am$.

§ II

FORMAÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS PLANOS

Do que dissemos no § antecedente, se deprehende, que obteremos a imagem de qualquer objecto, construindo a imagem de cada um de seos ponctos, ou, pelo menos, dos que bastem para determinar sua posição e forma. A *fig. 19* mostra a construcção, que devemos fazer, para obter a imagem *a'b'* de qualquer objecto *AB*. D'esta construcção deduz-se immediatamente, que, nos espelhos planos, a imagem é da mesma grandeza do objecto; porquanto, se abatemos o trapezio *abcd* sobre o

trapezio dca/b' , vemos, facilmente, que os dous trapezios coincidem, e que o objecto ab se confunde com sua imagem.

D'esta construcção se collige tãohem, que nos espelhos planos, a imagem e o objecto são symmetricos, dando ao vocabulo *symmetria* o mesmo sentido, que se lhe dá em geometria, onde se diz, que dous pontos são symmetricos em relação a um plano, quando estão situados sobre a mesma perpendicular a este plano e a igual distancia d'elle; condições, a que satisfazem, successivamente, todos os pontos do objecto ab e de sua imagem na *fig. 20*.

A *symmetria* dos objectos e das imagens dá a explicação de como uma espada, por exemplo, que se traz do lado esquerdo, se vê do lado direito no espelho; como as árvores parecem invertidas, quando se veem pela reflexão na agua tranquilla; e tãohem explica muitos effeitos opticos pertencentes á physica recreativa.

Se nos aproximâmos ou apartâmos do espelho, a imagem se aproxima ou se aparta igualmente. Se nos achâmos a dous metros de distancia do espelho, estamos a quatro metros da nossa imagem: se caminhâmos para o espelho, a imagem aproxima-se d'elle igualmente: logo, o movimento é duplo.

Quando um espelho se inclina para diante 45° , um objecto vertical produz na parte posterior uma imagem horizontal, *fig. 21*, porque o ponto a deve representar-se atraz do espelho

na distancia $ac' = ac$. O mesmo acontece ao ponto b e a todos os outros pontos do corpo. Se, ao contrário, o objecto é horizontal, a imagem será vertical, *fig. 22*.

Para que um homem, situado diante d'um espelho vertical, possa ver sua imagem inteira, é mister, que o espelho tenha ao menos metade de sua altura. Com effeito, um olho, collocado em a , *fig. 23*, vê no espelho a imagem $a'b'$ debaixo do angulo $a'ab'$. Ora, os dous raios interceptão sobre o espelho a superficie cd , metade de CD , e tãobem metade de ab , porque $aC = Ca'$. Se o espelho está inclinado para diante por sua parte superior, não precisa de ser tão grande como no caso, em que é vertical: sabemos, com effeito, que podêmos ver nossa imagem inteira em um espelho muito mais baixo do que nós, quando nos inclinãmos mais ou menos para diante; mas então a imagem parece ser mais ou menos obliqua, como o espelho.

§ III

HELIOSTATO

A construcção do heliostato (*hélíos* sol) funda-se na lei da reflexão nos espelhos planos, e tem por fim dar á luz solar uma direcção fixa; o que o torna muito util para grande numero de experiencias sobre a luz. E' sabido, que o sol descreve cada dia, relativamente á terra sup-

posta fixa, uma circumferencia, cujo centro está no eixo do mundo, e que varia de posição, à medida que o sol percorre a ecliptica: esta circumferencia não corresponde ao equador senão nos dias dos equinoccios. Por meio do heliostato, faz-se mover um espelho, de maneira que, apesar do movimento diurno apparente do sol, os raios d'este astro, que incidem sobre o espelho, reflectem-se, constantemente, na mesma direcção, o que se consegue por meio d'um machinismo de relógio.

Fahrenheit foi o primeiro, que achou a solução prática d'este problema. O seu heliostato consistia em um relógio disposto de maneira, que o seu plano era paralelo ao plano do equador, e o plano meridiano do ponteiro coincidia com o plano meridiano do lugar. O eixo do relógio fazia mover um espelho, de modo que o raio solar era sempre reflectido na direcção do eixo do mundo. Este raio reflexo era recebido em um segundo espelho fixo, que se inclinava de sorte que segunda vez reflectia o raio na direcção desejada.

O heliostato de Fahrenheit tinha o inconveniente de exigir duas reflexões, as quaes enfraquecião consideravelmente a luz. Sgravesande imaginou, logo depois de Fahrenheit, uma nova construcção, que não admittia senão um espelho; e o seu heliostato foi, successivamente, aperfeiçoado por Malus e por Gambey. Depois, Silbermann modificou ingenuosamente este instrumento, que, d'est'arte, satisfaz perfeitamente aos

usos ordinarios da optica, é de facil orientação e preço commodo.

§ IV

GONIOMETRO DE CHARLES

As leis da reflexão applicão-se á medição dos angulos diedros dos corpos polidos, e particularmente dos crystaes. Os apparatus, destinados a esta medição, chamão-se *goniometros* (*góny* angulo). Descreveremos sómente o de Charles.

Este instrumento consta d'um circulo de cobre, de cujo centro parte uma alidade movel. Ao lado está uma luneta horizontal fixa, que tem no foco um fio vertical. Para medir os angulos d'um crystal, fixa-se este com cera á alidade no centro do circulo; dirige-se a luneta para o crystal; e, olhando, pela reflexão, successivamente, sobre cada uma das duas faces do crystal, para a imagem d'uma linha vertical, certificámo-nos de que a linha de intersecção das duas faces é vertical. Então, dispomos a alidade, demo-do que a imagem se represente por detraz do fio, e fazemol-a gyrar, até que a imagem, formada sobre a outra face, coincida igualmente com o fio. O angulo, descripto pela alidade, é então o supplemento do angulo das duas faces do crystal.

Com effeito, seja *o*, *fig. 24*, o centro de rotação, *om* e *on* duas perpendiculares, abaixadas de *o* sobre as duas faces do prisma, para que

a face *AC* se torne paralela a *AB*, a linha *on* deve tomar a posição de *om*, e por consequencia o crystal deve descrever o angulo *nom*, supplemento do angulo *A*.

§ V

MULTIPLICIDADE DAS IMAGENS, PRODUZIDAS PELOS ESPELHOS DE VIDRO

Todos podem observar, pondo uma vela accesa diante d'um espelho de vidro, que se forma um numero mais ou menos consideravel de imagens, situadas umas por detraz das outras: a saber, uma imagem adiante, outra atraz, que é muito mais intensa, e outras muitas atraz d'esta, que vão successivamente diminuiado de intensidade. O numero d'estas ultimas imagens é tanto maior, quanto mais perto do espelho e mais longe do corpo luminoso está o observador.

Este effeito, que surprehende, quando se observa pela primeira vez, é muito facil de explicar. O espelho de vidro tem duas superficies, sendo a posterior coberta com um amalgame de estanho. Ora, quando os raios luminosos chegam á primeira superficie, ha uma primeira reflexão: é a que produz a primeira imagem. A outra parte dos raios luminosos penetra no vidro, reflecte-se na superficie do metal, e volta para o olho: é a que produz a segunda imagem, que é mais intensa do que a primeira, por-

que a superficie metallica reflecte mais completamente os raios luminosos do que a superficie do vidro.

Quanto ás outras imagens, provêm dos raios luminosos, que, penetrando no vidro, se reflectem na segunda superficie, e, reconduzidos á primeira, aqui soffrem ainda uma reflexão parcial, que traz uma parte d'elles para o interior, d'onde voltão á primeira superficie, etc., etc., de maneira que, depois d'uma serie de reflexões mais ou menos consideraveis, ha raios, que, tornando a passar para o ar, vem penetrar no olho do observador, dando logar a imagens, tanto mais fracas, quanto mais consideravel é o numero das reflexões realizadas na espessura do vidro; pois em cada reflexão se perde parte da luz.

Esta multiplicidade de imagens, que nenhum inconveniente apresenta para o uso ordinario, que fazemos dos espelhos, seria muito prejudicial nos instrumentos opticos; porque as imagens secundarias desfigurarião a imagem principal, confundindo-se mais ou menos com ella. E' por isso, que nestes instrumentos se empregão espelhos de metal, que nunca produzem senão uma só imagem.

§ VI

MULTIPLICIDADE DAS IMAGENS

ENTRE DOUS ESPELHOS

INCLINADOS OU PARALLELOS ENTRE SI

A imagem d'um objecto, que se representa por detraz d'um espelho, pode tãobem servir de objecto, e reflectir-se na superficie d'outro espelho. Se dous espelhos planos fazem entre si qualquer angulo, *fig. 25*, o olho, collocado neste angulo, verá tantas vezes a imagem do objecto F , quantas perpendiculares se podêrem abaixar d'este objecto e de cada uma de suas imagens sobre cada espelho no interior do angulo. Com effeito, o olho, estando em o , recebe a imagem do ponto F pelo raio quebrado Fao e julga esta imagem em F' ; recebe outra imagem pelo raio duplamente quebrado $Fbco$: mas devendo o angulo de reflexão Bbc ser igual ao angulo de incidencia FbN , e sendo este igual a NbF' , temos $Bbc = NbF'$; logo, $F'bc$ é um linha recta; logo, a imagem F' faz as vezes do objecto F , e o olho vê uma segunda imagem em F'' sobre a perpendicular $F'F''$, tirada de F' sobre o segundo espelho.

A imagem F'' poderia por sua vez servir de objecto, e para determinar a posição da terceira imagem, seria preciso tirar do ponto F'' uma perpendicular sobre BA ; mas no caso da *fig. 25*, esta perpendicular é imaginaria. Neste caso

o observador pode também ver outra imagem do ponto *F* em *f*.

Devemos advertir, que o raio, que traz ao olho a primeira imagem, soffre uma só reflexão; que o que traz a segunda, soffre duas reflexões; o que trouxesse a terceira, soffreria tres, etc. Quanto mais agudo é o angulo dos dous espelhos, maior é o numero de imagens visiveis; mas estas imagens diminuem, successivamente, de intensidade, porque ha muita luz perdida em cada reflexão. Se os dous espelhos são parallellos, vê-se uma infinidade de imagens, que vão, continuamente, enfraquecendo-se, até que, finalmente, deixão de ser sensiveis. Podêmos observar este effeito em uma sala guarnecida de dous espelhos parallellos, entre os quaes esteja suspenso um lustre. Se as duas paredes oppostas da sala estão guarnecidas de espelhos em toda a sua extensão, julgâmo-nos no meio d'uma comprida galeria, alumada por lustres, collocados em certa distancia uns dos outros. Todos os outros objectos da sala se repetem, egualmente, nesta galeria illusoria. Podêmos, por este meio, produzir effeitos muito agradaveis.

§ VII

PERSPECTIVA MAGICA

Os phenomenos, produzidos pelas várias espécies de perspectiva magica, são devidos ás combinações de diversos espelhos parallellos, fazen-

do angulos de 45° com os raios luminosos, que incidem sobre elles.

A *fig. 26* é uma secção d'uma perspectiva magica, por meio da qual se podem ver os objectos, apezar do obstaculo interposto a elles e ao observador.

abcd é um tubo, pelo qual olha o observador: está cortado em *bc*, e no intervallo, que fica, se põe qualquer cousa, que obste á passagem da luz, que entra por um lado do tubo. Apezar d'isso, o observador, situado em *A*, vê distintamente qualquer objecto posto em *P*.

A construcção do apparelho é muito simples: o tubo *abcd* communica em *k* e *l* com outro tubo *kghl*, curvado em angulo recto. e nos pontos, *k*, *g*, *h*, *l*, se collocão espelhos, que fazem angulos de 45° com as paredes dos tubos. A linha *PlhgkA* representa o caminho, que a luz segue, partindo do corpo luminoso *P*, até chegar ao olho do observador *A*, que assim vê o objecto no espelho *k*, na direcção de *Ak* ou *AP*.

§ VIII

CALEIDOSCOPIO

O caleidoscopio (*kalos* bello, *eidós* imagem, *skopein* olhar) foi inventado por D. Brewster. Sua construcção funda-se na propriedade, que tem os espelhos inclinados, de produzir muitas imagens. Consta d'um tubo circular, que encerra dous espelhos inclinados, reunidos sobre uma

aresta do tubo: em uma das extremidades, o tubo é fechado por uma placa atravessada por um pequeno orificio, pelo qual se olha; na outra extremidade, por dous vidros planos, um dos quaes é despolido, e entre elles se põem diversos objectos de pequenas dimensões, como boccadinhos de vidros corados, boccadinhos de renda, etc. Olhando para dentro do tubo, vê-se uma figura symmetrica, a qual, fazendo-se gyrrar o cylindro em roda de seo eixo, varia por causa do deslocamento dos objectos, encerrados entre os dous vidros.

O caleidoscopio é empregado nas artes, para obter desenhos muito variados e sempre symmetricos.

§ IX

SEXTANTE

Este instrumento, *fig. 27*, serve para medir o angulo formado por duas linhas, que partem de dous objectos para a estação do observador. Tem dous espelhos; um espelho fixo, *ab*, e um espelho, *cd*, movel á roda de *B*, o qual, quando está na posição *oB*, é paralelo ao espelho *ab*. Entre *bD* e *Bo*, prolongamentos dos espelhos, tira-se o arco de circulo, *oC*, descripto do poncto *B* como centro. Este arco tem 60° , ou a sexta parte d'um circulo; pelo que se dá ao instrumento o nome de *sextante*. O índice *BZ* percôrre o arco graduado *oC*, ao mesmo tempo que o espelho *cd* gyrra á roda de *B*, e mostra

o numero de graus, contido no angulo oBZ , isto é, a grandeza do angulo gerado pelo afastamento de cd de sua posição primitiva.

Supponhamos agora os planos dos espelhos, prolongados até á sua intersecção D . Por serem parallelas as linhas DC e Bo , o angulo t , que marca o grau de inclinação dos espelhos, é egual a γ : logo, podêmos usar egualmente de γ para marcar a dicta inclinação.

Se da estação A queremos medir o angulo, que dous objectos, g e f , fazem com A , isto é, determinar a grandeza do angulo w , faremos gyrrar o espelho cd por meio do indice BZ , até o levarmos a tal posição, que vejamos na mesma direcção oC , tanto o objecto f como o objecto g ; a imagem de g vai na direcção da linha $gBCo$. Então, nos triangulos CDB e CBA , temos

$$t = \beta - \alpha'$$

$$w = (\beta + x) - (\alpha' + \gamma)$$

Pelas leis da reflexão é

$$\alpha' = \alpha \quad \text{e} \quad \beta = \beta';$$

mas $\alpha = \gamma$ e $\beta' = x$;

logo $\alpha' = \gamma$ e $\beta = x$;

logo $w = 2\beta - 2\alpha'$,

e como $t = \beta - \alpha'$,
 será $w = 2t = 2ZBo$

Assim, o angulo ZBo é metade do angulo w , que se procura. Para ter, immediatamente, o angulo w , divide-se o arco do sextante em 120 partes, cada uma das quaes exprime um grau do angulo w .

§ X

INTENSIDADE DA LUZ REFLECTIDA

Reconheceu-se pela experiencia, que a quantidade de luz, regularmente reflectida sobre o mesmo corpo e com a mesma inclinação, augmenta com o grau de polido de sua superficie; que os corpos, com o mesmo grau de polido e recebendo a luz com a mesma inclinação, reflectem deseguaes quantidades d'ella; e que, para o mesmo corpo, a quantidade de raios, regularmente reflectidos, vai crescendo, á medida que os raios incidentes se aproximão da superficie reflectidora. Pondo o olho muito perto da superficie d'uma placa de vidro despolido, de maneira que receba raios reflectidos com mui grande incidencia, vemos imagens tão distinctas, como se o vidro fosse polido.

Bouguer emprebendeu muitas experiencias com o fim de comparar a intensidade da luz reflectida com a da luz incidente. O aparelho, de que serviu, constava, *fig 28*, d'uma super-

fície plana reflectidora M ; de duas pequenas placas, S , S' , da mesma grandeza e da mesma substancia, parallelas a esta superficie, egualmente distantes do plano do espelho, de modo que seos centros estejam situados na mesma perpendicular SS' a este plano; d'uma vela, collocada em certo ponto L da recta SS' , que alumia as duas placas; e d'um anteparo, convenientemente disposto, que não permite, que nenhum raio directo da vela se dirija ao espelho e ao olho do observador.

A experiencia consiste em determinar a posição L do corpo luminoso, de maneira que o observador, situado em O , ao mesmo tempo divisando, na mesma distancia e uma por cima da outra, a placa S' e a imagem reflectida de S , as veja ambas com a mesma intensidade. E evidente, que a intensidade da luz transmittida está para a da luz reflectida, como as intensidades luminosas das placas S e S' , isto é, na razão inversa dos quadrados das distancias da vela a estas placas.

CAPITULO X

REFLEXÃO NOS ESPELHOS ESFERICOS

§ I

ESPELHOS CONCAVOS E CONVEXOS

Espeelhos esphericos são segmentos de esphera: tem o nome de *espeelhos concavos*, se a reflexão se faz em sua concavidade, e o de *espeelhos convexos*, se a reflexão se faz em sua convexidade.

Nos espeelhos esphericos *figs. 29 e 30*, o ponto *c*, centro da esphera, de que o espeelho é segmento, denomina-se *centro geometrico* ou *centro de curvatura*: o ponto *v* da superficie do espeelho, equidistante de todos os pontos da circumferencia, chama-se *centro optico*, *centro de figura* ou *vertice* do espeelho: a recta indefinida *vc*, que passa pelo centro geometrico e pelo centro optico, é o eixo principal: qualquer recta, que passe por *c*, sem passar por *v*, é um eixo secundario: qualquer raio, que parta d'um ponto luminoso *r*, e passe pelo centro de curvatura, como *rsc* e *rsc*, denomina-se *raio principal*: sendo o espeelho cortado por um plano, que passe pelo eixo principal, resulta uma secção, chamada *secção principal* ou *secção meridiana*.

A theoria da reflexão da luz sobre os espeelhos esphericos se deduz, com muita simplicidade.

dade, das leis da reflexão sobre os espelhos planos, considerando a superfície dos primeiros como formada de elementos planos infinitamente pequenos. A normal á superfície esphérica, em um poncto dado, é então a perpendicular ao elemento correspondente, ou, o que é o mesmo, ao plano tangente, que o contém. Sendo rs normal ás superfícies esphéricas em s , o raio incidente qs se reflectirá segundo sf , sendo $y = x$.

§ II

FOCOS DOS ESPELHOS CONCAVOS

Foco principal. Todos os raios luminosos, como rs , *fig. 31*, parallellos ao eixo principal, e proximos d'este eixo, caindo sobre um espelho concavo, vão, depois de reflectidos, cortar aquelle eixo sensivelmente em um poncto, f , situado entre o centro optico e o centro geometrico. Este poncto f tem o nome de *foco principal*, e a distancia fv o de *distancia focal principal*, que é sensivelmente igual á metade do raio da esphera, de que o espelho é segmento.

Demonstração. O triangulo sfc é isosceles, porque os angulos fsc e fcv são eguaes, por serem ambos eguaes ao rsc , o primeiro pela lei da reflexão, o segundo por ser alterno interno: logo os lados fs e fc são eguaes. Por outro lado, sendo o arco vs de poucos graus, sf é sensivelmente igual a vf . Portanto, não excedendo o arco vs 8° ou 10° , os raios luminosos, paral-

lelos ao eixo principal, vão, depois da reflexão, passar muito perto do poncto medio do raio *vc*.

Reciprocamente, os raios, que partem d'um poncto luminoso, situado no foco d'um espelho concavo, tomarão, depois de reflectidos, direcções parallelas entre si e ao eixo.

Foco conjugado. Os raios luminosos, que partem d'um poncto *r*, *fig. 32*, situado sobre o eixo principal, alem do centro de curvatura, convergem, depois de reflectidos, para um poncto *t* do dicto eixo, situado entre o foco principal *f* e o centro de curvatura *c*. O poncto *t* appella-se *foco conjugado*, para indicar a reciprocidade, que existe entre elle e o poncto *r*; isto é, se o poncto luminoso *r* é transportado para *t*, seo foco conjugado será *r*, sendo então *ts* o raio incidente e *sr* o raio reflectido.

Se o poncto luminoso está no centro de curvatura, os raios, que partem d'este poncto, que são os chamados raios principaes, caem perpendicularmente sobre a superficie do espelho, e por consequencia voltão, depois da reflexão, ao mesmo poncto de partida.

Foco virtual. Os raios, que partem d'um poncto *r*, *fig. 33*, situado entre o espelho e o foco principal, divergem depois de reflectidos, e, por consequencia, não formão foco conjugado; mas se os concebemos prolongados para o outro lado do espelho, seos prolongamentos vão sensivelmente concorrer em um mesmo poncto, situado sobre o eixo. Este poncto é appellado *foco virtual*.

§ III

FORMAÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS CONCAVOS

A reflexão dos raios de luz nos espelhos concavos dá lugar aos phenomenos seguintes:

1.º A imagem d'um objecto muito remoto, do sol, por exemplo, ver-se-á no foco principal do espelho, e com dimensões extremamente pequenas.

2.º Um objecto, mais distante do espelho do que o centro de curvatura, produz uma imagem, entre este centro e o foco principal, mais pequena do que o objecto e invertida, *fig. 34.*

Para obter a imagem ou o foco do poncto *N*, havemos de traçar o eixo secundario *Np* d'este poncto: depois traçamos qualquer raio incidente *No*, e construimos o angulo de reflexão *con*, igual ao angulo de incidencia *coN*. O poncto *n*, em que o raio reflexo e o eixo secundario se encontram, é o foco conjugado do poncto *N*; porque qualquer outro raio, que partisse d'este poncto, viria tãobem ter a *n*. Do mesmo modo, se traçamos o eixo secundario *Ss* do poncto *S*, os raios, que partirem d'este poncto, concorrão em *s*, e formarão aqui o foco conjugado de *S*. Vindo, assim, as imagens de todos os pontos do objeto *NS* formar-se entre *s* e *n*, segue-se, que *sn* é a imagem de *NS*.

3.º Se o objecto está a uma distancia igual ao comprimento dos raios do espelho, como *NS*, *fig. 35*, a imagem *ns* ver-se-á a igual

distancia do espelho, com as mesmas dimensões do objecto, mas invertida.

4.º Se o objecto está entre o foco e o centro de curvatura, como *ns*, *fig. 34*, sua imagem ver-se-á alem do centro geometrico, maior do que o objecto e invertida.

Estas quatro variedades de imagens invertidas, geradas pela reflexão dos raios luminosos nos espelhos concavos, chamão-se *imagens reaes*, e são ás vezes appellidadas *espectros physicos*. Mostrão-se, experimentalmente, a existencia, e posição d'estes espectros, apresentando a um espelho concavo uma luz situada nas distancias acima indicadas. O espectro será recebido sobre um alvo, o qual deverá ser collocado na distancia acima prescripta.

Faz-se applicação d'estes espectros em diferentes instrumentos opticos, por exemplo, nos telescopios reflectidores.

Se um corpo luminoso, por exemplo, a chamma d'um candieiro de Argant, ou um carvão em brasa, se põe no foco principal d'um espelho concavo, nenhuma imagem se produzirá; mas toda a superficie do espelho apparecerá illuminada, porque o espelho reflecte em linhas parallelas todos os raios luminosos, que sobre elle caem.

Este facto tem applicação practica nos *reflectidores* dos microscopios, lanternas magicas e pharoes, a favor dos quaes a luz se augmenta e transmite na direccão, que se deseja.

Um objecto *NS*, *fig. 36*, collocado entre o

espelho e o foco principal, apresentará uma imagem virtual por detraz do espelho. Os raios incidentes AD, AK , tomando, depois da reflexão, as direcções DI e HK , vão, prolongados, formar em a uma imagem virtual do ponto A . Do mesmo modo, a imagem de S se forma em s ; e assim vemos em ns a imagem de NS . Esta imagem virtual é recta e maior do que o objecto.

Acabámos de ver, que, conforme a distancia do objecto, os espelhos concavos dão lugar a duas especies de imagens ou a nenhuma; o que podêmos verificar, collocando-nos diante do espelho. A certa distancia, vemos a nossa propria imagem, invertida e mais pequena; é a imagem real: aproximando-nos do espelho, a imagem faz-se confusa, e desaparece collocando-nos no foco: aproximando-nos ainda mais, a imagem torna a apparecer, recta e maior; é a imagem virtual.

§ IV

FOCOS DOS ESPELHOS CONVEXOS

Nos espelhos convexos, o foco f' , *fig. 37*, está situado por detraz da superficie reflectidora, e denomina-se *foco virtual*. Todos os raios parallellos ao eixo, como, as, po , tomão, depois da reflexão, as direcções divergentes, sb, oq , como se partissem de f' .

Se os raios luminosos, ls, lo , são divergentes, tomão, depois de reflectidos, as direcções

st, or, ainda mais divergentes do que no caso precedente, como se tivessem partido d'um poncto, situado entre o foco virtual e o espelho.

§ V

FORMAÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS CONVEXOS

A posição da imagem de qualquer poncto irradiante, e, conseguintemente, a imagem inteira d'um objecto, determina-se, como no caso dos espelhos concavos, *fig. 38*.

A reflexão dos raios luminosos nos espelhos convexos dá lugar aos phenomenos seguintes:

1.º As imagens dos objectos são sempre virtuaes.

2.º São representadas em sua posição natural.

3.º São mais pequenas do que os objectos; e tanto menores, quanto mais distantes do espelho estão os objectos, e quanto menor é o raio do espelho. Se o objecto está muito remoto, sua imagem representa-se no foco virtual.

§ VI

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO FOCO PRINCIPAL DOS ESPELHOS ESPHERICOS

Nas applicações dos espelhos esphericos é muitas vezes preciso, conhecer o raio de curvatura. Esta indagação reduz-se a determinar o

foco principal; porque, estando este foco situado no meio do raio, basta, para ter este, dobrar a distancia focal.

Para achar o foco, sendo concavo o espelho, apresentámos este aos raios solares, de maneira que o eixo principal lhes seja paralelo: depois procurámos, com um pequeno alvo de vidro despolido, o lugar, em que a imagem offerece mais intensidade. Este lugar é o foco principal. Medindo a distancia d'este ponto ao espelho, e dobrando-a, temos o raio do espelho.

Se o espelho é convexo, cobrimol-o com papel, reservando no mesmo plano meridiano e a igual distancia do centro de figura *A*, *fig.* 38, duas pequenas aberturas circulares *H* e *I*, em que o espelho fica descoberto. Collocámos, depois, diante do espelho, um anteparo *MN*, tendo no centro uma abertura circular maior que a distancia *HI*. Sendo então recebido sobre o espelho um feixe de raios solares *SH* e *S'I*, paralelos ao eixo, a luz se reflecte em *H* e *I*, onde o espelho está descoberto, e vai formar sobre o anteparo duas imagens brilhantes *h* e *i*. Afastando ou aproximando do espelho o anteparo *MN*, achámos uma posição, em que o intervallo *hi* é o dobro de *HI*. A distancia *AD* do anteparo ao espelho representa então a distancia focal principal. Com effeito, sendo semelhantes os triangulos *FHI* e *Fhi*, temos

$$\frac{HI}{hi} = \frac{FA}{FD};$$

mas HI é metade de hi , logo FA é também igual a metade de FD . Por consequencia, AD é igual a AF : por outro lado, AF é a distancia focal principal, visto que os raios SH e SI são paralelos ao eixo. Logo, o dobro de AD representa o raio de curvatura do espelho.

§ VII

REGRA GERAL PARA A CONSTRUÇÃO DAS IMAGENS NOS ESPELHOS ESFÉRICOS

As diversas construcções, acima executadas para o traçado das imagens nos espelhos esféricos, podem resumir-se na regra seguinte:

Para construir a imagem d'um ponto, 1.^o trace-se o eixo secundario d'este ponto: 2.^o do ponto dado ao espelho tire-se qualquer raio incidente: 3.^o juncte-se o ponto de incidencia ao centro do espelho por uma recta, que representa a normal, e ao mesmo tempo faz conhecer o angulo de incidencia: 4.^o tire-se do ponto de incidencia, do outro lado da normal, uma recta, que faça com ella um angulo igual ao angulo de incidencia. Esta última recta, que representa o raio reflectido, sendo prolongada até encontrar o eixo secundario, dá, para logar da imagem, o ponto, em que ella corta este eixo.

Applicando a mesma construcção a cada poncto do objecto, teremos sempre sua imagem, a qual será real ou virtual, conforme são os proprios raios reflectidos, que cortão o eixo secundario diante do espelho, ou são os seus prolongamentos, que o cortão por detraz do espelho.

(1) § VIII = $\frac{2}{1}$

FORMULAS CONCERNENTES AOS ESPELHOS ESFERICOS

Seja *FE*, *fig 36*, uma secção principal d'um espelho concavo; *V* seo vertice; *C* o centro do circulo; *CV*, *CE*, *CF* = *r*, raios do espelho; *R*, qualquer poncto irradiante situado sobre o eixo; *RV* = *a*, sua distancia ao vertice; *RE* um raio incidente; *ED* o raio reflexo; *VD* = *a* a distancia focal.

Por ser

$$x = y,$$

teremos

$$ED : ER :: CD : CR;$$

e se o angulo *VRE* é muito pequeno, será proximamente

$$RE = RV = a,$$

e

$$ED = VD = a;$$

$$VD : VR :: CD : CR$$

ou $VD : VR :: VC - VD : VR - VC$

ou $a : a :: r - a : a - r$;

$$aa - ar = ar - aa$$

$$2aa = ar + ar$$

$$\therefore \frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} \dots \dots (1)$$

Se $a = \infty$, isto é, se o ponto irradiante está numa distancia infinita; por outros termos, se os raios luminosos são parallelos, teremos

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{a}$$

ou $\frac{r}{2} = a = f,$

o que quer dizer, que o foco é no meio do raio; e portanto a equação (1) torna-se em

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} \dots \dots (2)$$

Se o ponto luminoso N está fora do eixo principal, podêmos determinar sua posição, conhecendo a abscissa $VS = a$ e a ordenada $NS = b$. Seja tãobem $Vs = a$ e $sn = \beta$.

Se os raios, que partem de N , fizerem angu-

los muito pequenos com o eixo principal, seo foco n será dado pelas equações seguintes :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} \dots \dots (3)$$

$$\beta = \frac{a}{a} \cdot b \dots \dots (4)$$

Demonstração. Prolongue-se o raio EN até encontrar o eixo em R ; então VD é a distancia focal do ponto R , e pela equação (2) temos

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} = \frac{1}{VR} + \frac{1}{VD} \dots \dots (5)$$

Ora, se o arco EV é tão pequeno, que o podemos considerar como uma linha recta, os triangulos VED e Dsn são semelhantes, e teremos

$$VE : VD :: sn : sD$$

ou $VE : VD :: \beta : a - VD;$

$$\dots VE \cdot a - VE \cdot VD = \beta \cdot VD$$

$$\dots VD = \frac{a \cdot VE}{\beta + VE}$$

los millo pñeres con p eixo principal, seo
foco a ser pñeres seguntes

Demais, sendo semelhantes os triangulos *VER* e *SNR*, teremos

$$(4) \quad VE : VR :: SN : SR,$$

ou $VE : VR :: b : VR - a;$

... $VE \cdot VR - VE \cdot a = b \cdot VR;$

$$\dots VR = \frac{a \cdot VE}{VE - b}$$

ou $\frac{1}{VR} = \frac{1}{a} - \frac{b}{a \cdot VE}$

Substituindo estes valores na equação (5), teremos

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{b}{a \cdot VE} + \frac{\beta}{a \cdot VE} + \frac{1}{a}$$

$$= \frac{1}{a} + \frac{1}{a} + \frac{1}{VE} \left(\frac{\beta}{a} - \frac{b}{a} \right) \dots \dots (6)$$

E como os triangulos *VSN* e *Vsn* são semelhantes, teremos

Continuando a discussão dos raios que são

ou $\beta : a :: b : a$

$$\therefore \beta = \frac{a}{a} \cdot b,$$

que é a equação (4). D'esta equação tira-se

$$\frac{\beta}{a} - \frac{b}{a} = 0,$$

que reduz a equação (6) a

$$0 = \frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a},$$

que é a equação (3).

Por consequencia, todos os raios, que partem do ponto N , situado fóra do eixo principal, caindo sobre o espelho, se reflectem de modo que vão encontrar-se em n , e formão um cone de luz, cujo vertice está no raio principal.

Do que acima dissemos, se segue, que se SN é qualquer objecto, sn deve ser sua imagem, cuja grandeza linear se determina pela equação (4), que é

$$\beta = \frac{a}{a} \cdot b.$$

Continuando a discutir as formulas dos espelhos, que são

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

ou

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

e

$$\beta = \frac{a'}{a} \cdot b,$$

teremos:

1.º Quando o objecto se acha a uma distancia infinita, isto é, quando

$$a = \infty \text{ ou } \frac{1}{a} = 0,$$

teremos

$$a' = f,$$

quer dizer, a imagem será um mero poncto situado no foco.

2.º Quando a decresce, a' cresce; isto é, quanto mais perto do centro de curvatura está o objecto, mais recua a imagem, e maior ella é; de maneira que, sendo $a = r$, será também $a' = r$: logo, na distancia do centro de curvatura a imagem será igual ao objecto.

3.º Aproximando mais do foco o objecto, sua imagem afastar-se-á constantemente do centro de curvatura, e se fará cada vez maior. Se

teremos $a = f$

$$\frac{1}{a} = 0$$

$$\therefore a = \infty;$$

quer dizer, a imagem d'um objecto situado, no foco, estará a uma distancia infinita do espelho, ou antes nenhuma imagem se formará, por serem parallelos os raios reflectidos.

4.º No caso dos espelhos convexos, r é negativo, e teremos

$$-\frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

5.º Quando $a = \infty$, será

$$a = f$$

6.º Se a diminue, a deve diminuir também: assim, quando $a = r$, será

$$a = -\frac{r}{3}$$

7.º Quando $a=0$, é $a=0$; isto é, o objecto e sua imagem estarão ambos sobre o espelho.

§ IX

ABERRAÇÃO DE ESPHERICIDADE, CATACAUSTICA

Na theoria, que expozemos relativamente aos focos e imagens nos espelhos esphericos, advertimos, que os raios reflexos não vem sensivelmente concorrer, em um ponto unico, senão quando a abertura do espelho não excedê a 10° ou 12° . Para uma abertura maior, os raios, reflectidos perto das margens, vão encontrar o eixo mais perto do espelho do que os que se reflectem em pequena distancia do centro de curvatura. D'aqui procede uma falta de nitidez nas imagens, que se designa pelo nome de aberração de esphericidade pela reflexão.

É só no caso, em que a abertura do espelho é inferior a 12° , que os raios reflexos formão um feixe sensivelmente conico, propriedade, que basta para explicar os phenomenos produzidos pelos instrumentos de optica, formados de espelhos. Todavia, não é inutil, determinar a posição exacta dos differentes pontos, em que se cruzão os raios reflexos. Malus, physico francez, foi o primeiro, que estudou esta questão d'um modo geral, partindo das leis conhecidas da reflexão e servindo-se do calculo infinitesimal.

Seja *MN*, *fig. 39* um espelho esphérico, *O*

seo centro: supponhamos, que os raios partem d'um ponto, situado no infinito, isto é, que são paralelos. Cortando o espelho por planos meridianos paralelos aos raios, e em cada um d'elles traçando raios incidentes muito vizinhos assim como os raios reflexos correspondentes, estes ultimos se cortarão a dous e dous; e, suppondo-os consecutivos, a serie dos pontos de intersecção formará uma curva XFY , á qual todos os raios reflexos serão tangentes. De ser esta curva a mesma em todos os planos meridianos, resulta, que os raios reflexos consecutivos se cortão a dous e dous sobre uma superficie de revolução em torno do raio da esphera paralelo á direcção dos raios luminosos, e cuja geratriz é XFY : esta superficie chama-se *caustica*. Cada ponto da caustica, recebendo pelo menos dous raios luminosos, é mais brilhante do que o espaço ambiente. Passando por um ponto do eixo todos os raios, reflectidos sobre os diferentes pontos de qualquer circulo, situado em um plano perpendicular ao eixo, uma parte d'esta linha será tãobem mais luminosa do que os outros pontos do espaço; mas a luz será, principalmente, accumulada no vertice da caustica, que se acha na parte brilhante do eixo. O vertice da caustica tem o nome de *foco*. Diz-se, ordinariamente, que o foco é o ponto, por onde passam todos os raios reflexos; mas esta definição não é exacta, porquanto são somente os raios, reflectidos sobre os pontos do espelho, que são infinitamente vizinhos do eixo, que

passão realmente pelo foco; mas quando o espelho não tem senão uma pequena extensão relativamente à esfera, a que pertence, podemos admittir, sem erro sensivel, que o foco é o ponto de concentração de todos os raios reflexos.

Experiencia. Façam-se quatro ou seis orificios, *a*, *fig.* 40 de duas linhas de diametro em uma lamina de metal, que se ajuste em uma grande abertura d'uma porta d'uma casa escura: exactamente no meio, pratique-se outro orificio *c* do mesmo diametro; e haverá mais dous orificios *g*: estes orificios devem abrir-se e fechar-se à vontade. Os raios de luz, que passam através d'estes orificios, serão parallellos. Ponha-se agora um espelho concavo, de maneira que o raio, transmittido através de *c*, caia sobre o vertice do espelho, ficando-lhe perpendicular: depois abram-se successivamente os orificios *a*, e cada um dos raios, que passam através d'elles, se reflectirá, de modo que corta o eixo do espelho no foco principal: com effeito, os raios formarão uma especie de pyramide, cuja base está no espelho, e cujo vertice está no seo foco. Finalmente, faça-se entrar a luz pelos orificios *g*, que estão mais distantes do eixo; e achar-se-á, que os raios luminosos, ferindo o espelho mais perto de seos bordos, cortarão o eixo entre o foco e a superficie do espelho.

§ X

ESPELHOS CYLINDRICOS E CONICOS

Os espelhos cylindricos e conicos, na direcção de seos eixos, obrão, sobre os raios luminosos, como os espelhos planos; e, na direcção perpendicular aos eixos, obrão, como os espelhos esphericos. As imagens dos objectos, fornecidas por aquelles espelhos, situados verticalmente, são da mesma altura dos objectos; mas sua largura será augmentada ou diminuida, segundo for polida a superficie convexa ou a superficie concava. Estas circumstancias se invertem, se pomos o espelho horizontalmente.

Um espelho conico differe d'um espelho cylindrico, em que a superficie d'aquelle, na direcção perpendicular ao eixo, é formada d'uma infinidade de espelhos esphericos de grandeza gradualmente decrescente para a parte do vertice; entretanto que neste, os planos horizontaes, que cortão o eixo, são circulos eguaes. Os objectos, vistos por um espelho conico, situado verticalmente, apresentam sua altura natural, mas a largura d'elles vai gradualmente diminuindo para a parte do vertice.

Em geral, quando um objecto está collocado diante d'um espelho não espherico, o olho, que recebe os raios reflectidos, divisa uma imagem, cuja configuração pode ser muito differente da do objecto, mas que podêmos deduzir, *à priori*, por considerações geometricas, da lei, que a luz

reflectida segue, da forma da superficie e da posição do olho. Podêmos, assim, construir, geometricamente, os desenhos, que é preciso figurar sobre um cartão, para que, vistos pela reflexão por meio d'um espelho de forma dada, produzão, sobre o órgão visual, cuja posição relativa seja conhecida, apparencias determinadas. Taes são os desenhos informes, chamados *anamorphoses* (*ana* através de, *morphé* forma) *captoptricas*, os quaes não representam figuras regulares e distinctas, senão quando são vistos por espelhos cylindricos ou conicos. O nome de anamorphoses se applica tãobem às imagens d'aquelles desenhos.

Estas applicações da lei, que a luz reflectida segue, não tem importancia.

§ XI

ESPELHOS PARABOLICOS

Quando os raios luminosos caem sobre a superficie d'um espelho parabolico, parallelamente ao seo eixo de revolução, dão raios reflectidos, que se encontrão, todos, exactamente, no foco geometrico do paraboloide, qualquer que seja a grandeza do espelho. Este phenomeno é uma consequencia immediata das propriedades da parabola. Se tirâmos, por um poncto d'esta curva, *fig. 41*, uma recta *sm*, parallelamente ao eixo, e outra *mf*, passando pelo foco da curva, o angulo d'estas duas rectas será dividido em duas

partes eguaes pela normal, mn , a este ponto; e, reciprocamente, se tirámos uma recta, fm , do foco a um ponto m da parabola, e por este ponto tirámos uma parallela ms ao eixo do paraboloides, o angulo smn será egual a fmn , e esta recta estará no plano d'este ultimo angulo.

Um ponto luminoso, situado no foco d'um espelho parabolico, dará, pois, um feixe de raios reflexos, parallellos ao eixo. Se a superficie convexa recebesse raios convergentes, que tivessem seo ponto de convergencia no foco, os raios, reflectidos serão ainda parallellos ao eixo.

Tira-se partido d'esta propriedade, para aproximar os raios d'um feixe paralelo, de modo que sua intensidade cresça. Para isto, o feixe ab , *fig. 42*, é primeiro recebido parallelamente ao eixo por um primeiro espelho parabolico concavo MM , e vem cair, convergindo, sobre a superficie convexa d'um segundo espelho mm , cujo foco, f , coincide com o do primeiro. Os raios formão ainda um feixe paralelo, porém mais estreito, que passa por uma abertura, oo , practicaada no vertice do primeiro espelho. Espelhos esphericos darião o mesmo resultado, mas com a condição de ser o orificio muito estreito em relação ao raio de curvatura.

§ XII

PHAROES DE REFLEXÃO

Os espelhos concavos podem applicar-se, utilmente, para levar a luz a grandes distancias. Com effeito, é em virtude da divergencia dos raios, que a intensidade da luz é na razão inversa do quadrado da distancia; mas se fazemos cessar esta divergencia, a intensidade fica, sensivelmente, constante, a grandes distancias. E' o que se consegue, quando pomos uma luz no foco principal d'um espelho concavo: sua intensidade não decresce senão pela perda, que a luz soffre ao atravessar a atmospherá. E' neste principio, que se funda a construção dos antigos pharoes de reflexão. Borda applicou os espelhos parabolicos a esta especie de pharoes. Muitos espelhos similhantes, dispostos circularmente, allumião todos os ponctos do horizonte. O alcance dos espelhos parabolicos é extraordinario. Biot e Arago reconhecêrão, que um espelho de 0^m, 81 de abertura lançava luz á distancia de 40 leguas. E' essencial, que todos os ponctos da chamma estejam o mais perto possivel do foco mathematico.

Apezar da grande força dos espelhos parabolicos, a perda de metade da luz, pouco mais ou menos, pela reflexão, e a rapida deterioração dos espelhos metallicos, tem feito, geralmente, abandonar os pharoes de reflexão, depois que

se imaginárão apparelhos de refracção, de que adiante falaremos.

Dioptrica

CAPITULO XI

REFRACÇÃO E SUAS LEIS

§ I

PHENOMENO DA REFRACÇÃO. EXPERIENCIAS

Quando um raio de luz passa d'um para outro meio transparente, este raio, ou continua a caminhar na mesma direcção, com que vinha, ou toma nova direcção. Continua na mesma direcção, se cae perpendicularmente sobre a superficie, que separa os dous meios; desvia-se da direcção primitiva, se cae obliquamente sobre aquella superficie. Este desvio dos raios da luz chama-se *refracção*.

1.^a *Exp.* Tome-se, *fig.* 43, um vaso de vidro *A*, estreito e alto, munido, na parte superior, d'uma virola metallica, sustentando as duas hastes, *ab* e *a'b'*, em cujas extremidades se move o eixo do espelho plano *EE*, que se inclina 45° sobre o horizonte, estando o vaso bem vertical. Então deitão-se dentro camadas de diferentes liquidos

transparentes: e situando o espelho de maneira, que nelle caia o raio horizontal do heliostato, o raio reflexo atravessará, perpendicularmente ás superficies de contacto, os meios contidos no vaso; e observaremos, que sua marcha é rigorosamente vertical.

Se, porém, fazendo gyrar convenientemente o espelho sobre o eixo, bb' , fizermos, com que a direcção do raio reflexo seja obliqua ás superficies de contacto dos diversos meios contidos no vaso, a marcha da luz nestes meios deixará de ser rectilinea, e o raio, ao atravessal-os, soffrerá, em cada uma das superficies de contacto, maior ou menor inflexão.

E' esta variação de direcção, que os raios de luz experimentão pela acção dos meios diversos, de que saem e em que entrão, que chamamos *refracção* da luz.

2.^a *Exp.* Numa bacia, *A*, *fig. 44*, introduza-se uma vara cylindrica ou prismatica $A'B$, e situe-se o olho na direcção $A'BO$ do eixo da vara. E' claro, que o olho nesta posição não poderá ver a extremidade A' da vara; porquanto os raios de luz, que d'este poncto podem partir, vão todos fóra do olho. Lance-se agua na bacia, até á altura NN , por exemplo: o poncto A' tornar-se-á visivel ao olho O , e a vara parecerá ter tomado a forma $A''NO$, quebrada na passagem NN do ar para o liquido. Para que isto aconteça, é necessario, que um raio, que parte de A' , se desvie, ao penetrar no ar, da direcção rectilinea, que trazia, e vá dirigir-se ao olho O , e

que a sua direcção prolongada se dirija a A'' , e represente ahí a extremidade A' : isto é, para que este phenomeno tenha lugar, é preciso, que o raio de luz, ao passar da agua para o ar, soffra a respectiva inflexão.

3.^a *Exp.* Ponha-se no fundo do vaso A , *fig.* 45, um pequeno corpo a . Situando o olho no poncto O , o objecto a não será visivel; porque o raio aO é interrompido pela parede opaca do vaso. Deite-se agua no vaso: o objecto a tornar-se-á visivel, e parecerá situado no poncto a' , prolongamento do raio refracto Oa'' . Se no poncto a'' levantarmos a normal $N'N$ ao plano da superficie liquida, os raios aa'' , $a''O$, e a normal $N'N$, estarão no mesmo planõ, e o angulo de incidencia $aa''N'$ será menor do que o angulo de refracção $Ea''O$.

4.^a *Exp.* Encha-se de agua um vaso de vidro, *fig.* 46, cuja secção horizontal seja $ABCD$, e pelo orificio da camara escura faça-se entrar um raio horizontal, SI , que incida obliquamente sobre a face AB . Se, agora, fazendo correr um cartão branco sobre a face CD , procurarmos a extremidade do raio refracto IR , acharemos, que o raio de luz, pela refracção, se aproxima da normal, IN , ao plano de incidencia, isto é, que o angulo de incidencia SIN' é maior que o angulo de refracção, NIR' .

§ II

LEIS DE DESCARTES

Seja *mn*, *fig. 46*, o plano de intersecção entre dous meios transparentes; por exemplo, ar e vidro ou ar e agua: e sobre este plano caia obliquamente o raio *ab*. A refração tem lugar: o raio toma a direcção *bc* ou *bk*: o poncto *b* chama-se *poncto de incidencia*: *mn* é a superficie, em que os dous meios estão em contacto, a qual pode ser plana ou não: *de* é a *perpendicular*: *x*, o *angulo de incidencia*: *y* ou *kbe*, o *angulo de refração*, conforme o raio se inclina para a perpendicular ou se desvia d'ella: $z = cbf = fbk$ mede o desvio do raio de sua direcção original. Do poncto de incidencia, *b*, como centro, descreva-se um circulo; e dos ponctos *a* e *c* tirem-se as linhas *ag* e *ch*, perpendicularmente a *de*: *ag* é o *seno do angulo de incidencia* e *ch* o *seno do angulo de refração*. A relação do primeiro com o segundo denomina-se *razão* ou *indice da refração*.

Os raios de luz, quando passam d'um meio para outro mais denso, refrangem-se para o lado da perpendicular; e quando passam d'um meio para outro menos denso, desviam-se da perpendicular. Falando de dous meios, dizemos, que tem *maior poder refrangente* aquelle, em que a luz se refrange para o lado da perpendicular.

Assim, quando a luz passa do ar para a agua ou para o vidro, refrange-se para o lado da perpendicular; quando da agua ou do vidro passa para o ar, desvia-se da perpendicular. Se a luz passa do vacuo para qualquer meio transparente, a refração é para o lado da perpendicular.

As leis da refração da luz, descobertas por Descartes, são as seguintes:

1.^a *Para dous mesmos meios, a relação entre o seno do angulo de incidencia e o seno do angulo de refração é constante, qualquer que seja o angulo de incidencia.*

2.^a *O raio incidente, a perpendicular e o raio refracto, estão no mesmo plano, chamado plano de refração, o qual faz angulos rectos com a superficie de contacto dos dous meios transparentes.*

As refrações, mais frequentemente observadas, são as que tem lugar entre o ar e o vidro, e entre o ar e a agua. As razões d'ellas são proximamente 3:2 e 4:3.

A exactão d'estas razões pode demonstrar-se pela seguinte

Experiencia. Sobre um circulo de madeira tirem-se os diametros, *mn* e *de*, perpendiculares entre si; e tracem-se os angulos, *x* e *y*, de maneira que seos senos, *ag* e *ch*, estejam entre si como 3:2. Em cada um dos tres pontos, *a*, *b*, *c*, da linha quebrada *abc*, fixe-se um corpo brilhante, por exemplo, um alfinete; e entre *mn* e *hc* ponha-se um vidro. Em virtude da re-

fracção, os tres alfinetes parecerão estar na mesma linha recta.

Fação-se depois os angulos de modo que seos senos estejam entre si como 4:3; metta-se o circulo em agua até *mn*, e os alfinetes ver-se-ão, como antes, em linha recta.

§ III

INDICE DE REFRACÇÃO

A razão dos senos dos angulos de incidencia e de refracção, formados por um raio, que passa do vacuo para um meio transparente, chama-se *indice absoluto de refracção* d'este meio. O indice absoluto de refracção da agua é 1,336 e o do vidro ordinario 1,5. Quando o raio luminoso passa d'um para outro meio ponderavel, a razão dos senos tem o nome de *indice relativo de refracção* d'estes meios.

Se considerâmos os meios em ordem inversa, achâmos, que a luz segue o mesmo trajecto, mas em sentido contrário, isto é, se tomarmos o raio refracto pelo raio incidente, o raio incidente primitivo virá a ser o novo raio refracto.

Para designar um indice relativo, toma-se sempre, se não se adverte o contrário, para numerador da razão o seno do maior dos dous angulos formados com a normal; d'onde resulta, que os numeros, que representam os indices

de refração, são sempre maiores do que a unidade.

§ IV

ANGULO LIMITE, REFLEXÃO TOTAL

Dissemos, que, quando um raio passa do vacuo para um meio refrangente, o angulo de incidencia é maior do que o angulo de refração, e que a mesma cousa tem logar, quando o raio passa d'um meio para outro meio mais refrangente: reciprocamente, quando um raio sae d'um meio refrangente para entrar no vacuo ou em um meio menos refrangente, o raio se desvia da normal. Assim, ha sempre para cada corpo uma incidencia, com a qual o raio não pode sair d'elle para penetrar no vacuo ou em outro corpo diaphano menos refrangente; porque, sendo o angulo de emergencia sempre maior que o angulo de incidencia, ha sempre uma incidencia menor que 90° , para a qual o angulo de emergencia é recto. Esta incidencia denomina-se *angulo limite*.

Se imaginâmos, que o raio se apresenta, para sair, com um angulo maior do que o angulo limite, a lei não é já applicavel, porque então teriamos, para o seno do angulo de emergencia, um valor superior á unidade, o que é impossivel; nem a fórmula pode indicar o que então acontece ao raio: mas a experiencia mostra, que elle se reflecte na totalidade, no in-

terior do meio, fazendo um angulo de incidencia igual ao angulo de reflexão.

Exp. Suppondo, que um raio CO , *fig. 47*, se apresenta sobre a segunda superficie d'um meio transparente, primeiro perpendicularmente, e que se vai inclinando cada vez mais sobre a normal, o raio refracto, ao principio dirigido segundo o prolongamento da normal, se vai inclinando mais do que o raio incidente; coincide com OB , quando o raio incidente se dirige segundo EO , fazendo com OC um angulo igual ao angulo limite; mas, tanto que o raio incidente se inclina mais e se dirige segundo FO , por exemplo, este raio se reflecte segundo OF' , inclinado sobre OB uma quantidade igual ao angulo FOA ; e, á medida que o raio se vai inclinando mais sobre AO , tãobem o raio reflexo se inclina mais sobre OB , e ambos acabão por se dirigirem sobre AB . Vê-se, pois, que não ha continuidade na passagem da refracção para a reflexão interior.

Acabâmos de ver, que, quando um raio tende a sair d'um meio refrangente, com um angulo maior do que o angulo limite, reflecte-se: acrescentaremos, que neste caso tem logar o phenomeno da *reflexão total*, quer dizer, nenhuma parte do raio incidente, como a experiencia ensina, transpõe a superficie de separação, mas o raio se reflecte na sua *totalidade*, produzindo, assim, imagens muito mais brilhantes do que as produzidas pela superficie exterior dos corpos, dotados de maior poder refle-

ctidor. E' o que se pode facilmente verificar, deitando agua em um vaso de vidro, *fig. 48*, e pon-do o olho em *o*: a superficie do liquido dá as imagens dos objectos, que estão abaixo, como se fosse um espelho; mas seo brilho é muito mais vivo.

§ V

CALCULO DO ANGULO LIMITE

E' facil calcular o angulo limite. Este angulo é o maximo dos angulos, que podem fornecer raios refractos, e tem logar, quando o angulo de emergencia é recto. Chamando θ e θ' os angulos de incidencia ou emergencia e de refracção, e n o indice de refracção, teremos

$$\text{sen } \theta = n \text{ sen } \theta'$$

θ , sendo o angulo de emergencia, será, em seo limite, igual a 90° , e por consequencia tere-mos

$$\text{sen } \theta = 1 \text{ e } \text{sen } \theta' = \frac{1}{n}.$$

Assim, o angulo limite tem por seno a unida-de, dividida pelo indice de refracção. Para o vidro é

$$n = \frac{3}{2} \text{ e } \theta' = 41^\circ 48' 37''$$

Assim, todos os raios, que se apresentarem, para passar do vidro para o vacuo, com maior incidencia, se reflectirão no interior do vidro.

§ VI

A LUZ NÃO SE TRANSMITTE TODA PELA REFRACÇÃO

A luz, ao passar d'um para outro meio transparente, não se transmite na sua totalidade; uma parte d'ella reflecte-se: não ha meios perfeitamente diaphanos. A reflexão, que se opera á superficie da agua e do vidro não estanhado, testemunhão esta verdade.

Experiencia. Faça-se entrar, em uma casa escura, um raio de luz solar, de maneira que possa ser recebida sobre um cubo de vidro ou sobre a superficie de agua, contida em um vaso de vidro, *fig.* 49. No ponto de incidencia, haverá, simultaneamente, reflexão e refração do raio.

CAPITULO XII

EXPLICAÇÃO DO PHENOMENO DA REFRACÇÃO DA LUZ

§ I

EXPLICAÇÃO DA REFRACÇÃO DA LUZ PELA THEORIA DAS UNDULAÇÕES

Seja *sabs'*, *fig.* 50, um feixe incidente, que supponmos cylindrico, e *bc* a superficie d'uma

onda no momento, em que ella encontra em *b* a superficie *ab* de separação de dous meios. O puncto *b* converte-se logo em centro de vibrações, umas propagando-se no primeiro meio e dando origem á luz reflexa, as outras propagando-se no segundo meio e constituindo a luz transmittida. Seja *bd* a distancia, a que a vibração chegou no segundo meio, quando a superficie *cb* chegou a *a*. Esta distancia será maior ou menor que *ac*, conforme a velocidade da luz for maior ou menor no segundo meio do que no primeiro; o que dependerá da natureza dos dous meios, ou antes da densidade, que o ether tem aqui. Supponhamos *bd* menor que *ac*. Os differentes punctos da superficie *ab* vibrarão, á medida que a superficie *bc* da onda lhes for tocando, e as distancias, a que tiverem chegando estas vibrações, quando a superficie *ab* chegar a *a*, serão proporcionaes ás distancias d'estes punctos ao puncto *a*. Poderemos, pois, tirar pelo puncto *a* um plano tangente *ad*, commum a todas as superficies das ondas elementares, que partem dos diversos punctos de *ab*. Este plano representará a superficie da onda. O feixe refracto *arr'b* será perpendicular a esta superficie.

Sendo os angulos de incidencia e refração, *i* e *r*, eguaes a *cba* e *bad*, os triangulos rectangulos, *abc* e *abd*, dão

$$ac = ab \operatorname{sen} i$$

$$bd = ab \operatorname{sen} r$$

logo
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{ac}{bd} = \frac{v}{v'};$$

sendo v e v' as velocidades da luz nos dous meios, cuja relação é igual á dos espaços ac , bd , andados no mesmo tempo. Aqui achâmos, pois, a lei de Descartes, e vemos, que o indice de refração não é outra cousa mais do que a relação das velocidades da luz nos dous meios.

Da explicação, que acabâmos de apresentar, resulta, que a velocidade da luz deve ser menor no segundo meio do que no primeiro, quando os raios se aproximão da normal, isto é, quando o segundo meio é mais refrangente.

§ II

EXPLICAÇÃO DA REFRAÇÃO DA LUZ PELA THEORIA DAS EMANAÇÕES

Para explicar a divisão da luz em duas partes na superficie de separação de dous meios, reflectindo-se uma e penetrando a outra, supõe-se, que as particulas luminosas possuem dous polos, um, que é attrahido pelo segundo meio, outro, repellido. A particula reflecte-se ou refrange-se conforme o polo, por onde ella se apresenta á superficie de separação. Consideremos as particulas, que penetrão no segundo meio. Seja sa , *fig. 54*, um raio incidente: logoque chega á superficie mn , a attracção jun-

sta sua acção á componente normal a AB , e a molecula se aproxima cada vez mais da normal. Este effeito tem ainda logar, alem da superficie AB , até á profundidade Am' egual ao raio da esphera de actividade das moleculas. A partir do poncto b , a molecula torna a camiahar em linha recta, porque as attracções, que experimenta, se destroem mutuamente.

Se chamâmos v e v' ás velocidades da luz nos dous meios, e i e r os angulos de incidencia e de refracção, a componente horizontal da velocidade no primeiro e no segundo meio será

$$v \operatorname{sen} i \quad \text{e} \quad v' \operatorname{sen} r,$$

e como as componentes horizontaes do raio incidente e do raio refracto são eguaes, teremos

$$\frac{\operatorname{sen} i}{\operatorname{sen} r} = \frac{v'}{v}$$

Vemos, que, se, sendo r menor que i , o segundo meio é mais refrangente que o primeiro, é necessario, que v' seja maior que v , isto é, que a velocidade da luz seja maior no meio mais refrangente. E' o inverso, que tem logar no systema das undulações, como vimos.

CAPITULO XIII

PHENOMENOS PRODUZIDOS PELA REFRACÇÃO

§ I

REFRACÇÃO ASTRONOMICA E TERRESTRE

A refração astronomica ou celeste é causada pela incidencia dos raios luminosos, vindos dos corpos celestes, sobre a nossa atmosphaera, em consequencia do que os astros não são vistos por nós em seos verdadeiros logares, excepto os que se achão exactamente no zenith: todos os outros se vêem mais ou menos elevados, conforme estão mais ou menos proximos do horizonte; podem mesmo alguns estar abaixo do horizonte e parecerem estar acima.

O circulo negro, *fig. 52*, represente o globo terrestre, e os circulos concentricos ao circulo negro representem camadas atmosphericas, cujas densidades diminuem com suas distancias á terra. Supponhamos um observador em *B*: *z* será seo zenith, *HBH'* o horizonte, *S* qualquer astro, *SBz* sua verdadeira distancia zenithal, e *SBH* sua verdadeira altitude. Mas em consequencia da refração, que os raios, vindos do astro, soffrem, ao atravessarem a atmosphaera, como se vê na linha quebrada *SsB*, o observador, situado em *B*, verá o astro em *S'*, isto é, em uma distancia zenithal menor do que a verdade ira. Prolongue-se a direcção primitiva do

raio Ss , que corta o raio apparente $S'B$ em n : o angulo BnD , formado por estas duas linhas, é a refração dos raios da estrella S para a distancia zenithal apparente zBS' , com que é visto pelo observador, collocado em B . Tem-se construido tabuas, pelas quaes se pode determinar a refração para qualquer distancia zenithal observada, e depois acha-se a distancia zenithal verdadeira. Quanto maior esta é, maior é também a refração, de sorte que no horizonte a refração dos astros é maxima. Esta *refração horizontal* tem por effeito, elevar acima do horizonte os astros, que ainda estão abaixo.

Seja A um astro, situado abaixo do horizonte, BH , d'um observador, situado em B . Este astro seria invisivel nesta situação, se não houvesse atmosphaera; mas como ella existe, o raio luminoso é desviado, em α , de sua direcção primitiva, e desde aqui vem refrangendo-se até B , de maneira que o espectador vê o astro na direcção do último elemento da curva, isto é, vê-o na altitude HBA' .

Uma consequencia da refração astronómica é, que o sol nasce mais cedo e põe-se mais tarde do que seria, se não houvesse refração. Na Europa central, o dia maior prolonga-se assim 8,5 minutos, e nas regiões polares a estada do sol acima do horizonte, devida á refração, dura mais d'um mez.

O disco do sol e da lua, por occasião do nascimento e occaso d'estes astros, achata-se, ficando o diametro horizontal maior do que o

vertical; o que é devido a que, diminuindo a refacção com a altura, o bordo inferior d'estes astros se eleva mais do que o superior.

A refacção altera a posição, não só dos astros, mas tãobem dos objectos situados á superficie da terra, como os cumes dos montes, as arvores, os edificios. Estes objectos parecem estar mais altos do que realmente estão, e ás vezes avistão-se d'uma costa contrária, não os deixando ver, nas circumstancias ordinarias, a curvatura da superficie do mar. A differença entre as alturas, apparente e verdadeira, d'um objecto acima do horizonte, ou a differença entre os angulos d'estas duas altitudes, é a grandeza da *refracção terrestre*.

As refacções, astronomica e terrestre, não são constantes, dependem da densidade das camadas, de que a atmosphaera se compõe; o que muito difficulta a medição das altitudes, tanto celestes como terrestres, quando as observações demandão grande precisão.

§ II

MIRAGEM

Descripção do phenomeno. O phenomeno da *miragem* apresenta-se, quando entre o observador e os objectos se estende uma grande superficie de agua tranquilla, como perto das costas de Oldemburgo no Mar do Norte, onde lhe dão o nome de *kimmung*; como no

estreito de Messina entre a Sicilia e a Italia, onde lhe chamão *fata morgana*; como perto das costas de Groenlandia, onde foi observado por Scoresby. Este phenomeno se observa egualmente nos extensos desertos da Asia e da Africa: foi nas planicies arenosas do Egypto, onde o célebre Monge o observou, frequentes vezes, durante a estada da expedição franceza neste paiz, em 1798 e 1799.

De manhan e de tarde, as povoações e as árvores, que nestas planicies se offerecem á vista, não apresentam nada particular; mas quando os raios solares aquecem sufficientemente o terreno, este parece terminar na distancia de quatro kilometros, pouco mais ou menos, por uma inundação geral; as povoações, que se avistão alem, parecem ilhas situadas no meio d'um grande lago: por debaixo de cada objecto, desenha-se a sua imagem invertida, como effectivamente se desenharia, se á roda houvesse uma superficie de agua. Á medida que nos aproximâmos d'esta inundação apparente, vemol-a ir diminuindo, até desaparecer de todo, quando nos aproximâmos sufficientemente; e o mesmo phenomeno se reproduz para os objectos mais distantes.

Explicação da miragem. Gaspar Monge deu uma explicação satisfactoria d'este phenomeno, nas *Mémoires de l'Institut de l'Egypte*. A miragem é um phenomeno de refracção, que resulta da desigual densidade das camadas atmosphericas, quando estas se dilatão por seo

contacto com o solo fortemente aquecido. Sendo então as camadas menos densas as mais inferiores, um raio luminoso, que se dirija d'um objecto elevado para o solo, atravessa camadas cada vez menos refrangentes; pois veremos logo, que o mesmo gaz é tanto menos refrangente, quanto menos denso é. D'aqui resulta, que o angulo de incidencia cresce d'uma para outra camada, e acaba por attingir o angulo limite, alem do qual á refração succede a reflexão interior. O raio se eleva então, como mostra a *figura 53*, e experimenta uma serie de refrações successivas em sentido contrário das primeiras porque passa agora para camadas cada vez mais refrangentes. O raio luminoso chega, pois, ao olho do observador, com a mesma direcção que se tivesse partido d'um poncto situado abaixo do solo, e é por isso que dá uma imagem invertida do objecto, que o lançou, como se se tivesse reflectido, no poncto *O*, sobre uma superficie d'agua tranquilla.

Experiencias, que imitam a miragem. Seja, *CC*, *fig. 54*, uma caixa de folha de ferro; enche-se de carvões accesos, suspende-se na altura do orgão visual, e olha-se ao longo d'uma das superficies para um objecto *M*, que não esteja em grande distancia. Vê-se então uma imagem recta do objecto, na direcção *PM*, e uma imagem invertida, na direcção *PM'*. A segunda imagem é evidentemente gerada pela reflexão dos raios de luz, em *N*, sobre as camadas de ar quente e rarefeito, que envolve a

caixa, e não pela reflexão sobre a parede da mesma caixa.

Phenomeno analogo pode ser produzido pela supraposição de liquidos de diferentes densidades. Deite-se agua em um vaso de vidro *abcd*, *fig. 55*, até á altura *mn*; depois por um funil, cuja extremidade chegue ao fundo do vaso, deite-se uma solução de sal commum, de modo que a agua se não agite. D'esta maneira, temos no vaso um fluido, cuja densidade decresce de baixo para cima. Pegue-se em *s* uma tira de papel, em que esteja escripta uma palavra; e olhando do poncto *o*, situado na mesma altura que *s*, veremos a palavra na sua posição natural por meio do raio *os*, e veremos uma imagem invertida da mesma palavra na direcção *ot* no estrato mais alto e mais raro do fluido, em consequencia da reflexão do raio obliquo *st*.

CAPITULO XIV

TRANSMISSÃO DA LUZ ATRAVÉS DOS MEIOS LIMITADOS POR SUPERFICIES PLANAS

§ I

MEIOS DE FACES PARALLELAS

Quando um raio de luz passa através d'um meio, limitado por superficies parallelas, a direcção do raio incidente é parallelas á do raio emergente, e, por consequencia, todos os ob-

jectos, vistos através d'este meio, estarão em sua posição natural.

Demonstração theorica. Seção *MN*, *fig.* 56, uma peça de vidro de faces parallelas, *SA* um raio incidente, *DB* o raio emergente, *i* e *r* os angulos de incidencia e de refracção á entrada do raio, *i'* e *r'* os mesmos angulos á saida. Em *A*, a luz soffre primeira refracção,

cujo indice é $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$; em *D*, torna a refranger-se,

e então o indice é $\frac{\text{sen } r'}{\text{sen } i'}$. Mas estes dous indices são eguaes:

logo

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\text{sen } r'}{\text{sen } i'}$$

Ora, sendo parallelas as duas normaes *AG* e *DE*, os angulos *r'* e *i'* são eguaes, por serem alternos-internos: portanto os angulos *r'* e *i* são tãobem eguaes, e as linhas *DB* e *SA* são parallelas.

Demonstração experimental. Faça-se entrar um raio solar em uma casa escura, e receba-se sobre uma grossa placa de vidro ou em um vaso cubico de vidro cheio de agua. Veremos o raio seguir o caminho indicado na *figura*.

§ II

PRISMAS

Se o meio, através do qual a luz se transmite, é limitado por duas faces planas, formando angulo, temos o que em optica se chama um *prisma*. A linha recta, em que estas duas faces se cortão, ou se cortarião, sendo sufficientemente prolongadas, é a *aresta* do prisma: o angulo diedro, formado pelas duas faces, denomina-se *angulo refrangente*. Assim, um boccaldo de crystal *K*, *fig. 57*, de qualquer forma, se duas porções de sua superficie, *abcd* e *efgh*, são planas e inclinadas, constitue, em optica, um prisma. Estes planos, sendo prolongados, vão cortar-se na linha *mn*, que será a aresta, e o angulo diedro, aqui formado, é o angulo refrangente.

De ordinario practica-se na substancia diaphana uma terceira face plana, parallelá á aresta, e dá-se-lhe o nome de *base* do prisma: depois cortão-se as tres arestas por planos perpendiculares e temos assim um prisma triangular geometrico *ABCDEF*, *fig. 58*; mas os dous triangulos *ADE* e *BCF*, que em geometria se chamão bases do prisma, nunca se considerão em optica. A secção triangular *mno*, feita por um plano *PQ*, perpendicular á aresta, recebe o nome de *secção principal* do prisma.

Consideremos, primeiramente, os raios incidentes situados na secção principal do prisma. O

raio incidente *ab*, *fig.* 59, refrangendo-se segundo *bc*, se aproxima da perpendicular *bm*, e por conseguinte se afasta do vertice *A* do prisma; e o raio emergente *cd*, apartando-se da normal *cm'*, se desvia também do vertice *A*: assim, o efeito d'um meio refrangente angular, é, desviar o raio emergente do vertice do angulo.

§ III

CONDIÇÕES DE EMERGENCIA NOS PRISMAS

Suppondo, *fig.* 60, que a face *AC* do prisma gyra á roda da aresta, que passa pelo poncto *A*, de modo que augmente o angulo refrangente do prisma, a incidencia do raio refracto *ab* sobre a face *AC* augmentará continuamente, á medida que o angulo *A* se fizer maior: este angulo chegará, pois, a ter um valor, para o qual todos os raios, qualquer que seja a sua incidencia sobre *AB*, se reflectirão sobre *AC*; e attingirá evidentemente este valor, quando um raio incidente *Ba*, *fig.* 61, emergir segundo *bC*: pois, qualquer outro raio incidente daria um raio refracto, que encontraria *AC* debaixo d'um angulo maior, e que seria reflectido interiormente; e os raios não poderião tão pouco emergir depois de muitas reflexões, porque os raios reflectidos se inclinão cada vez mais sobre as superficies do prisma, e por consequencia não podem sair. Ora, neste caso $\theta = \theta'$ é egual ao angulo limite, visto que estes dous angulos correspondem

a angulos rectos de incidencia e de emergencia. Mas 2θ é o supplemento do angulo D , e A é igualmente o supplemento do angulo D : logo, $A = 2\theta$. Para o vidro ordinario $n = 31:20$ e $2\theta = 83^\circ 37' 14''$.

No que precede suppozemos, que o raio refracto se dirigia para o lado da base do prisma; mas se o raio se dirigir para o lado do vertice, virã a emergir depois d'algumas reflexões. Para saber, quando esta circumstancia terá logar, considere-se o prisma ABC *fig. 62*: pelo poncto a tire-se a normal DaE e a perpendicular ab sobre AC : é evidente, que, para que um raio, que entra por a , se reflecta sobre AC para o lado do poncto A , é necessario, que o raio refracto se dirija acima de ab , e, por consequencia, faça com AE um angulo maior do que o angulo do prisma; o que não é possivel, quando o angulo A é igual ao angulo limite, e, com razão mais forte, quando é igual ao dobro d'este angulo.

Se o angulo A , *fig. 63*, fosse igual a θ só, todos os raios incidentes, comprehendidos no angulo SaA , se reflectirão sobre a face AC ; mas todos os que se contêm no angulo SaB emergirão por AC . Com effeito, o raio incidente Sa , perpendicular a AB , dará um raio refracto ab , que fará, com a normal à face AC , um angulo igual ao angulo A , isto é, igual ao angulo limite: então o raio emergente correspondente se dirigirá seguado bC . Se agora suppozemos, que o raio se inclina para o poncto A , os

raios refractos correspondentes farão, com a normal a AC , angulos maiores do que θ e se reflectirão, entretanto que, se supposmos, que o raio se inclina para o poncto B , os raios refractos correspondentes farão, com a normal a AC , angulos menores que θ e sairão do prisma.

E' facil ver, que, se o angulo A se comprehendesse entre θ e 2θ , a reflexão sobre AC começaria a partir d'um raio incidente aS' , tanto mais proximo de aB , quanto mais A se approximasse de 2θ .

Se o angulo A fosse menor que θ , a reflexão sobre AC cessaria no raio incidente aS'' , que seria tanto mais proximo de aA , quanto menor fosse o angulo A , e este raio não coincidiria com aA , senão quando o angulo A fosse nullo. Com effeito, o raio Aa se refrange no poncto a segundo uma recta Ac , que faz com ab um angulo igual ao angulo limite θ , e se apresenta, para sair, fazendo com a normal um angulo $m = \theta + A$; porque, sendo o angulo acC , exterior ao triangulo cab , igual à somma dos dous angulos interiores oppostos, temos

$$90^\circ + m = 90^\circ + A + \theta;$$

o raio Aa não poderá, pois, sair senão quando for $A = 0$.

§ IV

CONDIÇÕES DE EMERGENCIA NO CASO DE QUALQUER PLANO DE INCIDENCIA

Até agora havemos supposto, que o plano de incidencia era perpendicular ás duas faces do prisma; agora examinaremos, quaes serião as condições de emergencia, se este plano tivesse qualquer direcção.

Seja ABC , *fig. 64*, a secção principal do prisma, que passa por qualquer ponto, a , da superficie de incidencia. Levante-se a normal ab a esta superficie, e descreva-se á roda d'esta linha, como eixo, um cone man , tendo por angulo no vertice o dobro do angulo limite: este cone encerrará todos os raios, que penetrão no prisma pelo ponto a . D'este mesmo ponto abaxe-se uma perpendicular ac sobre a face de emergencia AC , e do mesmo modo descreva-se á roda d'esta linha um cone, que tenha tãobem por angulo no vertice o dobro do angulo limite: este cone encerrará, evidentemente, todos os raios refractos, correspondentes ao ponto de incidencia a , que poderão emergir; porquanto, qualquer que lhe fosse exterior, faria com a normal, que é parallela a ac , um angulo maior que o angulo limite. Logo, os raios, que podem emergir, devendo conter-se, ao mesmo tempo, nos dous cones, man e paq , serão os que atravessarem a face AC na parte commum mq das bases d'estes cones.

Como tudo é symétrico em relação à secção recta ABC , vê-se, que mq divide ao meio a parte commum das duas bases, e esta parte commum é tanto maior, quanto maior é ce . Para avaliar ce , note-se, que o angulo das duas normaes bac é egual ao angulo refrangente do prisma; e temos

$$bac = A = caq + mab - maq = 2\theta - maq$$

d'onde se tira $maq = 2\theta - A$.

Se $A = \theta$, o angulo bac é tãobem egual a θ , e as arestas aq e am se confundem com as normaes, que fazem entre si o angulo θ . Entre os raios contidos na secção recta, Sab é então o último, que dá um raio emergente, visto que faz com a normal a AC um angulo egual a θ . Se $A = 2\theta$, tãobem é $bxc = 2\theta$: os dous cones são tangentes segundo uma aresta, que representa o unico raio, que pode emergir. Este raio faz o angulo θ com a normal a AB , e, por consequencia, provêm d'um raio incidente, deitado sobre a face AB do prisma na secção recta. Se $A > 2\theta$, os cones não se encontram e não ha raio emergente.

§ VI

DESVIO PRODUZIDO PELOS PRISMAS, DESVIO MINIMO

Quando a condição de emergencia está preenchida, os raios saem effectivamente pela segun-

da face, e são mais ou menos desviadas de sua direcção primitiva. O *angulo de desvio* ou o *desvio* é o angulo, que a imagem directa faz com a imagem refracta, quando o objecto se suppõe situado no infinito: assim, sendo *ab* o raio incidente, e *cd* o raio emergente, *fig. 65*, se supponmos o orgão visual em *c* bem longe do prisma, este orgão poderá receber ao mesmo tempo um pincel na direcção *edc* e outro pincel na direcção *e'da'*, parallello a *ab*: o primeiro fará ver o objecto pela refração, o segundo o fará ver directamente, e o angulo *cd a' = h* d'estas duas imagens é o desvio. Este angulo é, evidentemente, egual a *ede'*.

Experiencia. Fazendo entrar um feixe de luz solar pela abertura, *fig. 66*, practicada na porta d'uma camara escura, vê-se, que o feixe vai projectar-se segundo a recta *AC* sobre um alvo afastado. Mas, se interpomos um prisma vertical áquella abertura e ao alvo, o feixe se desvia para a base do prisma e vai projectar-se em *D*, longe do poncto *C*. Se fazemos então gyrar o apoio, que sustenta o prisma, de sorte que o angulo de incidencia decresça, vemos o disco lumiaoso *D*, aproximar-se do poncto *C* até uma certa posição *E*, a partir da qual torna sobre si mesmo, aindaque continuemos a fazer gyrar o prisma no mesmo sentido. Ha, pois, um desvio *EBC* menor que todos os outros.

É facil demonstrar pelo calculo, que o desvio, produzido pelos prismas, muda com o angulo de incidencia; que elle tem todavia um minimo;

e que seu valor minimo tem logar, quando os angulos de incidencia e de emergencia são eguaes entre si, *fig. 67*, ou o que vem a ser a mesma cousa, quando o raio refracto *bc* faz um triangulo isosceles *bAc* com os lados do prisma, ou, finalmente, quando o angulo de refração é

$\frac{g}{2}$, sendo *g* o angulo refrangente: com effeito,

sendo isosceles o triangulo *Aab*, $\frac{g}{2}$ é complemento de *Aab*, que é complemento do angulo de refração correspondente.

Designando por *h* o angulo de desvio minimo, por θ o angulo de incidencia, e por *g* o angulo refrangente do prisma, temos

$$h = 2\theta - g$$

Com effeito, tirando pelo poncto *d* as linhas *df* e *df'*, respectivamente parallelas a *BA* e *CA*, temos

$$h = 180 - a'df - g - f'de;$$

e como $f'de = a'df = abB = 90 - k$

$$h = 180 - 180 + 2\theta - g$$

ou $h = 2\theta - g$

e por consequencia $\theta = \frac{h + g}{2}$

Se representâmos por n o indice de refração da substancia, temos em geral

$$\frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \theta'} = n;$$

e visto que na posição, de que se tracta, temos

$$\theta = \frac{h + g}{2} \quad \text{e} \quad \theta' = \frac{g}{2}$$

resulta

$$\frac{\text{sen} \left(\frac{h + g}{2} \right)}{\text{sen} \frac{g}{2}} = n;$$

fórmula importante, que permite achar a razão da refração n pela unica observação do desvio minimo h , porque é sempre facil determinar o angulo refrangente g .

§ III

ANAMORPHOSES DIOPTRICAS

Se um corpo diaphano tem muitas faces, os raios de luz transmittidos através d'elle tomarão direcções differentes conforme a inclinação d'estas faces. O orgão visual, em que o feixe

d'estes raios se encontra, verá o objecto repetido tantas vezes, quantas forem as faces do polyedro. D'aqui vem o nome de *espelhos multiplicadores*, dado aos espelhos d'esta forma.

Sejão *ABCD*, *fig. 68*, um espelho d'esta especie com tres faces. Os raios *db*, que partem d'um objecto luminoso, situado em *d*, se refrangerão ao atravessarem o espelho, de maneira que, se olharmos do poncto *a*, em que estes raios se encontrão, veremos tres imagens. uma directa em *d*, e duas pela refração em *d'* e *d''*.

As *anamorphoses dioptricas* dependem d'esta especie de refração. São pinturas, que, quando observadas através d'um espelho multiplicador, apresentão á vista imagens, dessimilhantes das mesmas pinturas.

CAPITULO XV

DETERMINAÇÃO DOS INDICES DE REFRAÇÃO

§ I

INDICE DE REFRAÇÃO DOS SOLIDOS

O methodo de Newton, para determinar o indice de refração dos solidos, é o mais simples e mais rigoroso. Principia-se por formar um prisma *ABC*, *fig. 69*, com a substancia, de que se tracta, e põe-se este prisma em uma posição fixa, de maneira que suas arestas sejam verticaes: um circulo horizontal graduado, cuja ali-

dada é guarnecida d'uma luneta, que tem um fio vertical, é collocado no ponto M ; a luneta dirige-se para uma mira N , situada em grande distancia, e depois observa-se esta mesma mira pela refracção através do prisma. Fazendo gy-
rar este último, até que o desvio do raio refra-
cto sobre o raio directo, ou o angulo b , seja o
menor possivel, os angulos de incidencia e de
emergencia u e u' serão eguaes, assim como os
angulos de refracção x e x' ; e é facil reconhe-
cer, pela inspecção da *figura*, que, sendo o an-
gulo G suplemento dos angulos a e $2x$, te-
mos

$$x = \frac{a}{2},$$

e que sendo o angulo b , que representa o desvio,
por estar a mira muito afastada, um dos angu-
los exteriores do triangulo EKF , temos

$$b = 2(u - x) = 2\left(u - \frac{a}{2}\right);$$

d'ondé se tira
$$u = \frac{a + b}{2}$$

Assim, designando por n o indice procurado, te-
remos

$$n = \operatorname{sen} \frac{a + b}{2} : \operatorname{sen} \frac{a}{2}.$$

Por este methodo evita-se a medição dos angulos de incidencia e de emergencia, que seria indispensavel conhecer em qualquer outra posição do prisma.

§ II

MEDIÇÃO DO ANGULO REFRANGENTE DO PRISMA

Sejão *BA* e *AC*, *fig. 70*, as duas faces d'um prisma. Em qualquer poncto *M* colloque-se um circulo repetidor, cujo plano seja perpendicular às arestas do prisma; dirija-se uma das lunetas para uma mira *O* muito afastada, e a outra para a imagem d'esta mira, vista pela reflexão sobre a face *AB* segundo a direcção *MH*: podendo os raios *MO* e *HO* reputar-se parallelos, o angulo *a*, medido pelo desvio das lunetas, será o dobro do angulo *c*: porquanto *a* é supplemento do angulo *OHM*, e este último tãobem tem por supplemento os angulos *OHB* e *MHA*, eguaes entre si. Depois transportaremos o circulo repetidor para um poncto *N*, situado do outro lado, e aqui operaremos do mesmo modo, isto é, mediremos o angulo *b*, formado pelas lunetas do circulo, dirigidas uma para um signal *O'* muito afastado, outra para a imagem do signal, vista pela reflexão sobre a face *AC*: o angulo *b* será, evidentemente, o dobro do angulo *c'*. Finalmente, transporta-se o circulo repetidor para um terceiro poncto *P*, dirigem-se as lunetas para as duas miras *O* e *O'*, e obtem-se o angulo *d* formado pelas linhas *PO* e *PO'*, Ora,

se pelo ponto *P* tirámos duas rectas parallelas ás faces do prisma, é facil ver, que teremos

$$d = A + \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}b;$$

d'onde se tira

$$A = d - \frac{1}{2}(a + b).$$

Seria muito mais simples usar d'uma só mira muito afastada, que observariamos directamente e pela reflexão sobre as duas faces do prisma, *fig. 71*. É facil ver, pela simples inspecção da *figura*, que teriamos

$$A = \frac{a + b}{2}.$$

§ III

INDICE DE REFRACÇÃO DOS LIQUIDOS

Para obter o indice de refracção das substancias liquidas, emprega-se um processo analogo ao que empregámos para as substancias solidas. Em um prisma de vidro, *fig. 72*, faz-se um canal cylindrico, que vai desde a face de incidencia até á de emergencia. Este canal fecha-se com duas laminas de vidro com faces bem pa-

parallelas, que se ajustão sobre as faces do prisma. Outro canal *ab* serve para deitar o liquido.

Similhantes prismas vasioes não fazem, evidentemente, experimentar nenhum desvio ao raio luminoso: portanto, o effeito produzido no caso, em que as laminas são de igual espessura em todos os seus pontos, é, inteiramente, devido ao prisma liquido, que enche o prisma oco; mas apesar de todas as precauções, as laminas produzem quasi sempre um pequeno desvio. Para tomar na devida conta o seu effeito, collocase a certa distancia a luz d'uma vela, e por meio d'uma luneta lança-se, directamente, para ella um raio visual: depois interpõe-se a luz e a luneta o prisma, na posição correspondente ao desvio minimo, e torna-se a olhar. Se o fio da luneta se desvia, restabelece-se a coincidência; e a quantidade, que é preciso deslocar a luneta, representa o desvio produzido pelas laminas de vidro. Este desvio deve junctar-se ou tirar-se ao que o prisma liquido produz, conforme for de sentido contrário ou do mesmo sentido que este.

§ IV

METHODOS FUNDADOS NA REFLEXÃO TOTAL

Para os solidos. Seja *ABC*, *fig. 73*, um prisma rectangular em *C*, formado da substancia transparente, cujo indice se deseja saber, e collocado sobre uma regua horizontal *RS*; *TU* é uma aste, ao longo da qual gyra um circulo graduado com

uma luneta. Ao principio, estando a luneta assaz elevada, vemos os raios luminosos, que entrão por AC ; mas á medida que a abaixámos, tornando-se mais obliquos os raios, que se refrangem sobre AC , haverá, necessariamente, uma posição, em que o poncto P cessa de deixar passar os raios incidentes, que entrão por AC , e onde reflectirá os raios vindos por AB . Neste momento, o angulo θ será egual ao angulo limite: ora, podemos, facilmente, deduzir o angulo θ do angulo a , e do primeiro o indice de refração, visto que seo seno é egual a $\frac{1}{n}$.

Temos $\text{sen } \theta = \text{cos } c$, $\text{sen } c = \frac{1}{n} \text{sen } b$, $= \text{cos } a$
e $\text{sen } \theta = \frac{1}{n}$: logo

$$\text{sen } \theta = \sqrt{1 - \text{sen}^2 c} = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \text{cos}^2 a}$$

e $\frac{1}{n} = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \text{cos}^2 a}$

d'onde se tira $n^2 = 1 + \text{cos}^2 a$

Para os liquidos. O methodo, que ensinámos no § supõe, que ha grande quantidade de liquido; mas quando o liquido é em pequena quantidade, como acontece com os humores do olho, o presente methodo emprega-se com van-

tagem. Numa pequena cavidade practicada na regua *AC*, deita-se uma gotta do liquido, cujo indice de refracção se pretende determinar, e que deve ter um poder refrangente menor do que o da substancia do prisma. Do mesmo modo que precedentemente, obteremos o valor do angulo limite por meio do angulo *a*; e como o seno d'este angulo limite é egual á razão do indice de refracção do liquido para o da substancia do prisma, d'aqui deduziremos, facilmente, este primeiro indice, quando o segundo for conhecido.

Neste caso, as relações precedentes subsistem, excepto a última, que se torna em

$$\text{sen } \theta = \frac{n'}{n};$$

então achâmos $n'^2 = n^2 - \cos^2 a$,

§ V

POTENCIA REFRACTIVA E PODER REFRANGENTE

Nas duas theorias, relativas á natureza da luz, vimos, que o indice de refracção não é mais do que a relação entre as velocidades *v* e *v'* da luz nos dous meios consecutivos. Temos, pois,

$$n = v' : v$$

Se supponmos um movel, que siga o mesmo ca-

minho que a luz, soffrendo as mesmas variações de velocidade, sua força viva variaria, passando d'um para o outro meio, $v'^2 - v^2$, e

$$\frac{v'^2 - v^2}{v^2} = n^2 - 1$$

em relação á sua força viva primitiva. A quantidade $n^2 - 1$ indica, pois, o effeito, que o meio refrangente, em que penetra o raio luminoso, exerce sobre sua velocidade; chama-se *potencia refractiva*. Se n fosse igual a 1, isto é, se o raio não soffresse desvio ao mudar de meio, vê-se, que a potencia refractiva seria nulla. n representa aqui, ou o indice absoluto ou o indice relativo, conforme um dos meios é o vaeuo, ou os dous meios são ponderaveis.

No systema das emissões acha-se, que a potencia refractiva é proporcional á densidade d ;

de sorte que a relação $\frac{n^2 - 1}{d}$ seria constante,

qualquer que fosse o estado da substancia, em que o raio penetrasse, quer fosse, por exemplo, comprimida ou dilatada, quer no estado solido, liquido ou gazoso. Mas experiencias de Petit e Arago sobre a mesma substancia, no estado de liquido e no de vapor, provarão, que esta lei é falsa. Comtudo, a lei poderia ser verdadeira para a mesma substancia no mesmo estado e cuja densidade fosse modificada ou pelo calor ou pela compressão.

Jamin achou, que é verdadeira para a agua differentemente comprimida; de maneira que podemos, partindo do indice de refração debaixo de differentes pressões, concluir o coeﬃciente de compressibilidade d'este liquido. Esta lei parece tãobem verdadeira para o mesmo gaz, sujeito, successivamente, a differentes pressões.

Seja como for, deu-se o nome de *poder refrangente* á razão da potencia refractiva para a densidade. Não ha, porém, razão para conservar esta expressão, visto que não representa sempre a quantidade constante, que ao principio se suppozera. Accrescentaremos, que alguns auctores designão pelo nome de poder refrangente o indice absoluto de refração, para assim o distinguirem do indice relativo.

§ VI

INDICE DE REFRACÇÃO DOS GAZES

Experiencia de Arago e de Biot. A figura 74 representa o aparelho, com que Arago e Biot determinarão o indice de refração dos gazes. E' um tubo de vidro *AB*, cortado obliquamente em suas extremidades, e fechado por duas placas de vidro de faces parallelas, inclinadas entre si 143° . Este tubo está em communição, d'uma parte, com uma campanula *H*, em que ha um barometro de siphão, da outra, com uma torneira, a favor da qual podemos fazer o vacuo e introduzir depois differentes ga-

zes. Depois de ter feito o vacuo no tubo AB , fazemol-o atravessar por um raio de luz SA , que se afasta da normal uma quantidade $r - i$ na primeira incidencia, e se aproxima uma quantidade $i' - r'$ na segunda. Junctando-se estes dous desvios, o desvio total d é $r - i + i' - r'$. Ora, no caso do desvio minimo temos

$$i = r' \quad \text{e} \quad r = i',$$

e
$$r + i = A;$$

logo
$$d = A - 2i.$$

O indice do vacuo para o ar, que é, evidentemente, $\frac{\text{sen } r}{\text{sen } i}$, tem, pois, por valor

$$\frac{\text{sen } \frac{A}{2}}{\text{sen} \left(\frac{A - d}{2} \right)} \dots \dots \dots (1)$$

Basta, portanto, conhecer o angulo refrangente A e o angulo de desvio minimo d , para d'aqui deduzir o indice de refracção do vacuo para o ar, ou o indice absoluto.

Para obter o indice absoluto d'outro gaz, introduz-se este no aparelho depois de feito o vacuo; depois medem-se os angulos A e d , e a formula (1) faz conhecer o indice de refracção

do gaz para o ar. Conhecendo já o índice do vacuo para o ar, a relação d'estes dous indices fornece o índice de refracção do vacuo para o gaz dado, isto é, seo indice absoluto.

Por meio d'este aparelho Biot e Arago achá-rão, que o índice de refracção dos gazes é sempre muito pequeno em relação aos dos solidos e dos liquidos, e que, para o mesmo gaz, a potencia refractiva é proporcional á densidade.

Maneira de tornar exactas as precedentes experiencias. Estas experiencias exigem grande precisão na medição do desvio; porque, apesar do grande angulo do prisma, este desvio é sempre muito pequeno; em geral, é d'um pequeno numero de minutos, e um pequeno erro no desvio produziria um erro muito grande no valor do indice. Não podemos entrar em todas as particularidades, em que seria necessario entrar; procuraremos sómente, fazer comprehender os principios, em que se funda a marcha das operações.

Em primeiro lugar, apesar do grande angulo do prisma, o desvio é tão pequeno, que a luneta do circulo graduado não pode ser dirigida, successivamente, para a imagem directa e para a imagem refracta, por causa da espessura do prisma. E' verdade, que poderíamos apontal-a, primeiramente, para esta última, depois tirar o prisma e dirigil-a para a mira; mas não teriamos a certeza de repol-o no mesmo lugar exactamente, para lhe applicarmos o processo da repetição dos angulos.

Depois de ter dirigido para a mira um raio visual através do prisma na posição AB , *fig. 75*, e obtido o maximo desvio por meio do raio *meio*, dá-se ao prisma a posição $A'B'$, fazendo-lhe descrever dous angulos rectos, e se lança outro raio visual para a mira, cuja imagem m' é então vista do lado opposto em relação a um raio *on* vindo directamente da mira. O angulo ioi' representa o dobro do angulo de desvio *noi*.

Então conduzem-se o prisma e a luneta á sua primeira posição, mas fazendo gyrar o limbô do instrumento; volta-se outra vez o prisma, e faz-se caminhar a luneta, estando fixo o limbo: o arco descripto pela luneta é então evidentemente igual a quatro vezes o desvio. Continuando assim, mediremos um arco N , que será igual a $2n$ vezes o desvio d , e teremos

$$d = N : 2n.$$

Os erros de leitura desaparecem, quando n é muito grande, e os erros de pontaria se compensão. Estas experiencias dão o desvio com muito grande precisão.

Experiencias de Dulong. Este physico propoz-se, principalmente, comparar entre si as potencias refractivas dos gazes na mesma temperatura e debaixo da mesma pressão, e o artificio, que para isto empregou, permittiu-lhe dar a seos resultados um grau de exacção, verdadeiramente inesperado em investigações tão

delicadas. Este artificio consiste em dar aos diversos gazes tal densidade, que todos imprimão exactamente o mesmo desvio á luz: para isto, um prisma com um angulo de cerca 145° communica com um reservatorio, em que podemos, por um lado, fazer o vacuo por meio da machina pneumatica, e, pelo outro, introduzir qualquer gaz, variando as pressões á vontade. Faz-se, por exemplo, uma primeira experiencia, introduzindo no prisma ar secco debaixo da pressão ordinaria e numa temperatura conhecida: com um oculo bom, collocado a alguma distancia, olha-se para a imagem d'uma mira afastada, refrangida através do prisma. Feito isto, fixa-se o oculo nesta posição, evacua-se bem o prisma, sem o deslocar, e introduz-se outro gaz, variando a pressão até ao momento, em que a imagem refracta da mira vem outra vez cair debaixo do fio do oculo. E' evidente, que o indice do gaz é igual, debaixo d'esta pressão H' , ao do ar debaixo da pressão H , que elle possuia. Designando por n' e n os indices de refração do gaz e do ar debaixo da mesma pressão H e da mesma temperatura, e por N o indice do gaz debaixo da pressão H' , o qual é igual a N , teremos para o gaz, pela lei das potencias refractivas proporcionaes ás densidades e por consequente ás pressões:

$$n'^2 - 1 : N^2 - 1 :: H : H' \text{ ou } n'^2 - 1 : n^2 - 1 :: H : H'.$$

Se quizessem os reduzir os resultados ao que

serião em uma temperatura e pressão dadas, por exemplo, na temperatura zero e na pressão $0^{\text{m}},76$, não haveria nada que alterar na proporção: bastaria fazer às potencias refractivas as mesmas alterações, que soffrem as densidades, isto é, multiplical-as por uma mesma quantidade, dependente da pressão e da temperatura; pois, todos os gazes se dilatão e se comprimem do mesmo modo nos limites das variações de temperatura e de pressão da atmosphera.

Por experiencias analogas sobre todos os gazes simples ou compostos, obter-se-ão, como se vê, suas potencias refractivas relativamente ao ar por meio d'uma simples proporção.

Das experiencias de Dulong tirão-se as seguintes consequencias:

1.^a Não se descobre nenhuma relação entre os numeros, que representão as potencias refractivas dos gazes e os que representão suas densidades.

2.^a A potencia refractiva d'uma mistura é igual á somma das potencias refractivas de seos elementos.

3.^a A potencia refractiva d'um composto gazoso é, ora menor, ora maior, do que a somma das potencias refractivas dos componentes.

4.^a O poder refrangente d'uma substancia no estado liquido é maior do que o poder refrangente da mesma substancia no estado gazoso.

§ VII

TABELLA DOS INDICES DE REFRACCÃO DOS SOLIDOS
E DOS LIQUIDOS. OBSERVAÇÕES

Muitos physicos, depois de Descartes e de Newton, construirão tabellas dos indices de refração de grande numero de substancias. As tabellas, que se seguem, contêm certo numero de resultados, devidos ás observações de Newton, Frauenhofer, Malus, Young, Biot, Wollaston, Herschel, Euler filho, Rochon.

*Tabella dos indices de refração d'alguns
solidos e d'alguns liquidos*

Sulphato de baryta.....	23 a	14
Vidro de antimonio.....	17 a	9
Cal sulphatada.....	61 a	41
Vidro ordinario.....	31 a	20
Crystal de rocha.....	25 a	16
Cal carbonatada.....	5 a	3
Sal gemma.....	17 a	11
Alumen.....	35 a	24
Borax.....	22 a	15
Nitrato de potassa.....	32 a	21
Sulphato de ferro.....	303 a	200
Acido sulphurico.....	10 a	7
Agua da chuva.....	529 a	396
Gomma arabica.....	31 a	21
Alcool rectificado.....	100 a	73
Camphora.....	3 a	2

Azeite.....	22 a	15
Oleo de linhaça.....	40 a	27
Essencia de terebenthina.	25 a	17
Alambre.....	14 a	9
Diamante.....	100 a	41

Observações. 1.^a Os indices de refracção, attribuidos por diversos physicos á mesma substancia, differem muitas vezes em quantidades notaveis. Isto pode provir, em parte, da imperfeição dos meios empregados para a medição; mas deve-se attribuir, principalmente, á falta de identidade nas amostras observadas.

2.^a Os resultados geraes, que se podem deduzir do grande numero de indices avaliados, são muito poucos. Newton, havendo notado, que os oleos, que são combustiveis, possuem um indice de refracção muito grande, e que o diamante e a agua tem um indice maior ou pouco inferior aos dos oleos, d'aqui desumira com grande afouteza, que o diamante e a agua devião conter algum principio combustivel; e esta previsão foi verificada, quando a chymica moderna veio demonstrar, que o diamante é carbonio crystallizado, e a agua contém um gaz inflammavel.

3.^a Podemos dizer, em geral, que tudo, que augmenta a densidade d'uma mesma substancia, tãobem augmenta a sua refrangibilidade.

4.^a Quando um corpo passa de solido a liquido, sua refrangibilidade umas vezes diminue, como o acido phosphorico, a cera, o cebo;

outras vezes cresce, como a agua, o borax; outras vezes não varia sensivelmente, como o asucar.

5.^a Deville observou o indice de refracção do alcool, do espirito de pao e do acido acetico, misturados com agua em differentes proporções. Estas substancias dão o maximo de contracção ou de densidade, quando se unem a tres equivalentes de agua. E tãobem com esta proporção de agua, que as duas últimas substancias apresentam o maior indice de refracção, entretanto que, para o alcool, o maximo de refrangibilidade tem logar, quando ha um só equivalente de agua

§ VIII

TABELLA DOS INDICES DE REFRACÇÃO
E DAS POTENCIAS REFRACTIVAS DOS GAZES.
OBSERVAÇÕES

A tabella seguinte contém os resultados obtidos por Dulong.

Ar atmosferico	1,000294
Oxygeneo	1,000272
Hydrogeneo	1,000138
Azote	1,000300
Ammoniaco	1,000385
Acido carb.	1,000449
Chloro	1,000772
Acido chlorhyd.	1,000449
Oxido de azote	1,000503

Gaz nitroso	1,000303
Oxydo de carbonio	1,000340
Cyanogeneo	1,000834
Ether chlorhyd.	1,001095
Acido cyanhyd.	1,000451
Gaz oxychlorocarb.	1,001159
Acido sulphuroso	1,000665
Ether sulphurico	1,000153

Observações. 1.^a Não ha relação simples entre a potencia refractiva dos gazes e sua densidade. Assim, a densidade do vapor de ether chlorhydrico é um pouco mais fraca do que a do acido sulphuroso, e a potencia refractiva do primeiro é superior á do acido sulphuroso mais

de $\frac{2}{3}$ d'esta: o vapor de ether sulphurico pos-

sue, pouco mais ou menos, a mesma densidade que o chloro, e sua potencia refractiva é dupla. Tendo isto logar para os gazes simples, que, debaixo da mesma pressão e mesma temperatura, tem suas moleculas egualmente distantes, vê-se, que estas moleculas não obrão do mesmo modo sobre a luz.

2.^o A potencia refractiva dos gazes e vapores é proporcional á sua pressão; mas esta lei não tem sido verificada senão para pressões inferiores á pressão atmospherica. Foi achada exacta para temperaturas comprehendidas entre 8° e 32°.

3.^o A potencia refractiva d'uma mistura de

gazes é igual á somma das potencias refractivas dos gases misturados, referidas á pressão particular de cada um d'elles na mistura.

4.^a A potencia refractiva d'um composto gazooso não é igual á somma das potencias refractivas dos gases componentes. Este resultado, que Dulong verificou em grande numero de gazes, patenteia-se na tabella seguinte:

NOMES DOS GAZES	POTENCIA refractiva observada	POTENCIA refractiva calculada	EXCESSO DA OBSER- VAÇÃO sobre o calculo
Ammoniacó	1,309	1,216	+ 0,093
Oxydo d'azote..	1,710	1,482	+ 0,228
Gaz nitroso....	1,030	0,972	+ 0,058
Agua.....	1	0,933	+ 0,067
Gaz oxychloro- carbonico....	3,936	3,784	+ 0,0152
Ether chlorhy- drico.....	3,72	3,829	— 0,099
Acido cyanhy- drico.	1,521	1,651	— 0,130
Acido carbonico.	1,526	1,629	— 0,093
Acido chlorhy- drico.....	1,527	1,547	— 0,020

As diferenças são muito superiores ás que poderiam provir dos erros de observação. Tendo o ar uma potencia refractiva egual á somma das potencias refractivas do oxygeno e do azote, referidas á pressão, que elles tem no composto, d'aqui devemos inferir, que o ar é uma mistura e não uma combinação dos dous gazes.

CAPITULO XVI

TRANSMISSÃO DA LUZ ATRAVÉS DE MEIOS LIMITADOS POR SUPERFICIES CURVAS

§ I

DIFFERENTES ESPECIES DE LENTES

Lentes são meios transparentes, ordinariamente de vidro, que, em razão da forma de sua superficie, tem a propriedade de fazer convergir ou divergir os raios luminosos, que os atravessão. Ha seis especies de lentes, as quaes resultão da combinação de superficies esphericas entre si ou com superficies planas.

1.^a *Lentes bi-convexas*, que tem ambas as superficies convexas, *fig.* 76.

2.^a *Lentes plano-convexas*, que tem uma superficie convexa e outra plana, *fig.* 77.

3.^a *Lentes concavo-convexas* ou *meniscos convergentes*, que tem uma superficie convexa e outra concava, tendo esta uma curvatura menor do que aquella, *fig.* 78.

4.^a *Lentes bi-concavas*, que tem ambas as superficies concavas, *fig. 79.*

5.^a *Lentes plano-concavas*, que tem uma superficie concava e outra plana, *fig. 80.*

6.^a *Lentes convexo-concavas* ou meniscos divergentes, que tem uma superficie convexa e outra concava, sendo a curvatura d'esta maior do que a d'aquella, *fig. 81.*

As lentes da 3.^a e 6.^a especies tãobem se chamão *periscopicas*. Quando a curvatura d'ambas as suas faces é igual, actuação como vidros planos.

As lentes das tres primeiras especies, que são mais espessas no centro do que nas margens, são convergentes: as das tres últimas, que são mais espessas nas margens do que no centro, são divergentes. No primeiro grupo, basta considerar a lente bi-convexa, e no segundo a lente bi-concava: as propriedades de cada uma d'estas lentes se applicão ás lentes do respectivo grupo.

O poncto *c*, *fig. 82*, centro das superficies esphericas das lentes, chama-se *centro geometrico* ou *centro de curvatura*; *pq* é o *diametro* ou *abertura linear*; *m*, seo poncto medio, é o *centro optico*; a recta, tirada por *m*, perpendicularmente ao diametro, chama-se *eixo principal*; *p* e *q* são os *vertices* da lente; os raios *cn*, *cs*, são as normaes para cada poncto de incidencia d'um raio de luz; a recta, que passa pelo centro optico, como *lmo*, appellida-se *raio principal*.

Se concebemos dous planos, em contacto com

as superficies das lentes nos pontos $n n$, é evidente, que estes planos são perpendiculares aos eixos principaes, e, por consequencia, parallellos entre si: mas se os planos tocão a superficie da lente em outros dous pontos acima ou abaixo do eixo principal, estes planos cortar-se-ão mutuamente, e seo angulo de intersecção será tanto maior, quanto mais se aproximarem da margem da lente os pontos de contacto. D'aqui se segue, que as lentes, na refração da luz, operão como prismas, formados pelos dous planos, que imaginámos applicados á superficie da lente nos pontos de incidencia e de emergencia dos raios. Só os raios, que passam pelo centro optico, é que não estão nas mesmas circumstancias, como veremos.

Uma lente assimelha-se, pois, a uma combinação de infinitos prismas com angulos de refração differentes; e como cada raio luminoso, que atravessa o prisma, se refrange para o lado da parte mais espessa, segue-se, que as lentes convexas refrangerão os raios para o lado do eixo, e as concavas os refrangerão, afastando-os do eixo.

§ II

FOCOS DAS LENTES BI-CONVEXAS

Foco principal. Todos os raios *rs*, *fig.* 83, parallellos ao eixo principal, se refrangem de modo, que, ao deixarem a superficie da lente, vão convergindo, até cortarem o eixo. O ponto

f chama-se *foco principal*, e sua distancia fn á superficie da lente, ou fm ao centro optico, denomina-se *distancia focal principal*. Esta distancia varia com o raio de curvatura e com o indice de refracção. Nas lentes ordinarias, que são de *crown*, o fogo principal coincide muito proximamente com o centro de curvatura.

Os raios luminosos, que partem do foco principal f e vão incidir sobre a superficie da lente, continuão, depois da refracção, a caminhar parallelamente ao eixo.

Foco conjugado. Os raios divergentes, como rs , *fig.* 84, que partem d'um poncto r , situado sobre o eixo, mais distante da superficie da lente do que o foco principal, convergem, depois da refracção, e vão encontrar-se em um poncto r' sobre o eixo, cuja distancia á superficie da lente é maior do que a distancia focal principal; e será tanto maior, quanto menos distar do foco o poncto radiante. Se o poncto radiante r coincide com o foco principal f' , os raios emergentes são parallellos ao eixo; e então não ha foco.

Este foco denominou-se conjugado, por causa da relação, que existe entre os ponctos r e r' , relação tal, que, se o poncto radiante é transportado para r' , reciprocamente o foco passa para r .

Foco virtual. Os raios, que partem d'um poncto r , *fig.* 85, do eixo, mais proximo da superficie da lente do que o foco principal, divergem mais do que os que partem d'este foco; pór-

tanto, continuão, depois da emergencia, a ser divergentes. Estes raios não podem formar nenhum foco real; mas seos prolongamentos vão concorrer em um poncto f' , situado sobre o eixo, e é a este poncto, que se dá o nome de *foco virtual*

§ III

CENTRO OPTICO, EIXOS SECUNDARIOS

Em todas as lentes, ha um poncto, chamado *centro optico*, o qual está situado sobre o eixo principal, e tem a propriedade; que es raios luminosos, que por elle passam, não soffrem desvio angular; isto é, que o raio emergente é parallelo ao raio incidente.

Para demonstrar a existencia d'este poncto em uma lente bi-convexa, tirem-se dous raios de curvatura, parallelos CA e $C'A'$, *fig.* 86. Como os dous elementos planos, pertencentes á superficie da lente em A' e A , são parallelos entre si, por serem perpendiculares a duas rectas parallelas, podemos admittir, que o raio refracto $KAA'K'$ se propaga em um meio de faces parallelas: por consequencia, o raio luminoso, que se apresenta em A com a inclinação conveniente, para seguir, depois de refracto, a direcção AA' , deve sair parallelo á sua primeira direcção. O poncto O , em que a recta AA' corta o eixo, é, pois, o centro optico.

Para determinar a posição d'este centro, no caso de ser a mesma a curvatura das duas fa-

ces, que é o caso geral, basta notar, que os triangulos COA e $C'OA'$ são eguaes, e que OC é egual OC' , o que faz conhecer o poncto O . Se as curvaturas são deseguaes, os triangulos COA e $C'OA'$ são semelhantes, d'onde se deduz CO ou $C'O$, e, por conseguinte, o poncto O .

Por esta mesma construcção, se determina o centro optico, para o caso das lentes bi-concavas e concavo-convexas. Nas plano-convexas e plano-concavas, o centro optico é mesmo na intersecção do eixo pela face curva.

Qualquer recta PP' , *fig. 87*, que passe pelo centro optico, sem passar pelos centros de curvatura, chama-se *eixo secundario*. Tendo em vista a propriedade do centro optico, qualquer eixo secundario pode representar um raio luminoso rectilíneo, passando por este poncto; porque, attenta a pequena espessura das lentes, podemos admittir, que os raios, que passam pelo centro optico, se conservão em linha recta, isto é, podemos desprezar o pequeno desvio, que os raios experimentão, permanecendo, todavia, parallellos, quando atravessão um meio de faces parallelas.

Quando é pequeno o angulo, que os eixos secundarios fazem com o eixo principal, podemos applicar-lhes tudo, que até aqui temos dicto á cerca do eixo principal; isto é, os raios, lançados d'um poncto P , situado sobre um eixo secundario PP' , vem, muito proximamente, concorrer no mesmo poncto P' d'este eixo; e, conforme a distancia do poncto P á superficie da

lente é maior ou menor do que a distancia focal principal, o foco, assim formado, é conjugado ou virtual.

§ IV

FORMAÇÃO DAS IMAGENS NAS LENTES BI-CONVEXAS

A imagem d'um poncto luminoso, cujos raios são refrangidos por uma lente convexa, formase no poncto de intersecção d'estes raios. Se achâmos onde dous raios, que atravessão a lente, se interseptão, determinaremos a posição da imagem. D'entre o numero infinito de raios, que, partindo d'um só poncto, se transmittem através da lente, ha dous, cujo emprego é mais conveniente: taes são; um raio principal, e um raio parallelo ao eixo principal. O poncto de intersecção d'estes dous raios determina a posição da imagem do poncto radiante.

Para determinar a posição da imagem do poncto radiante r , *fig. 88*, tire-se rs parallela ao eixo: este raio, quando refrangido, irá passar pelo foco f na direcção fr' : tire-se outro raio, que vá passar pelo centro optico m ; este segundo raio continuará a caminhar na mesma direcção, e encontrará o primeiro em r' . Este poncto d'encontro é a imagem de r .

A imagem d'um poncto luminoso, situado no eixo principal d'uma lente, será tãobem no eixo; e a imagem d'um poncto, situado d'um lado d'esta linha, achar-se-á do lado opposto.

Para determinar a posição da imagem d'um

objecto, cujos raios são refrangidos por uma lente, acharemos a imagem dos pontos, de que é formado o contorno da figura do objecto.

A refração dos raios luminosos nas lentes convexas dá lugar aos seguintes phenomenos:

1.º Os objectos, cuja distancia á superficie da lente é maior do que a distancia focal, apresentam, para o lado opposto da lente, uma imagem fluctuando no ar, á qual, por isso, se dá o nome de *imagem aerea*.

2.º Se o objecto está, como o sol, a grande distancia, veremos, perto do foco da lente, sua imagem invertida, extremamente pequena.

3.º Se a distancia do objecto á superficie da lente é igual a duas vezes a distancia focal, a imagem aerea ver-se-á, do outro lado da lente, a igual distancia e do mesmo tamanho, *fig. 89*.

4.º Se a distancia do objecto ao foco diminue, a imagem aerea afasta-se da lente, e suas dimensões se tornão maiores do que as do objecto, *fig. 90*.

Estas imagens, como as reflectidas por espelhos concavos, podem ser recebidas sobre um fundo branco.

Faz-se applicação d'estas imagens em muitos instrumentos opticos, como na camera escura, no microscopio composto, no telescopio astronomico refrangente.

5.º Se no foco d'uma lente convexa pomos um corpo irradiante, como um candeeiro de Argant ou um carvão em brasa, nenhuma imagem do

objecto se produzirá, mas toda a superficie da lente se tornará luminosa; porque todos os raios, que se transmittem através da lente, são parallellos ao seo eixo.

Em consequencia d'esta propriedade das lentes convexas, faz-se uso d'ellas nos microscopios e em outros instrumentos, para augmentar a intensidade da luz.

6.^a Se o objecto *NS*, *fig. 91*, está situado entre o foco e a superficie da lente, veremos do mesmo lado, alem do objecto, sua imagem augmentada *ns*, cuja distancia á lente está na razão inversa da distancia do objecto ao foco. Neste caso, o raio, que se refrange ao atravessar a lente, diverge em relação ao eixo secundario. Este raio, prolongado em sentido contrário de sua direcção, vai cortar o eixo secundario em um poncto *n*, que é o foco virtual do poncto *N*.

Traçando o eixo secundario do poncto *S*, achâmos, do mesmo modo, em *s*, o foco virtual d'este poncto. Temos, pois, em *ns*, a imagem de *NS*. Esta imagem é recta, virtual e maior do que o objecto.

As lentes convexas chamão-se *vidros de augmentar*, por causa da faculdade, que tem, de augmentar a grandeza dos objectos, vistos a pequena distancia através d'elles.

Se comparâmos os phenomenos, que acabâmos de estudar, com os que se produzem nos espelhos concavos, veremos, que os effeitos da refração da luz nas lentes convexas e os da reflexão nos espelhos concavos são os mesmos.

§ V

FOCOS DAS LENTES BI-CONCAVAS

Nas lentes bi-concavas, não ha senão focos virtuaes, qualquer que seja a distancia do objecto. Os raios luminosos refrangem-se ao atravessal-as, e, depois de sua emergencia, a divergencia augmenta.

Os raios, parallellos ao eixo principal, *fig. 92*, divergem depois da refração, e seos prolongamentos se encontram num poncto f' , que é o foco virtual principal.

Se os raios partem d'um poncto, situado sobre o eixo principal, *fig. 93*, divergem ainda mais depois da refração, e parecem vir d'um foco virtual r' , situado mais perto da superficie da lente do que o poncto f' , d'onde effectivamente vem.

§ VI

FORMAÇÃO DAS IMAGENS NAS LENTES BI-CONCAVAS

Como as lentes bi-concavas não refrangem os raios luminosos, de modo que os reunão em um foco da parte opposta á, em que o objecto está, segue-se, que estas lentes não dão imagens aereas. Seja N , *fig. 94*, um poncto do objecto NS : tire-seo eixo secundario d'este poncto. Todos os raios, que saem de N , se refrangem duas vezes no mesmo sentido, apartando-se do eixo secundario: e ver-se-á a imagem de N no poncto n , em que

so prolongamentos dos raios emergentes encontram o eixo secundario. O mesmo diremos do outros pontos do objecto *NS*; e sua imagem *ns*, será recta, virtual, menor do que o objecto, e mais proxima da lente do que elle.

A imagem de objectos mui distantes é extremamente pequena, e está situada no foco virtual. Estas lentes são, por isso, algumas vezes, chamadas *vidros de diminuir*.

Se comparâmos a reflexão da luz nos espelhos convexos com sua refração nas lentes concavas, vemos, que seus efeitos são precisamente semelhantes.

§ VII

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO FOCO PRINCIPAL DAS LENTES

Para determinar o foco principal d'uma lente bi-convexa, basta expol-a aos raios solares, de modo que seu eixo principal lhes seja paralelo. Recebendo então, sobre um alvo de vidro despolido, o feixe emergente, determinâmos facilmente o ponto, em que os raios concorrem. Este ponto é o foco principal.

Se a lente é bi-concava, cobre-se a face *aDb*, *fig. 95*, com um corpo opaco, caryão de fumo, por exemplo, reservando, no mesmo plano meridiano e a igual distancia do eixo, dous pequenos discos *a* e *b*, não enegrecidos, que deixem passar a luz: depois, recebe-se na outra face da lente, parallelamente ao eixo, um feixe de luz

solar, e faz-se avançar ou recuar o alvo P , que recebe os raios emergentes, até que as imagens A e B das pequenas aberturas a e b distem uma da outra o dobro de ab . O intervallo DI é, então, egual á distancia focal FD , por causa da similitude dos triangulos Fab e FAB .

§ VIII

REGRA GERAL PARA A CONSTRUÇÃO DAS IMAGENS NAS LENTES

Alem do que dissemos a este respeito, formularemos aqui, para a construcção das imagens nas lentes, uma regra analogá á que já demos relativamente aos espelhos; mas, antes d'isso, importa ter bem presente, que, do mesmo modo que um poncto, situado no eixo principal, tem sua imagem sobre este eixo, tãobem um poncto, situado sobre um eixo secundario, tem sua imagem sobre este último. Note-se mais, que só os raios, que partem do mesmo poncto, fazem imagem no poncto, em que se cortão; os raios, que partem de pontos differentes, nunca produzem imagem por sua intersecção. Posto isto, considerando, primeiramente, o caso d'uma lente bi-convêxa, e suppondo o objecto alem do foco principal, a imagem se obtem pela construcção seguinte:

1.º Pelo poncto dado, tire-se um eixo secundario: 2.º do poncto dado á lente tire-se um raio incidente: 3.º juncte-se o poncto de incidencia

ao centro de curvatura por uma recta, que representará a normal: 4.º trace-se o raio refracto, aproximando-o da normal, uma quantidade fornecida pelo indice de refração do ar para o vidro: 5.º trace-se a normal do ponto de emergencia: 6.º tire-se o raio emergente, afastando-o da normal, uma quantidade indicada pelo indice de refração do vidro para o ar. O raio emergente, assim obtido, vai cortar o eixo secundario em um ponto, que é o lugar da imagem real do ponto dado.

Applicando a mesma construcção a cada ponto d'um objecto, posto diante d'uma lente, teremos sempre sua imagem.

Se o objecto está entre a lente e seo foco principal, as construcções são as mesmas, com a unica differença, que não são os raios emergentes, que encontram os eixos secundarios, mas seus prolongamentos.

A mesma observação se deve fazer ácerca das lentes bi-concavas.

§ IX

FÓRMULAS RELATIVAS ÁS LENTES

Todos os phenomenos, relativos á refração da luz nas lentes convexas e concavas, os quaes deduzimos por construcção, em harmonia com a lei geral da refração, podem ser deduzidos e demonstrados, geometricamente, por um processo semelhante ao que já adoptámos para os espeelhos esphericos.

Represente *LL*, *fig. 96*, a secção d'uma lente convexa na direcção de seo eixo principal *DF*: seja *M* o centro de curvatura da face *LEL*, e *M'* o da face *LGL*.

Puncto luminoso sobre o eixo principal. Seja *D* qualquer puncto luminoso; situado sobre o eixo principal, e *DB* um raio luminoso obliquo; *CF* será o raio depois da refração; e *OF*, sua distancia focal, será, proximamente, egual a *GF*; se a espessura da lente for muito pequena.

Sejão, $MG = r$, $M'E = r'$, raios; $DE = a$, distancia do objecto á lente; $FG = a$, distancia da imagem á lente; *HB*, normal á tangente em *B*. Sejão os angulos $DBH = e$, $ABC = b$, $BDM = x$, $ACB = e'$, $ICF = b'$, $CFM' = x'$, $AME = y$, $AM'G = y'$.

No puncto *B* temos

$$\text{sen } e : \text{sen } b :: n : 1,$$

e no puncto *C*

$$\text{sen } b' : \text{sen } e' :: n : 1;$$

$$\therefore \text{sen } e : \text{sen } b :: \text{sen } b' . \text{sen } e'$$

$$\therefore \text{sen } e + \text{sen } b' : \text{sen } b + \text{sen } e' :: \text{sen } e : \text{sen } b \\ :: n : 1;$$

e sendo os angulos muito pequenos, teremos

$$e + b' : b + e' :: n : 1$$

Ora,

$$\begin{aligned} e &= x + y' \\ b' &= x' + y \end{aligned}$$

$$e + b + e' = BAM = y + y';$$

$$\therefore x + y' + x' + y : y + y' :: n : 1,$$

$$\therefore x + x' : y + y' :: n - 1 : 1$$

$$\therefore x + x' = (n - 1)y + (n - 1)y' \dots \dots (1)$$

Sendô os angulos muito pequenos, podemos considerar seus arcos como rectas perpendiculares ao eixo *DF*, e teremos.

$$\operatorname{tg} x = \frac{BE}{DE} = \frac{BE}{a} \qquad \operatorname{tg} x' = \frac{CG}{FG} = \frac{CG}{a}$$

$$\operatorname{tg} y = \frac{CG}{MG} = \frac{CG}{r} \qquad \operatorname{tg} y' = \frac{BE}{M'E} = \frac{BE}{r'}$$

Pela mesma razão de serem mui pequenos os angulos, podemos substituir as tangentes aos angulos na equação (1), e teremos.

$$\frac{BE}{a} + \frac{CG}{a} = (n - 1) \frac{CG}{r} + (n - 1) \frac{BE}{r};$$

e por ser muito pequena a espessura da lente,

$$BE = CG;$$

pelo que a última equação se reduz a

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'},$$

ou

$$\frac{1}{a} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'} - \frac{1}{a},$$

Sendo $a = \infty$, isto é, sendo parallelos os raios, será

$$\frac{1}{a} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'}$$

ou

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'}$$

Ambas estas equações aproximadas se applicão a todas as especies de lentes, advertindo sómente, que nas lentes concavas, r e r' , são negativas. Se alguma das cinco grandezas, a , a , n , r , r' , é desconhecida, podemos determiná-la por meio d'estas fórmulas.

Poncto luminoso fóra do eixo principal. Seja o poncto luminoso N , *fig. 97*, situado fora do eixo AS da lente LL , e seja sua posição de-

terminada pela abscissa $As = a$, e pela ordenada $SN = b$. Se os raios, que partem de N , fazem um angulo muito pequeno com o eixo, sua distancia focal n pode ser determinada pela intersecção do raio principal NAn , que passa pelo centro optico A , e do raio incidente em I e refracto na direcção In . Seja a abscissa $As = a$ e sua ordenada $sn = \beta$: sua posição será determinada pelas equações

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a} \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta = \frac{a}{a} \cdot b \dots \dots \dots (3)$$

Do que acabámos de dizer, se segue:

A. Nas lentes bi-convexas, sendo eguaes os raios de curvatura, isto é, sendo $r = r'$ temos,

$$\frac{2(n-1)}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

e, por ser $n = \frac{3}{2}$ para o vidro ordinario,

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

1.º Quando $a = \infty$, isto é, quando o objecto está muito distante

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a}$$

ou

$$a = r = f$$

isto é, a distancia focal é igual ao raio.

A imagem physica do objecto produz-se no outro foco, é invertida, e infinitamente pequena, como se vê pela equação (3), que neste caso se reduz a

$$c = \frac{a}{\infty} \cdot b$$

2.º Quanto mais diminue a , isto é, quanto mais o objecto se aproxima da lente, menor se torna $\frac{1}{a}$, e, consequentemente, maior se torna a .

A imagem physica invertida acha-se, portanto, mais distante do foco opposto e augmentada.

3.º Se $a = r$, isto é, se o objecto está no centro geometrico (em um dos focos principaes)

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} = 0$$

$$\therefore a = 0$$

isto é, nenhuma imagem se forma, porque os raios emergentes são paralelos ao eixo.

4.º Quando $a < r$, isto é, quando o objecto está entre o foco e a lente, temos

$$\frac{1}{a} > \frac{1}{r};$$

portanto, a é negativo; e uma imagem recta vertical se forma do mesmo lado da lente, sendo esta imagem tanto mais remota e tanto maior, quanto mais proximo do foco está o objecto; isto é,

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a}$$

B. Para as lentes bi-concavas, sendo os raios de curvatura similhantemente expressos, a equação torna-se em

$$-\frac{1}{r} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

1.º Se $a = \infty$, temos

$$-\frac{1}{r} = \frac{1}{a}$$

$$\therefore a = -r = -f$$

isto é, a imagem é recta, e acha-se no foco do mesmo lado da lente que o objecto.

2.º Quanto menor é a , menor é também a' , conservando ainda o signal menos, de sorte que, para $a = r$, temos

$$a' = -\frac{r}{2};$$

para $a = \frac{r}{2}$, temos

$$a' = -\frac{r}{3}$$

D'aqui se deduz, que estas imagens cairão, invariavelmente, do mesmo lado com o objecto, entre o foco e a lente; são também rectas, virtuaes e menores do que o objecto.

C. Nas lentes plano-convexas, quando $r' = \infty$

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

e como para o vidro $n = \frac{3}{2}$, temos

$$\frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

Se $a = \infty$, é $\frac{1}{a} = \frac{1}{2r} \therefore a = 2r = f$

se $a = 2r$, é $\frac{1}{a} = 0 \therefore a = \infty$

se $a = r$, é $\frac{1}{a} = -\frac{1}{2r} \therefore a = -2r$

D. Para as lentes plano-convexas, a equação é

$$-\frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$$

d'onde se tirão os outros valores os mesmos que em C.

Para as lentes concavo-convexas, as equações se podem deduzir das precedentes, fazendo negativo o raio r ou r' da concavidade.

§ X

ABERRAÇÃO DE ESPHERICIDADE. DIACAUSTICA

Quando os raios, que partem d'um ponto luminoso, situado sobre o eixo principal, ou sobre um eixo secundario pouco inclinado relativamente a este último, atravessão uma lente, os raios, que emergem perto dos bordos, são mais desviados do que é necessario, para se encontrarem no foco formado pelos que emergem perto do eixo. D'aqui resulta, que, se os raios emergem divergindo, os que passão perto dos bordos vão cortar virtualmente o eixo, mais longe da lente do que os outros. Se pelo contrario os raios são convergentes, os que se apartão mais do eixo, vão encontral-o mais perto da lente; de sorte que os raios incidentes, comprehendidos no mesmo plano, que passa pelo eixo, secortão a dous e dous, formando uma curva caustica, concava para o lado d'este eixo. Portanto, se procurámos com um alvo o foco do ponto luminoso, vel-o-emos rodeado d'uma aureola formada pelos raios, que se cruzão em diferentes pontos de eixo. Se é um objecto luminoso, como a chamma d'uma vela, a imagem focal apparecerá cercada d'uma aureola luminosa, que perturbará sua nitidez. Para provar, que esta aureola é produzida pelos raios, que emergem perto dos bordos da lente, basta interceptar estes raios por meio d'um alvo anular; a aureola desaparece logo, e a imagem torna-se mui-

to mais distincta. Se, ao contrario, interceptamos, por meio d'um pequeno alvo circular, os raios, que incidem perto do eixo principal, a imagem faz-se confusa, e é necessario, para vel-a distinctamente, chegar o alvo até ao poncto, em que se formão os focos dos raios, que incidem perto dos bordos da lente.

A falta de concurso, no mesmo poncto, dos raios emergentes constitue a aberração de *esphericidade* da lente. O logar, em que a luz é mais viva, não é o vertice da caustica, mas um poncto mais proximo da lente, por serem mais numerosos os raios, que incidem perto de seus bordos, do que os que incidem perto do eixo.

Quando queremos, que os efeitos da aberração d'uma lente de vidro sejam insensiveis, damos á lente uma abertura, que não vá além de 10° ou 12° .

Experiencia. Herschel ensinou um meio muito simples para comparar a direcção dos raios, que atravessão uma grande lente em diferentes distancias do eixo. Cobre-se a lente com uma folha de papel, no qual estão feitos pequenos orificios egualmente espacejados sobre o mesmo circulo maximo, e expõe-se aos raios solares, de maneira que incidão parallelamente ao eixo da lente. Collocando um alvo muito perto da lente, vemos os raios, que atravessão os orificios, formarem manchas luminosas egualmente distanciadas; mas se a pouco e pouco afastamos o alvo, as manchas mais desviadas do eixo se apertão mais do que as outras, depois se reúnem

successivamente, a duas e duas, para em seguida mudarem de logar uma a respeito da outra. O ponto, em que se dá a coincidência de dous feixes vizinhos, pertence á diacaustica.

§ XI

USO DAS LENTES; LENTES DE FRESNEL.

PHAROES DE REFRACCÃO

Usa-se das lentes, para produzir em seo foco uma alta temperatura pela concentração dos raios solares. Se todos os raios convergissem exactamente no mesmo ponto, o effeito d'uma lente seria proporcional á sua extensão; mas a aberração de esphericidade o diminue muito. A difficuldade de obter grandes massas de vidro sufficientemente puro e de com ellas construir grandes lentes, levou Buffon a construir lentes com anneis concentricos, *fig. 98*, sendo cada um d'elles formado de muitas peças. Estas lentes foram aperfeiçoadas por Fresnel, e são conhecidas pelo nome d'este physico famoso. Pode-se calcular a curvatura das peças anulares, de modo que os raios refractos passem exactamente pelo mesmo ponto. As lentes, assim construidas, são muito preferiveis ás d'uma só peça e d'uma só curvatura.

Pharocs de refraecção. As lentes tão-bem servem para levar a luz a grande distancia, pondo o foco de luz no foco principal da lente; mas para isto preferem-se ás lentes ordi-

narias as lentes de Fresnel. Este philosopho construiu pharoes, que levão a luz a uma distancia muito maior do que os antigos pharoes de reflexão; por isso hoje não se usa senão de pharoes lenticulares. O lume colloca-se no foco principal da lente, e os raios emergentes formão assim um feixe paralelo, e se propagão a grande distancia. O aparelho gyra com uniformidade sobre si mesmo: então o feixe attinge successivamente o mesmo poncto do horizonte, em momentos egualmente afastados uns dos outros; o numero dos eclipses, que se produzem no mesmo tempo, varia d'um para outro pharol, e fornece, aos navegantes, meios de reconhecer-os, e, portanto, meio de reconhecer a costa, na presença da qual se achão.

CAPITULO XVII

REFRACÇÃO DUPLA

§ I

PHENOMENO DA REFRACÇÃO DUPLA

Chama-se *refracção dupla* a propriedade, que muitos corpos transparentes possuem, de dividir cada raio incidente em dous raios refractos. Os objectos, vistos através d'estes corpos, parecem, pois, duplos. Esta refracção particular não tem lugar em todas as direcções através d'elles. Ha uma ou duas direcções, chamadas *ei-*

xos de refração dupla, que tem a propriedade de que todos os raios, que lhes são parallelos ou perpendiculares, não soffrem senão a refração simples. Em qualquer outra direcção a refração é dupla.

As substancias, que exercem esta nova acção sobre a luz, chamão-se *duplamente refrangentes*. De todas as substancias conhecidas, a que a exerce com mais energia, é o carbonato de cal crystallizado, tãobem chamado *spatho de Islandia*. Sua forma primitiva é um *rhomboedro* ou solido limitado por seis rhomboides, *fig. 99*. A linha recta, tirada d'um dos angulos obtusos *b*, para o que lhe é opposto, *h*, chama-se *eixo principal de refração dupla*. O plano, *bfhd*, que passa por esta linha e corta as faces superior e inferior, *abcd* e *efgh*, em angulos rectos, tem o nome de *secção principal*. Como qualquer crystal perfeito pode reputar-se um aggregado de infinitas moleculas semelhantes á forma primitiva d'elle, segue-se; que todas as linhas, parallelas ao eixo principal, serão tãobem eixos de refração dupla; e que todos os planos, que passam por estes eixos e são perpendiculares ás faces superior e inferior do crystal, serão tãobem secções principaes. Finalmente, todas as faces, que limitão o crystal, através de que passa o raio luminoso, denominão-se *planos refrangentes*.

§ II

PHENOMENOS, QUE ACOMPANHÃO A REFRAÇÃO
DUPLA

1.º *phenomeno*. Se os planos refrangentes cortão o eixo em angulos rectos, um raio, que atravesse o crystal perpendicularmente a um d'estes planos, não se divide nem se desvia.

Experiencia. Cortem-se os angulos obtusos d'um crystal de spatho de Islandia, de maneira que os planos secantes sejam perpendiculares ao eixo de refração dupla; isto é, sendo *abcd*: *fig. 100*, uma secção principal e *ab* o eixo, será *mn* e *op* a posição d'estes planos ou focos refrangentes. Qualquer raio *af*, que incide perpendicularmente sobre elles, não se divide nem se desvia; continua a caminhar na direcção *fb*. Colloque-se uma d'estas faces sobre um papel branco, onde se tenha feito um signal com tinta, e olhe-se perpendicularmente para este; ver-se-á um só.

2.º *phenomeno*. Se as faces refrangentes são parallelas á secção principal ou ao eixo, um raio, que atravesse o crystal perpendicularmente a uma d'estas faces, também se não divide nem desvia.

Experiencia. Seja *abcd fig. 101*, a secção principal d'um crystal de spatho de Islandia, *ab* o eixo de dupla refração, *op* e *mn* as faces refrangentes parallelas. Qualquer raio *df*, incidindo perpendicularmente sobre ellas, continuará a

caminhar na direcção *fc*. Um objecto, visto através do crystal assim cortado, mostrar-se-á unico, do mesmo modo que na experiencia precedente.

3.º *phenomeno*. Quando as superficies refrangentes não são perpendiculares nem paralelas ao eixo, o raio, que atravessa o crystal, apresenta o phenomeno da dupla refração. É o que acontece, quando os raios atravessão a superficie natural do crystal. Cada raio se divide em dous: um refrange-se segundo as leis ordinarias da refração, e chama-se *raio ordinario*; o outro desvia-se d'esta lei, e chama-se *raio extraordinario*.

1.ª *experiencia*. Faça-se entrar em uma casa escura um raio solar, de modo que incida sobre um face de spatho de Islandia: O raio *lm*, *fig. 102*, ao entrar no crystal, se divide em dous raios, *mn* e *mp*, que, ao sairem do crystal em *p* e *n*, continuão a caminhar nas direcções *no* e *pq*, parallelas entre si.

Represente ainda *abcd* a secção principal do crystal e *ab* seo eixo: as faces refrangentes, *ad*, *ac*, *bc*, *bd*, fazem com elle angulos agudos, e os raios, que incidem sobre ellas, soffrem a refração dupla. Seja *lm* um raio de luz, dando sobre a face *ad* no poncto *m*: a linha *mr* será seo eixo, e o raio *lm* se dividirá em dous, *mn* e *mp*. A linha *mn* é o raio ordinario, cuja direcção se determina pelo indice de refração, segundo as leis ordinarias da refração. A linha *mp* é o raio-extraordinario, o qual se desvia mais do eixo do que o raio ordinario.

No spatho calcareo, o angulo *nmp*, formado pela divergencia d'estes dous raios, é $6^{\circ} 12'$, quando o raio cae, perpendicularmente, sobre o crystal.

Ao emergirem da face *bc*, ambos os raios soffrem segunda refracção; e, como as duas faces refrangentes são parallelas entre si, elles continuão a caminhar nas direcções *pq* e *no*, parallelamente ao raio incidente *lm*.

2.^a *exp.* Ponha-se um crystal de spatho de Islandia com sua face natural sobre um poncto negro, feito sobre papel branco. Este poncto parecerá duplo, qualquer que seja a posição do crystal.

Se olharmos, verticalmente, para o crystal, veremos ambos os ponctos na diagonal do angulo obtuso ou na linha da secção principal. O poncto, que fica mais perto do angulo agudo da face superior do crystal, acha-se nesta posição, em consequencia da refracção extraordinaria.

Fazendo gyrar o crystal em roda do poncto negro, conservando o olho fixo na mesma posição, a imagem, formada pela refracção extraordinaria, se moverá com a secção principal à roda da imagem, que é formada pela refracção ordinaria. Assim, é facil determinar, em qualquer occasião, qual é o raio ordinario e qual o extraordinario.

A *fig. 103* illustrará o que acabámos de dizer. Seja *adbc* uma secção principal e *ab* o seo eixo. Supponhamos um poncto *p*, situado por baixo da face *cb*, e que por de cima da face *ad*

olhâmos para elle. Ora, se pm é um raio, que dá sobre a face cb , dividir-se-á, ao entrar no crystal, no raio ordinario ml e no raio extraordinario mf , que se afasta do eixo mr . Os raios emergentes lo e fi , que são a continuação d'estes dous raios refractos, são parallellos a pm . Seja n um ponto perto de m e pn seo raio incidente: este raio tãobem se dividirá em raio ordinario nh e raio extraordinario ng , que, ao emergirem de ab , continuarão nas direcções hk e go , parallellos a pn . Como o angulo, que o raio extraordinario faz com o raio ordinario, é pequeno, facilmente se concebe, que, se os pontos m e n estão sufficientemente proximos, o raio ordinario mlo será cortado pelo raio extraordinario ng em algum ponto x , entre l e m . Mas, como o raio emergente lo é perallelo a pm , e go a pn , é claro, que lo e go devem cortar-se em algum ponto o alem de ad . Ora, se o olho do observador estiver em o , de modo que receba estes dous raios, verá o ponto p , pela refração ordinaria na direcção ol , e pela refração extraordinaria na direcção og ou em p' , isto é, mais perto do angulo agudo d do corpo. Se fazemos gyrar o crystal em torno do raio ordinario op , que o atravessa perpendicularmente, a imagem p' , gerada pela refração extraordinaria, mover-se-á na mesma direcção, como o crystal, á roda de p .

§ III

REFRACÇÃO DUPLA DOS OUTROS CRYSTAES

Tudo, que dissemos no paragrapho antecedente, se refere ao spatho de Islandia: mas grande numero de crystaes gozão tãobem da propriedade de dar duas imagens dos objectos, que se vêem através d'elles. Os crystaes birefrangentes dividem-se em duas classes. Uma d'ellas comprehende os crystaes, que não tem senão uma direcção, em que um raio pode atravessal-os sem se dividir: chamão-se *crystaes d'um eixo*: taes são, o zirconio, quartzo, tungstato de zinco, boracite, sulphato de potassa e ferro, hydrato de magnesia, carbonato de cal (spatho de Islandia), carbonato de cal e magnesia, carbonato de cal e ferro, tormalina, saphira, esmeralda, etc. A outra classe comprehende os crystaes, que tem duas direcções, em que os raios luminosos se não dividem: chamão-se *crystaes de dous eixos*: taes são, o sulphato de nickel, azotato de potassa, borax, sulphato de magnesia, spermaceti, topazio, assucar, azotato de prata, acido nitrico, tartrato de potassa, acido tartrico, sulphato de ferro, etc.

Propriedades dos crystaes d'um eixo. Os crystaes d'um eixo gozão todos das mesmas propriedades do carbonato de cal, e tudo, que dissemos d'esta última substancia, lhes é applicavel. Ha, porém, alguns, em que o raio extraordinario se afasta do eixo do crystal, e outros, em que se aproxima. Estes deno-

minão-se *crystaes attractivos* ou *positivos*; taes são os primeiros seis acima mencionados: aquelles tomão o nome de *crystaes repulsivos* ou *negativos*, e taes são os ultimos seis. Estas denominações provêm de que, no systema das emissões, se suppõe, que a dupla refracção resulta, d'uma força perpendicular ao eixo, que somente se exerce sobre certas moleculas, e que é, ora attractiva, ora repulsiva.

Maneira de distinguir os crystaes positivos dos negativos. Para fazer esta distincção, é mister, saber differenciar o raio ordinario do raio extraordinario; o que se consegue pelo seguinte methodo, inventado por Soleil. Pegão-se, por suas bases triangulares, dous prismas da substancia, que queremos estudar, de maneira que as arestas d'ambos fiquem, respectivamente, no mesmo prolongamento. O eixo do crystal dispõe-se perpendicularmente á face de entrada da luz. Olhámos para uma mira parallelá ás arestas, situada a alguns decímetros de distancia, pondo o orgão visual na altura da secção, que separa os dous prismas. Vemos então uma imagem simples em um dos prismas e uma imagem dupla no outro. A que se acha no prolongamento da imagem unica do primeiro prisma, é, evidentemente, a imagem ordinaria, a outra é a imagem extraordinaria, e sua posição relativamente á aresta, que representa o vertice do prisma, indica o signal da substancia.

Propriedades dos crystaes de

dous eixos. Vimos, que o caracter dos crystaes de dous eixos era, offerecer duas direcções, segundo as quaes o raio natural incidente pode penetrar em sua substancia, sem se dividir em outros dous raios. Fresnel descobriu pela theoria e demonstrou pela experiencia, que, nos crystaes de dous eixos, não ha raio ordinario, isto é, os raios, que nascem da divisão d'um raio incidente, não seguem, nem um nem outro, as leis geraes da refracção. A marcha da luz é aqui, pois, ainda muito mais complicada do que nos crystaes d'um eixo. Podemos, todavia, indicar duas secções, para as quaes a questão se simplifica.

1.^a *Secção perpendicular á linha media.* Sejam px e px' os dous eixos d'um crystal: pxx' é o angulo d'estes eixos; e a linha pm , que divide este angulo em duas partes eguaes, é a *linha media*. O plano, perpendicular a pm , dá no crystal uma secção, em que um dos raios se conforma com as leis geraes da refracção.

2.^a *Secção perpendicular á linha supplementar.* O plano, perpendicular á linha ps , que se chama *linha supplementar* (porque divide em duas partes eguaes o supplemento do angulo dos eixos) dá no crystal uma secção, em que o outro dos dous raios, que provém d'um raio incidente, se conforma com as leis geraes da refracção.

Por meio d'estas duas secções poderemos, pois, determinar os indices de refracção dos dous raios, que são analogos ao raio ordinario e ao raio extraordinario dos crystaes d'um eixo.

§ IV

EXPERIENCIAS DOS RHOMBOIDES SUPRAPOSTOS

Pondo dous rhomboides um sobre o outro, e, olhando através de sua dupla espessura para um objecto, observámos os phenomenos seguintes. Quando as secções principaes dos dous rhomboides são parallelas ou perpendiculares, não vemos senão duas imagens do objecto, como se fosse um só rhomboide, mas vemos quatro imagens de differente intensidade em todas as outras posições relativas das duas secções principaes.

D'aqui devemos concluir, que os dous raios, ordinario e extraordinario, que saem do primeiro rhomboidê, tem uma propriedade, que os distingue, essencialmente, d'um raio de luz natural, visto que este, atravessando um rhomboide, dá sempre duas imagens eguaes.

Para melhor analysar esta propriedade distinctiva, podemos empregar a luz solar, e situar o segundo rhomboide assaz distante do primeiro, para actuar, separadamente, sobre os raios, ordinario e extraordinario, a que dá origem.

Reconhece-se então: 1.^o que, se as secções principaes são parallelas, o raio ordinario do primeiro crystal se refrange todo *ordinariamente* no segundo, e que o raio extraordinario se refrange tãobem todo *extraordinariamente*: 2.^o que, se as secções principaes são perpendiculares, o raio ordinario do primeiro crystal se re-

frange todo *extraordinariamente* ou segundo. enquanto o raio extraordinario se refrange todo *ordinariamente*: 3.º que, se as secções principaes fazem entre si um angulo de 45° , cada um dos raios, ordinario e extraordinario, do primeiro crystal se divide no segundo em dous feixes eguaes: 4.º que, nas outras situações relativas das duas secções principaes, cada um dos feixes do primeiro crystal dá origem a dous feixes deseguaes no segundo.

§ V

EXPERIENCIA DA REFLEXÃO NA SEGUNDA SUPERFICIE
DOS CORPOS DUPLAMENTE REFRAGENTES.

PRISMA DE NICOL, TORMALINA

Quando um feixe de luz se reflecte na segunda superficie d'um corpo dotado de refracção dupla, apresenta phenomenos particulares, que se ligão com as propriedades, de que acabámos de falar. Chegando a esta segunda superficie, o feixe é ordinario ou extraordinario, visto que acaba de atravessar um crystal, e depois da refracção acha-se no mesmo caso d'um feixe ordinario ou extraordinario, que se apresenta para penetrar em um segundo crystal. D'aqui nascem as differentes apparencias das imagens reflectidas, conforme as posições relativas do orgão visual, do plano de reflexão e da secção principal do crystal. Todos estes efeitos podem ser facilmente analysados por meio do prisma de Nicol.

Nicol tomou um rhomboedro de cal carbonatada com 25 millímetros de comprimento e 9 de largura e espessura, *fig. 104*; cortou-o em duas partes por um plano, perpendicular ao plano das grandes diagonaes das bases e passando pelos vertices obtusos mais aproximados um do outro, e pegou as duas metades, na mesma ordem, com balsamo de Canadá. Este parallelepipedo, assim construido, é o que se chama prisma de Nicol. A luz, que entra por qualquer das bases, cae muito obliquamente sobre o balsamo de Canadá, cujo indice de refracção é menor que o indice ordinario da cal carbonatada, porém maior do que o indice extraordinario; d'onde resulta, que o raio ordinario experimenta a reflexão total, enquanto o raio extraordinario passa para sair da outra base. O prisma de Nicol não deixa, pois, passar senão a imagem extraordinaria dos objectos, para que olhámos; e fornece assim um meio, para distinguir a imagem ordinaria da imagem extraordinaria, produzida por um crystal: basta pôr no mesmo plano a secção principal do crystal e do prisma de Nicol; a imagem unica, que passa, é a imagem extraordinaria: se as secções principaes são perpendiculares, a imagem, que passa, é a ordinaria, que se fez extraordinaria ao atravessar o prisma: se as duas secções fazem um angulo de 45° , observão-se duas imagens da mesma intensidade.

A tormalina goza tãobem d'uma propriedade muit o preciosa para o estudo dos phenomenos

de refração dupla: quando é cortada em laminas de faces parallelas entre si, e parallelas ao eixo, obra como o prisma de Nicol, isto é, não deixa passar senão a imagem extraordinaria. A luz da imagem ordinaria é absorvida. E' a Biot, que se deve esta importante observação, que data de 1815. Herapath descobriu um sal de quinino, que pode vantajosamente substituir a tormalina: mesmo com mui pequena espessura intercepta o raio ordinario.

§ VI

DUPLA REFRAÇÃO DO VIDRO COMPRIMIDO

Experiencia de Fresnel. Quatro prismas rectangulares, de vidro, *a, b, c, d, fig. 105*, perfeitamente eguaes entre si, são postos ao lado uns dos outros sobre um plano horizontal, pela sua face hypotenusa. D'um e d'outro lado applicão-se tiras de cartão aos quatro extremos, e, sobre ellas, tiras d'aço muito rijas; depois comprimem-se com mais força, de maneira que a compressão se exerça no sentido do eixo dos prismas, para diminuir seo comprimento. Emquanto o vidro é, assim, mantido em um estado forçado, ajustão-se outros tres prismas rectangulares, *e, f, g*, e dous prismas, *h, k*, de 45° , para completar um parallelipipedo alongado, cujas faces extremas, *s* e *s'*, são parallelas: as faces lateraes de todos estes ultimos prismas soldão-se ás faces lateraes dos primeiros, afim de evitar as perdas de luz pela reflexão.

Este systema, assim composto, é dotado de refração dupla. Uma pequena mira, posta a um metro de distancia da face s' , por exemplo, torna-se dupla para quem olha para a face s , e o desvio das duas imagens pode ser d'um millimetro ou mais. Podemos, finalmente, certificar-nos de que cada um dos dous feixes goza de todos os caracteres dos feixes duplamente refrangidos.

§ VII

OCULO DE ROCHON

Rochon inventou, em 1777, um instrumento, em que se faz applicação do principio da divisão dos raios luminosos. Este instrumento é appellidado *micrometro de dupla imagem* ou *luneta de Rochon*.

Sejão, *fig. 406*, abs e abs' , dous prismas de crystal de rocha, soldados um ao outro com terebenthina, formando um parallelipipedo rectangulo, sendo o eixo do primeiro prisma perpendicular à face sb , e o do segundo paralelo às faces lateraes as' , bs' e ab .

Um feixe de luz, caindo, perpendicularmente, sobre sb , penetrará, sem desvio nem bifurcação, até à face ab , mas aqui será decomposto em dous feixes distinctos; um, ordinario, que seguirá seo caminho ovo' , em linha recta; outro, extraordinario, que se desviará, e tomará o caminho vtx , fazendo, depois de sua emergencia, um angulo $x tq' = e$ com a normal ou

com o feixe ordinario vo' . Collocando o orgão visual por detraz da face as' , veremos, pois, com o angulo e duas imagens do poncto, que envia a luz. Os feixes enviados pelos ponctos vizinhos experimentarão o mesmo effeito, por serem muito pouco obliquos sobre a superficie sb , e veremos assim uma dupla imagem dos objectos, que se achão no campo da visão, sem que haja deformação sensivel, nos objectos, que envião a luz com pequena obliquidade.

Para determinar o angulo de duplicação e , que pertence ao systema dos prismas, designemos por i, r, i' , os angulos ovp, tep', vtq ; por a os angulos refringentes $sab, s'ba$, de sorte que $i = a$ e $i' = a - r$; e por n, n' , os indices de refração ordinaria e extraordinaria. O raio ov se refrange em v , passando d'um meio, em que seo indice era n , para o segundo prisma, em que seo indice é n' : logo

$$\frac{\text{sen } a}{\text{sen } r} = \frac{n'}{n}; \dots\dots(1)$$

por outro lado temos

$$\frac{\text{sen } e}{\text{sen}(a-r)} = n'; \dots\dots(2)$$

tãobem sabemos que

$$n' = 1,5582 \quad \text{e} \quad n = 1,5484$$

Assim, depois de ter determinado pelos processos ordinarios o angulo a dos prismas, a primeira equação dará r , e, sendo este valor substituido na segunda equação, deduziremos d'aqui o valor de e . Estes valores serão $19' 30''$, $28' 20''$, $40' 0''$, $57' 40''$; para os valores de a 30° , 40° , 50° , 60° .

Em vez de determinar pelo calculo o angulo de duplicação d'um prisma dado, podemos facilmente determinal-o pela observação. Para isso, basta afastar uma mira circular com um diametro conhecido d até uma distancia conhecida z , tal que, olhando para ella com o prisma, suas duas imagens sejam tangentes uma á outra: então é evidente, que o angulo de duplicação e é igual ao angulo, debaixo do qual vemos a mira com a vista desarmada nesta distancia z : assim temos

$$\operatorname{tg} e = \frac{d}{z};$$

reciprocamente, sendo conhecido o angulo e , poderíamos determinar d por meio de z , ou z por meio de d , para um objecto, cujas imagens estivessem em contacto.

No micrometro de Rochon, o prisma está no tubo da luneta entre a objectiva e a ocular, *fig.* 107, e pode-se mover á vontade conservando-se sempre no eixo; aproxima-se do foco da objectiva até á distancia $fz = h$, tal que as duas imagens fm e $f'm'$ do objecto, que se quer me-

dir, estejam em contacto, *fig 108*: então teremos evidentemente a seguinte relação entre o angulo visual $fcv = v$ e o angulo de duplicação, $fzm = e$

$$tg v = \frac{tg e}{f} h$$

que se deduz de $tg v = \frac{d}{f}$ e $tg e = \frac{d}{h}$;

f é a distancia focal fc da objectiva. Esta relação mostra, que a tangente do diametro aparente é proporcional á distancia h do prisma ao foco principal da objectiva; por quanto é constante.

Comtudo; é mais exacto proceder á graduação do seguinte modo: olha-se com a luneta para uma mira circular, cujo diametro e distancia conhecemos, e que subtende, por consequencia, um angulo conhecido de 20° ou 30° ; põe-se o prisma no poncto, em que não faz ver senão uma imagem; é o zero do instrumento: depois faz-se caminhar o prisma para a objectiva, até ao poncto, em que as duas imagens estão em contacto. Sabendo então, que o angulo visual δ é $30'$, por exemplo, marcámos 30 sobre o tubo no poncto, em que se acha o de referencia de prisma, e dividimos em 30 partes eguaes o intervallo desde 0, continuando as divisões alem de 30: apontando o instrumento para outro

objecto depois de ter posto em contacto suas duas imagens, basta ler a divisão correspondente ao ponto de referencia do prisma; é o angulo visual d'este objecto.

Ao lado d'estas divisões angulares, achão-se também escriptos sobre o tubo outros numeros, que exprimem a relação entre a distancia e a grandeza d'um objecto. Assim, ao lado de $4'$ está escripto 859, o que significa, que a distancia d'um objecto é 859 vezes sua grandeza, quando é observado debaixo d'um angulo de $4'$: assim, por meio d'esta segunda divisão, o instrumento dá a distancia d'um objecto, cuja grandeza é conhecida, ou, reciprocamente, a grandeza d'um objecto, cuja distancia é conhecida.

§ VIII

EXPLICAÇÃO DO PHENOMENO DA REFRAÇÃO DUPLA

Pela theoria das undulações. — A theoria da refração dupla, que é uma das mais notaveis, que a sciencia possui, é devida ao genio de Fresnel. Esta theoria não só explicou todos os phenomenos, conhecidos ao tempo da sua criação, e os que forão depois descobertos, mas também fez conhecer novos factos, que a experiencia depois verificou. Os acanhados limites, em que somos obrigados a conter-nos, não permite, que entremos nos calculos elevados, que formão a essencia da luminosa theoria de

Fresnel. Restringir-nos-emos a apresentar algumas ideas fundamentaes.

O raio extraordinario não obedece, como vimos, à lei de Descartes; o que mostra, que a velocidade de propagação da luz varia com a direcção d'este raio no crystal. D'aqui se conclue, que o ether deve ter densidade differente nas differentes direcções; e admite-se, que esta desigualdade de densidade é devida á disposição das moleculas dos crystaes bi-refrangentes, as quaes estão mais aproximadas numas direcções do que noutras. Este último facto é attestado pela diversa nitidez de certos planos de clivagem, pelas mudanças, que se observão, segundo as direcções, em sua elasticidade, dilatabilidade, conductibilidade calorifica e electrica, e pela polaridade diamagnetica.

Esta opinião é confirmada pelo que se passa nas substancias solidas homogeneas, quando se sbujeitão a certas acções mechanicas, por exemplo, quando se comprimem num só sentido, de sorte que as moleculas se aproximem mais neste sentido do que nos outros. Estas substancias produzem então a refração dupla, como vimos na experiencia de Fresnel.

Tudo, que modifica a disposição das moleculas, influe na separação dos raios. Assim, o calor, que dilata de diverso modo os crystaes d'um eixo na direcção d'esta linha e perpendicularmente a ella, modifica a relação entre os indices ordinario e extraordinario. Os crystaes de dous eixos dilatão-se mais no sentido da li-

nha media; o que mostra, que as moleculas estão mais aproximadas no sentido d'esta linha. Fresnel achou, que o calor diminue a refração dupla, tendendo a egualar a distancia entre as moleculas. O sulphato de cal apresenta a este respeito uma particularidade curiosa, descoberta por Brewster: é possível, pela elevação de temperatura, fazer com que os dous eixos se identifiquem e formar assim um crystal d'um só eixo: se a temperatura se eleva mais, os eixos tornão a separar-se, mas em um plano perpendicular ao seo primeiro plano.

Os crystaes d'um eixo podem reputar-se formados de camadas de moleculas perpendiculars ao eixo; cada camada é homogenea, mas a distancia de suas moleculas não é a mesma que a distancia, que ellas tem d'uma para outra camada. Nos crystaes negativos estão mais aproximadas d'uma para outra camada do que na mesma camada: é o contrario nos crystaes positivos.

Fresnel concebeu do seguinte modo a bifurcação d'um raio, ao entrar num crystal birefrangente. Achando-se as moleculas desegualmente aproximadas em differentes direcções, o ether experimenta difficuldade em vibrar em sentido obliquo aos planos das camadas moleculares. Assim, nos crystaes d'um eixo, os movimentos vibratorios se executarão facilmente no sentido perpendicular e no sentido paralelo ao eixo; mas o movimanto obliquo ao eixo experimentará uma resistencia, que determinará

sua decomposição em outros dous; os quaes se propagarão separadamente e com velocidades diversas, e, por consequencia, com direcções diversas; de que resultão dous raios refractos.

Pela theoria das emanações. Para explicar a refracção dupla, esta theoria admite, que, alem das forças refractivas ordinarias, que operão sobre todas as moleculas, que penetrão no corpo, certo numero d'essas moleculas é sollicitado por forças repulsivas ou attractivas, dirigidas, perpendicularmente, ao eixo do crystal.

Chromatica

CAPITULO XVIII

DECOMPOSIÇÃO E RECOMPOSIÇÃO DA LUZ

§ I

DISPERSÃO, ESPECTRO SOLAR

Até agora havemos supposto, que o desvio era a unica alteração, que a luz experimentava, quando se refrangia; mas não é assim: um raio de luz branca, depois de atravessar um prisma, sae dilatado e corado. Este phenomeno tem o nome de *dispersão*. O feixe refracto é, em geral, tanto mais disperso, quanto maior é a potencia refractiva da substancia. Nas tabellas, precedentemente apresentadas, os indices referem-se ao raio amarello, que occupa o meio do feixe.

Para reconhecer a dispersão e a coloração, que sempre acompanham a refração, quando a superfície de emergência não é paralela à superfície de incidência, imaginemos praticada na porta d'uma camera escura um pequeno orificio, por onde se faça entrar um feixe delgado de raios solares. Se recebemos o feixe sobre um prisma de vidro branco bem transparente, e o feixe refractado sobre um cartão branco, observamos: 1.º, que a imagem, *fig.* 109, denominada *espectro*, é alongada perpendicularmente ás arestas parallelas do prisma: 2.º que o espectro termina por duas linhas rectas parallelas e por dous semicirculos: 3.º que toda a superfície da imagem é formada de fitas muito brilhantes, parallelas entre si e ás arestas do prisma. A extremidade, mais vizinha do angulo refrangente do prisma, é vermelha; a extremidade opposta é roxa.

Se observamos espectros formados por prismas de differentes substancias incolores, do mesmo angulo e na mesma posição, reconhecemos, que as côres se succedem sempre na mesma ordem, mas que não occupão espaços proporcionaes: por exemplo, um prisma de flint-glass (vidro que contém chumbo) dá, proporcionalmente, muito mais roxo e muito menos vermelho do que um prisma de crown-glass (vidro ordinario).

O numero das côres intermedias ao vermelho e ao roxo é infinito; mas tomarão-se algumas, convencionalmente, para termo de compa-

ração, as quaes se succedem na seguinte ordem: *vermelho, alaranjado, amarello, verde, azul, anilado, roxo*. Na imagem solar, estas côres passam d'uma para outra por uma infinidade de modificações intermedias.

Qualquer luz artificial fornece um espectro analogo ao que é produzido pelos raios solares; mas as côres são menos vivas, e sempre faltão algumas; comtudo, as que existem, estão na mesma ordem que no espectro solar.

§ II.

EXPLICAÇÃO DO ESPECTRO

As observações, que acabámos de fazer sobre o espectro, se explicão muito bem, suppondo, que os raios de luz branca são formados de raios parallellos, gozando, quando isolados, da propriedade de produzir a sensação d'uma côr determinada, e, quando junctos, da propriedade de produzir a sensação da luz branca; e que, tendo refrangibilidades differentes, são separados por todos os corpos diaphanos, cujas faces de incidencia e emergencia não são parallelas. Mas, para podermos admittir esta hypothese, é mister reconhecer: 1.º que o alongamento do espectro solar não pode ser produzido pela dispersão de raios igualmente refrangiveis: 2.º que os raios corados tem, individualmente, refrangibilidades differentes: 3.º que a reunião dos raios corados produz realmente a luz branca.

§ III

INCOMPATIBILIDADE DO ALONGAMENTO
DO ESPECTRO COM A EGUAL REFRANGIBILIDADE
DOS RAIOS

Quando um feixe conico de raios, todos igualmente refrangiveis, atravessa um prisma collocado na posição, que corresponde ao minimo de desvio do raio, que forma o eixo do cone, a secção recta do feixe emergente apresenta, sensivelmente, a mesma forma que a do feixe incidente. Seja s , *fig. 110*, o feixe incidente, formando um cone recto: vamos, primeiramente, provar, que o angulo s' formado pelos raios emergentes, que limitão o feixe na secção recta do prisma, é igual ao angulo s . Com effeito, chamando a , a' , e c , c' os angulos, que fazem com as faces do prisma os raios incidentes e emergentes, que formão os angulos s e s' , teremos

$$s = a' - a \quad \text{e} \quad s' = c' - c,$$

e para que s' seja igual a s , basta, que tenhamos

$$a = c \quad \text{e} \quad a' = c'$$

Ora, estando na posição do desvio minimo o raio, que forma o eixo do cone incidente, a parte incidente e a parte emergente d'este raio estão igualmente inclinados sobre as faces do prisma, e também teremos sensivelmente

$$a = c \quad \text{e} \quad c' = a';$$

visto que na vizinhança do minimo, pequenas variações no angulo de incidencia não produzem senão variações muito fracas no desvio; e é o que a experiencia mostra: pois podemos fazer gyrar um pouco o prisma em torno d'uma de suas arestas, sem que o desvio minimo mude d'um modo apreciavel. Não sendo as dimensões do feixe emergente, sensivelmente, modificadas em um plano paralelo ás arestas do prisma, a forma da imagem r' será a mesma que a da imagem directa r .

Experiencia. Podemos verificar este resultado, experimentalmente, interceptando o feixe incidente com uma lamina de vidro, corada de vermelho, a qual não deixa passar senão raios vermelhos egualmente refrangiveis. A imagem do orificio circular da porta se projecta sobre um alvo debaixo da forma d'um circulo, quando collocâmos o prisma na posição do desvio minimo. Mas, se lhe damos outra posição, vemos a imagem alongar-se no plano de refração, quando o feixe incidente se eleva para o vertice do prisma, e, quando o feixe se abaixa para o lado da base.

Do que precede, devemos concluir, que, sendo alongado o espectro solar na posição do prisma, que dá o minimo de desvio, não é possível, que o feixe incidente de luz branca se componha de raios egualmente refrangiveis.

§ IV

DESEQUAL REFRANGIBILIDADE DOS RAIOS COLORADOS

A forma dilatada do espectro demonstra já que os raios colorados não tem todos o mesmo grau de refrangibilidade; pois é evidente, que a luz roxa, *fig. 111*, forma, ao sair do prisma, um angulo de emergencia maior do que a luz vermelha; e como uma e outra tem a mesma incidencia sobre a primeira face do prisma, d'aqui devemos concluir, que o roxo é mais refrangivel do que o vermelho. O mesmo raciocinio faz ver, que as côres intermedias tem refrangibilidades intermedias. Todavia, apresentaremos ainda as duas experiencias seguintes.

1.^a *experiencia*. Recebendo um feixe de luz sobre um prisma, cujas arestas sejam horizontaes, obteremos um espectro, *MN*, *fig. 112*, alongado verticalmente, em que o vermelho occupa a parte superior, se o angulo refrangente do prisma está para cima. Se então pomos por detraz d'este prisma um outro, cujas arestas sejam verticaes, todos os raios se desviarão, horizontalmente, e obteriamos um espectro parallello ao primeiro, se todos os raios fossem egualmente refrangiveis; mas forma-se um espectro *M'N'*, inclinado no sentido indicado na *figura*; o que demonstra, evidentemente, que a refrangibilidade dos raios cresce desde o vermelho até ao roxo.

2.^a exp. Vimos, que, quando um raio luminoso tendia a sair d'um meio refrangente para entrar no vacuo ou em um corpo menos refrangente, o raio se reflectia completamente, se o seno do angulo de incidencia excedia $\frac{1}{n}$.

Ora, se os raios corados são desegualmente refrangiveis, os angulos, com que a reflexão total começar, serão diferentes para cada um delles: por exemplo, o raio roxo, sendo o mais refrangivel, principiará a reflectir-se com um angulo mais pequeno do que o raio vermelho. Newton verificou este facto por meio da seguinte experiencia.

Introduz-se um feixe de luz solar em uma camara escura, perpendicularmente á face *AC*, *fig. 143*, d'um prisma *BAC*, cujos angulos *B* e *C* tem 45°: o raio, chegando a *I*, se divide em duas partes, uma se reflecte e sae pela face *AB* sem soffrer dispersão sensivel, a outra refrange-se no poncto *I*, e forma sobre um cartão o espectro *mn*. O raio reflexo é recebido, depois de sua emergencia, sobre o prisma *abc*, e forma outro espectro *m'n'*. Então, fazendo gyrar o prisma *ABC*, de maneira que augmente o angulo de incidencia sobre a face *BC*, vê-se, que a parte roxa diminue no espectro *mn*, e aumenta no espectro *m'n'*, e que todas as côres se enfraquecem, successivamente, no espectro *mn* e se reforção em *m'n'*, nesta ordem, roxo, anilado, azul, verde, amarello, alaranjado, verme-

lho; o que está em perfeita harmonia com o que annunciámos.

Assim, cada raio corado conserva sua côr pela refração, sua refrangibilidade é constante para o mesmo corpo; e nas mesmas circumstancias as refrangibilidades dos raios differentes são deseguaes; e, como nos espectros formados por todas as substancias transparentes, a successão das côres é a mesma, d'aqui resulta, que o raio roxo é o mais refrangivel, o raio vermelho o que o é menos, e que entre estes dous limites a refrangibilidade dos raios varia d'um modo continuo.

§ V

RECOMPOSIÇÃO DA LUZ BRANCA

A luz branca resulta da supraposição de todas as côres do espectro. Este facto, inverso da decomposição da luz, pode verificar-se pelas experiencias seguintes.

1.^a Se recebemos o espectro sobre um segundo prisma do mesmo angulo refrangente que o primeiro, e voltado em sentido contrario, *fig.* 114, este último prisma reúne as differentes côres do espectro, e observa-se, que o feixe emergente *E*, parallello ao feixe incidente *S*, é incolor.

2.^a e 3.^a *exps.* Se recebemos sobre uma lente convergente ou sobre um espelho espherico concavo, o feixe disperso por um prisma,

obtem-se uma imagem branca sobre um alvo posto no foco.

4.^a *exp.* Se fazemos gyrar com rapidez um disco de cartão, *fig. 115*, dividido em grande numero de sectores, pintados, successivamente, com as sete côres principaes, e tendo extensões proporcionaes ás que estas côres parecem occupar no espectro, o disco parecerá d'uma côr uniforme e branca. Este phenomeno é devido a que a impressão, que cada côr produz sobre o orgão visual, não é instantanea: quando a rapidez do movimento rotatorio do disco é tal, que os sectores successivos da mesma côr chegam ao mesmo logar no tempo, que dura esta impressão, é como se todas as côres occupassem ao mesmo tempo toda a superficie do disco. Ora, visto que a impressão total é a da luz branca, devemos concluir, que a sobreposição de todas as côres do espectro produz a côr branca.

§ VI

HOMOGENEIDADE DAS CÔRES DO ESPECTRO

Podemos reconhecer, experimentalmente, que as côres, que se succedem no espectro, são homogeneas ou indecomponiveis. Para isto emprega-se um alvo atravessado de muitos orificios circulares, que se podem abrir ou fechar á vontade, e que correspondem ás diversas côres do espectro solar projectado sobre o alvo.

Quando se deixão passar por um só d'estes ori-

ficios os raios d'uma mesma côr, sua passagem através d'um ou muitos prismas não dá logar a nenhuma nova decomposição. Se descobrimos os orificios, que correspondem a duas das sete côres principaes, separadas sobre o espectro por uma só côr intermedia, e reunimos, por meio d'um espelho plano inclinado sobre um dos feixes transmittidos, as imagens, que elles projectão sobre um segundo alvo situado atraz do primeiro, a imagem unica, observada com a vista simples, parece ser da côr intermedia; mas se para ella olhâmos através do prisma, as duas côres, que a formavão, se separão outra vez.

§ VII

PRECAUÇÕES PARA FORMAR UM ESPECTRO, CUJAS CÔRES SEJÃO HOMOGENEAS

1.^a *O raio luminoso deve ter muito pequenas dimensões, e o alvo deve estar collocado a grande distancia.* Consideremos um feixe de raios parallelos $ABab$, *fig. 116*: os raios extremos AB e ab darão os feixes divergentes $CDGH$ e $cdgh$, em que os raios da mesma côr serão parallelos; o raio vermelho DH cortará o raio roxo cg em um poncto F . Se agora imaginâmos, que o feixe corado $CGDH$: se move, parallelamente a si mesmo, até coincidir com o feixe $cdgh$, é evidente, que, por qualquer poncto do espaço DFc , passará, successivamente, um raio de cada côr: ora, como todas as posições, que

suppozemos tomar successivamente o feixe, são occupadas, simultaneamente, por feixes emergentes cB , segue-se, que por todos os pontos do espaço Dfc passa um raio, e que, por conseguinte, este espaço é branco. Assim, pondo um alvo adiante do ponto F , por exemplo na posição Bl , teremos dous espectros, BL e kl , separados por uma fita branca Lk ; mas, se o alvo é posto alem do ponto F , não obteremos senão um só espectro Gh , que será tanto mais extenso, e em que as fitas coradas serão tanto mais homogeneas, quanto mais distante do prisma estiver o alvo. O augmento das dimensões do espectro, á medida que o alvo se afasta, é evidente. Quanto á separação das fitas coradas nas mesmas circumstancias, basta advertir, que cada fita corada occupa sempre a mesma extensão sobre o alvo, qualquer que seja a posição d'elle: por exemplo, os raios roxos encerrão-se todos entre CG e cg , e todos os raios vermelhos entre DH e dh : por tanto, estas fitas serão tanto mais espacejadas, quanto mais distante estiver o alvo.

2.^a *O corpo luminoso deve ter um diametro apparente muito pequeno.* Seja P , fig. 417, o sol, MN um corpo opaco atravessado por um orificio muito pequeno O , e ABC um prisma, que suppozemos inclinado de maneira que produza o desvio minimo. Não considerando senão os raios roxos do sol, o espectro, que formarem, será um circulo rr' , os raios vermelhos formarão outro espectro circular vv' , e os espectros de

todas as outras côres serão círculos comprehendidos entre aquelles, e invadirão mais ou menos cada um d'elles, como se vê na *fig. 118*. Se supponmos, que o diametro apparente do sol diminue, o centro de cada espectro elemental não mudará, porque é o logar do raio emergente, correspondente ao raio incidente, que passa pelo centro do sol; mas o diametro de cada um d'elles diminuirá, cobrir-se-ão menos, e, por consequencia, cada côr será mais homogenea.

3.^a *O vidro deve ser puro.* A composição da materia do prisma pode inutilizar as precauções precedentes. A falta de homogeneidade da massa vitrea, de que se formão os prismas ordinarios, não permite obter um espectro solar sem supraposição de côres. As estrias e as bolhas, que a luz encontra, atravessando estes prismas, lhe fazem soffrer desvios irregulares, e, cruzando-se sem ordem no feixe disperso alguns raios de diversas côres, o espectro solar é muito imperfeito. Frauenhofer, célebre artista de Munich, conseguiu, á força de paciencia e de cuidados, fabricar prismas de pureza e homogeneidade admiraveis: estes prismas dão espectros, cujas côres são, inteiramente, indecomponiveis.

CAPITULO XIX

THEORIAS SOBRE A COMPOSIÇÃO DA LUZ.

CÔR DOS CORPOS

§ I

THEORIA DE NEWTON, CÔRES COMPLEMENTARES

Foi Newton, quem primeiro decompoz a luz branca por meio do prisma, e a recompoz: de suas experiencias concluiu, que a luz branca é formada de septe côres desegualmente refrangíveis, a que deu o nome de côres *simples* ou *primitivas*, e que é em virtude de sua differença de refrangibilidade, que ellas se separão. A dispersão não é mais do que a decomposição da luz no acto de se refranger, ao atravessar o prisma.

Côres complementares: Como todas as côres simples, reunidas em sua proporção natural, isto é, na proporção, que o espectro dá, reproduzem a luz branca, é evidente, que, para alterar a brancura, basta supprimir uma das côres simples, ou somente alterar-lhes as proporções. Assim, supprimindo o vermelho no espectro, e compondo entre si todas as côres restantes, obtemos uma côr azulada: esta côr, misturada com vermelho, reproduz o branco. Todas as vezes que duas côres simples ou compostas, preenchem esta condição, isto é, todas as vezes que, misturadas entre si, reproduzem o branco,

estas côres chamão-se *complementares* uma da outra.

Cada côr tem a sua côr complementar; porquanto, se ella não é branca, faltão-lhe somente alguns dos elementos da côr branca, e estes elementos misturados entre si formão sua côr complementar. Mas se á mistura d'estes elementos, junctassemos a côr branca em diversas proporções, teriamos outras tantas gradações diferentes, que serião todas egualmente efficazes para com a côr dada reproduzir a côr branca. Ha, pois, rigorosamente, uma infinidade de gradações diferentes, que tem a mesma côr complementar, e uma infinidade de gradações complementares, que pertencem á mesma côr dada. A maior parte dos verdes tem por côres complementares as côres roxas mais ou menos avermelhadas, e os amarellos tem por côres complementares as côres aniladas mais ou menos violaceas. Para, experimentalmente, estudar as côres, que resultão de muitas côres simples misturadas, podemos empregar um espelho composto de septe espelhos: põe-se este apparelho a grande distancia do prisma, para que o espectro seja bem expandido, e inclinão-se, convenientemente, os espelhos, afim de dirigir para o mesmo poncto d'uma folha de papel branco as gradações, cuja composição se quer observar.

§ II

REGRA EMPÍRICA DE NEWTON PARA AS CÔRES
COMPOSTAS

Newton ensinou uma regra empírica, para determinar a côr composta, produzida pela sobreposição de muitas côres prismaticas. Ignora-se, como aquelle grande physico foi conduzido a esta regra; não podemos fazer mais do que apresental-a e indicar seo uso.

Divide-se a circumferencia do circulo *vlmuznr*, *fig. 119*, em septe partes, que tenham as grandezas seguintes:

<i>vl</i>	=	60°	...	45'	...	34''
<i>lm</i>	=	34	...	10	...	38
<i>mu</i>	=	54	...	41	...	1
<i>uz</i>	=	60	...	45	...	34
<i>zn</i>	=	54	...	41	...	1
<i>nr</i>	=	34	...	10	...	38
<i>rv</i>	=	60	...	45	...	34

Suppondo, que estes septe arcos representão as septe côres simples, a saber, *vl* o vermelho, *lm* o alaranjado, etc., seos centros de gravidade, *v'*, *l'*, *m'*, *u'*, *z'*, *n'*, *r'*, assim como o centro de gravidade *c* da circumferencia inteira, representão os pontos de applicação das forças, que é necessario compor entre si, para ter a gradação, que resulta de muitas côres simples dadas.

Se queremos saber, qual a côr, fornecida pela mistura de todas as gradações, é mister compor as forças correspondentes aos sete centros de gravidade dos sete arcos, como se compõem as forças paralelas: a resultante passa, evidentemente, pelo centro, o que é prova de que a gradação da mistura é o branco perfeito.

Para compor, por exemplo, o vermelho com uma certa proporção de branco, será preciso attribuir ao centro de gravidade c um certo valor dependente da proporção de branco, que se quer misturar: este valor será igual á somma dos valores dos centros de gravidade, v' , l' , etc., se a proporção de branco é a que resulta da mistura de todas as gradações; será metade, senão tomarmos senão uma proporção de branco igual a metade, etc.: depois compor-se-á este centro de gravidade com v' ; a resultante cae, evidentemente, sobre a linha v'/c ; é uma prova de que a côr da mistura será avermelhada, e tanto mais desmaiada, quanto mais perto do centro c cair a resultante. Operar-se-ia do mesmo modo, para compor com branco qualquer das gradações simples.

Segundo a mesma regra, é facil vêr:

1.º Que duas côres simples consecutivas dão sempre por sua mistura uma gradação intermedia. O vermelho e o alaranjado dão um vermelho mais vizinho do alaranjado, ou um alaranjado mais vizinho do vermelho, etc.

2.º Que duas côres, que tem de permeio uma terceira, dão, por sua mistura, esta terceira.

3.º Que duas côres, que estão separadas por outras duas, dão tãobem uma das gradações, que as separão; mas esta gradação é, como se ella fosse lavada com grande quantidade de branco.

§ III

CÔR DOS CORPOS

Os corpos offerecem grande variedade de côres, desde o preto até ao branco. Newton explicou estes phenomenos.

Os corpos pretos tem, evidentemente, a propriedade de absorver toda a luz, ou de não reflectir nenhuma porção d'ella; fazem o effeito da falta de materia, e representão muito bem um buraco ou um vasio. Nenhum corpo é perfeitamente negro; o carvão é um dos corpos mais negros, que se conhecem. Mas para absorver assim a luz, é necessario, que o corpo seja poroso, como o panno, por exemplo; porquanto um corpo negro, denso e polido, pode ser um espelho muito bom, conservando todavia a sua côr negra.

Os corpos brancos tem, evidentemente, a propriedade de reflectirem todos os raios de luz; porque, se são brancos debaixo da influencia dos raios solares, são vermelhos, quando sobre sua superficie não se derramão senão raios vermelhos, e assim a respeito das outras côres.

Os corpos podem apresentar, não só todas as côres do prisma, mas tãobem grande número

d'outras gradações. Estes effeitos attribuem-se a que os corpos tem a propriedade de absorverem todas as côres do prisma, excepto uma, que elles reflectem, ou muitas, que se combinão para produzirem as gradações intermedias.

Os corpos podem ter uma côr, quando os vêmos pela reflexão, e outra, quando por transmissão: é o que tem logar em muitas soluções. Estas côres são, muitas vezes, complementares, porque o corpo deixa passar a que não reflecte; mas, ás vezes, faltão algumas gradações, que então parecem ser absorvidas pelo corpo.

As côres podem mudar segundo o logar, d'onde se olha; é o que se observa em certos estoffos de seda, nas pennas das aves, etc. Isto procede de que os filamentos, de que o corpo se compõe, não tem a mesma côr em todas as suas faces.

As côres dos corpos podem ser sombrias e carregadas, ou claras e brilhantes. Esta circumstancia provém da proporção de luz branca, que se acha reflectida ao mesmo tempo que a côr particular: é assim, que a côr do carthamo, em sua pureza, é quasi negra, entretanto que, misturando-o com talco em pó, que é muito branco, obtemos todas as gradações, desde o vermelho mais vivo até á côr de rosa mais pallida.

Quasi todos os corpos, que se expõem a uma luz viva, parecem penetrar-se d'ella; porquanto, pondo-os depois na obscuridade, parecem luminosos alguns instantes: outros corpos se fazem luminosos, quando se aquecem, como o sulphato

de baryta : finalmente, outros corpos são luminosos por si mesmos, como as materias em putrefacção, os pyrilampos, etc.

§ IV

CÔRES DOS CORPOS, VISTOS ATRAVÉS DOS PRISMAS

Quando através d'um prisma olhâmos para um corpo, as porções de seo contorno, parallelas ás arestas do prisma, apresentam as côres do espectro. Este phenomeno explica-se pela desigual refrangibilidade dos raios luminosos reflectidos pelo corpo. Se, por exemplo, olhâmos para uma tira muito estreita de papel branco, pegada sobre um cartão negro, através d'um prisma, cujas arestas lhe sejam parallelas, esta tira se apresenta com todas as côres do espectro, e é o roxo, que mais se desvia para o vertice do prisma. Nesta experiencia, a luz branca, reflectida pela tira de papel, se decompõe em sua passagem pelo prisma, e o roxo, que é a côr mais refrangivel, se desvia mais, o que a faz parecer mais elevada.

Se a tira de papel, em lugar de ser muito estreita, tem certa largura, toda a sua parte média fica branca; só os seus bordos parallelos ás arestas do prisma se apresentam corados, os mais proximos do vertice, de roxo misturado de azul e anilado, e os mais vizinhos da base, de vermelho misturado com alaranjado e amarello. Para explicar este phenomeno, havemos de imaginar

a tira de papel repartida em tiras paralelas muito estreitas. Cada uma d'estas dará, como no primeiro caso, um espectro completo. Ora, sendo o segundo espectro um pouco mais baixo do que o primeiro, o terceiro mais baixo do que o segundo, e assim por diante, resulta d'aqui a sobreposição successiva de todas as côres simples, que produz o branco, excepto nos bordos, onde a sobreposição não é completa, e onde o roxo d'um lado e o vermelho do outro ficão isolados.

O prisma presta o meio de analysar a côr d'um corpo. Para isso corta-se d'este corpo uma tira estreita, fixa-se sobre um fundo negro, e esclarece-se bem. Olhando então para elle com um prisma, na distancia d'um a dous metros, a luz, reflectida sobre o corpo, se decompõe em seus elementos, e reconhece-se, quaes são as côres simples, que compõe a côr propria do corpo. Verificou-se assim, que a côr de todos os corpos é composta.

§ V

HYPOTHESE DE BREWSTER

Apenas foi conhecida em França a theoria de Newton sobre a composição da luz, o pintor Gauthier, advertindo, que podia obter todas as côres, misturando, em proporções convenientes, materias vermelhas, amarellas e azues, susten-

tu, que a luz branca se compunha sómente d'estas tres côres. Brewster, professor de Edimburgo, fez depois reviver esta opinião.

Brewster concluiu de suas experiencias, que o espectro solar consta de tres espectros de igual extensão, um vermelho, outro amarello, outro azul. O espectro vermelho primario tem seo maximo de intensidade pelo meio do espaço vermelho do espectro solar; o espectro amarello primario tem seo maximo no meio do espaço amarello; e o espectro azul primario tem o seo maximo entre o espaço azul e o espaço anilado. Os dous minimos de cada um dos tres espectros primarios coincidem com as duas extremidades do espectro solar.

D'esta maneira de considerar a constituição do espectro solar, podemos tirar as conclusões seguintes:

1.^a A luz vermelha, amarella e azul, existe em todos os pontos do espectro solar.

2.^a Como uma certa porção de vermelho, amarello e azul, constitue a luz branca, a côr de cada ponto do espectro deve reputar-se formada da côr predominante em qualquer ponto misturada com luz branca. No espaço vermelho ha mais luz vermelha do que é necessario para constituir a luz branca com as pequenas porções de amarello e azul, que alli ha; no espaço amarello ha mais luz amarella do que é necessario para constituir a luz branca com o vermelho e o azul; e na parte do espaço azul, que parece roxo, ha mais vermelho do que amarel-

lo; o excesso do vermelho com azul forma roxo.

3^a. As côres do espectro de Brwster podem representar-se graphicamente, do seguinte modo. Representando *vr*, *fig. 120*, o comprimento do espectro, as intensidades das côres em cada poncto serão proporcionaes ás ordenadas da curva *V* para os raios vermelhos; da curva *A* para os raios amarelllos; e da curva *Az* para os raios azues: por exemplo, em *a*, o azul domina e é misturado com amarello e vermelho em quantidades proporcionaes a *an* e a *ao*, e a mistura dá em *a* a côr anilada, que se observa.

CAPITULO XX

RISCAS DO ESPECTRO

§ I

DESCRIPÇÃO DAS RISCAS DO ESPECTRO

Frauenhofer, em 1817, querendo comparar os indices de refracção dos raios côrados, e, com este intuito, procurando, sobre o espectro, alguns ponctos singulares, a que podesse sempre referir-se, observou, que o espectro solar era atravessado por perto de seiscentas riscas negras muito finas, parallelas ás arestas do prisma, e desegualmente disseminadas no interior das côres. Frauenhofer designou pelas lettras *B, C, D, E, F, G, H*, septe d'estas riscas, mais

faceis de reconhecer, que estão distribuidas sobre as côres principaes do espectro; *B* está perto da extremidade vermelha do espectro; *C* está ainda no vermelho, perto do alaranjado; *D* está no alaranjado e perto do amarello; *E* acha-se no amarello, porém mais para o lado do verde; *F* é quasi no meio do verde; *G* é no azul, muito perto do anilado; *H*, finalmente, é no roxo, mais para a parte do anilado.

Servindo-se de prismas de diferentes substancias, o habil physico allemão reconheceu, que as riscas erão sempre no mesmo número, se succedião na mesma ordem e sobre as mesmas côres; mas que suas distancias relativas mudavão, sensivelmente, nos espectros solares, formados por estes diferentes prismas.

§ II

MODO DE OBSERVAR AS RISCAS DO ESPECTRO

Para observar as riscas do espectro, é preciso, fazer entrar a luz solar em uma camara escura por uma fenda estreita; o prisma deve ser feito de substancia bem homogenea, e suas arestas devem ser parallelas á fenda e na posição do desvio minimo: por detraz do prisma põe-se uma luneta achromatica, isto é, uma luneta, que não decompõe a luz. Olhando por esta luneta para todas as gradações do espectro, distinguimos, facilmente, as diversas riscas. Para conceber o effeito produzido pela luneta achro-

mática, é mister advertir, que, se olhassemos, directamente, para o prisma, situando o órgão visual no feixe refracto, veríamos um espectro, cujo logar seria o poncto de concurso dos raios divergentes, que chegarião ao órgão: servindonos d'uma lente achromatica, veremos uma imagem amplificada do espectro, em que as côres e as riscas terão as mesmas posições relativas.

Para que as riscas se percebam distinctamente, convem, que a luneta seja alongada, de maneira que, estando dirigida para a fenda da porta da camara, se veja bem esta fenda: convem mesmo mudar um pouco a posição da ocular; é necessario introduzil-a um pouco mais para as riscas situadas no roxo, do que para as que se achão no vermelho.

Quando o prisma está voltado, de modo que o angulo de incidencia exceda o do minimo de desvio, as riscas desaparecem; mas tornão a apparecer, se encurtámos a luneta. Tãobem desaparecem, quando o angulo de incidencia é menor do que o do minimo de desvio; mas tornão-se distinctas, se alongámos a luneta.

§ III

DISTINCÇÃO DAS DIVERSAS ORIGENS DA LUZ POR MEIO DAS RISCAS

Antes do descobrimento das riscas do espectro, pensava-se, que a luz do sol e todas as ou-

tras, tanto naturaes como artificiaes, erão absolutamente identicas; mas a nova propriedade do espectro, descoberta por Frauenhofer, veio provar a ausencia d'aquella identidade.

A luz electrica dá riscas brilhantes em logar de negras; uma das mais notaveis, por sua intensidade, está situada no verde.

A luz d'um candieiro dá, egualmente, riscas brilhantes; distinguindo-se, principalmente, duas, que são muito intensas, uma no vermelho, outra no alaranjado. A chamma do hydrogeneo e a do alcool apresentam debaixo d'este poncto de vista a mesma apparencia que as chammas de azeite.

A luz de venus dá as mesmas riscas que a luz do sol, só com a differença de se distinguirem menos facilmente nas extremidades do espectro.

Emfim, a estrella sirius dá tãobem riscas negras, mas são inteiramente diversas das do sol e dos planetas. Ha, principalmente, tres, que são muito notaveis, uma no verde e duas no azul.

Outras estrellas de primeira grandeza parecem fornecer riscas differentes das de sirius e das do sol.

Assim se estabelecem caracteres distinctivos entre as differentes fontes de luz, naturaes ou artificiaes. Esta doutrina liga-se estreitamente com a da origem da luz e das condições, sob as quaes a luz se origina, quer artificialmente nos corpos terrestres, quer naturalmente no sol e nas estrellas.

Já muitos phycos tem estudado, debaixo d'este aspecto, as chammas diversamente côradas: é sabido, que certos saes tem a propriedade de dar côres mais ou menos vivas ás chammas de hydrogeneo, de azeite e de alcool.

§ IV

EXPLICAÇÃO DA PRODUÇÃO DAS RISCAS DO ESPECTRO SOLAR

A presença das riscas escuras, no espectro da luz solar, é uma prova de descontinuidade na refrangibilidade dos raios, de que se compõe esta luz, tal qual chega á terra. Com effeito, se considerâmos os raios, que formão o vermelho extremo do espectro, e os que constituem o roxo extremo, vemos, que a luz solar contém grande número de raios, cujos indices de refração são intermedios ao menor e ao maior, visto que a maior parte do espectro está illuminada; mas não ha passagem insensivel d'um para outro d'estes indices: faltão todos os raios, que deverião ter um indice, conveniente para preencher os logares, occupados pelos espaços escuros.

A explicação d'esta descontinuidade foi dada por Kirchhoff. Se fazemos passar, através d'um prisma, a luz d'uma lampada de alcool salgado, vemos, que o espectro se reduz, pouco mais ou menos, á fita amarella, que characteri-

za o sodio. Supponhamos agora, que se colloca, alem d'esta lampada, um corpo solido, numa temperatura muito elevada, como um bocado de cal, tornado incandescente na chamma d'uma mistura de oxygeneo e hydrogeneo (luz de Drummond), de sorte que a luz, emittida pela cal, tenha de atravessar a chamma de alcool, antes de chegar ao prisma. Vemos então apparecer, em vez do espectro continuo, que a cal teria produzido directamente, um espectro, em que o logar da fita amarella, é occupado por uma risca escura. A chamma do alcool tem, pois, a propriedade de absorver, na luz, que recebe, precisamente os raios, que tem a mesma côr e a mesma refrangibilidade, que os que emite. Estes resultâdos forão generalizados por Kirchhoff: o poder absorvente de qualquer corpo, em uma temperatura determinada e para uma mesma especie de luz, é sempre proporcional ao seo poder emissivo.

Para explicar a producção das riscas do espectro solar, Kirchhoff admite, que o nucleo, solido ou liquido, do sol, está envolvido por uma photosphera gazosa, cujo brilho proprio é notavelmente inferior ao d'elle. Se não fosse esta photosphera, o nucleo enviar-nos-ia uma luz, que produziria um espectro continuo; mas esta luz, atravessando a photosphera, perde, por absorpção, a maior parte dos raios, cuja refrangibilidade corresponde aos que a mesma photosphera emite. Por outros termos, a photosphera comporta-se, com referencia á luz emittida pelo

nucleo, como a chamma de alcool, com relação à luz emittida pela cal incandescente.

Kirchhoff determinou, com o maior cuidado, a posição exacta das riscas escuras do espectro solar, para comparal-a com a das riscas brilhantes dos corpos conhecidos. Vê-se, com effeito, que, se se verificar uma coincidência exacta, entre certas riscas escuras do espectro solar e as linhas brilhantes fornecidas por um dado corpo, poder-se-á concluir a presença d'este corpo na photosphera do sol. Logo, podemos fazer uma verdadeida analyse da atmosphera solar, analyse, que já tem dado resultados muito notaveis.

§ V

INDICES DE REFRAÇÃO DAS RISCAS DO ESPECTRO

A indagação dos indices de refração dos diversos raios luminosos é um problema de grande importancia para a construcção dos instrumentos de optica. A invariabilidade das riscas do espectro offerece, para resolvel-o, um meio muito mais exacto do que os que se podião empregar, quando se não tinhão, para pontos de referencia, senão gradações de côres sempre incertas. Assim, em vez de determinar para cada substancia o indice de refração do vermelho, do alaranjado, do amarello, etc., procurâmos os indices de refração das riscas *B*, *C*, *D*, etc.

Estes indices determinão-se pelo processo geral já descripto: faz-se gyrar o prisma, até que

a risca subjeita, vista na luneta, fique estacionaria, depois de se ter aproximado da fenda da camara: faz-se depois gyrar a luneta, de maneira que venhão cair, successivamente, sobre o eixo optico, a risca negra e o meio da fenda vista directamente. Sobre um limbo horizontal mede-se o angulo, descripto pelo instrumento, para passar d'uma para outra coincidencia: este angulo conduz ao angulo minimo de desvio; e, sendo conhecido o angulo diedro do prisma, d'elle deduzimos o indice procurado.

§ VI

ESPECTROS FORNECIDOS PELAS LUZES ARTIFICIAES

As chammas, formadas pelos corpos gazosos incandescentes, sem nenhum corpo solido em suspensão, são characterizadas por espectros *descontinuos*. Nelles se observão, em geral, faxas luminosas em número maior ou menor, separadas por grandes espaços escuros. Estas faxas luminosas differem com a natureza dos corpos gazosos, que constituem a chamma e são characteristics para cada um d'elles.

Os corpos solidos ou liquidos, á medida que se aquecem, emittem, ao principio, raios calorificos obscuros, isto é, os raios menos refrangiveis. Depois, elevando-se mais a temperatura, aos raios obscuros junctão-se raios luminosos: são, primeiro, os raios vermelhos, depois os raios amarellos, e assim por diante até aos raios

roxos; que só apparecem, quando o corpo chega á temperatura branca, isto é, quando emite, simultaneamente, raios de todas as côres. Ao mesmo tempo, apparecem os raios chymicos, em tanto maior extensão, quanto mais elevada é a temperatura. O que caracteriza, essencialmente, os espectros, dos corpos solidos, é, serem, absolutamente, continuos e não apresentarem nenhum dos espaços escuros, que se observão nos espectros produzidos pela luz dos corpos gazosos.

As chammas, produzidas pelos corpos gazosos, que tem, em suspensão, particulas solidas, dão, egualmente, espectros continuos; porque o brilho das particulas solidas incandescentes é sempre muito superior ao do gaz. Assim, as chammas das velas, dos candieiros, que devem suas propriedades illuminantes ás parcelas de carvão, postas em liberdade durante a combustão, dão sempre espectros continuos.

§ VII

ANALYSE ESPECTRAL

As differenças characteristics, que existem entre os espectros produzidos pelos diversos corpos, quando se achão no estado de gaz ou de vapor, fizeram descobrir um methodo de analyse de extrema sensibilidade, ao qual Kirchhoff e Bunsen derão, nos ultimos annos, extraordinario desenvolvimento. Alimentando a chamma do

gaz illuminante por uma corrente de oxygeno ou por uma corrente rapida de ar, de modo que queime completamente o carvão e torne a chamma apenas visivel, depois introduzindo, nesta chamma, saes de diversos metaes em muito pequenas quantidades, virão-na tomar côres differentes e formar, através d um prisma, espectros caracteristicos. É assim, que a presença do sodio, na chamma, é accusada pela presença, no espectro, d'uma risca amarella muito brilhante; a do lithio, por uma risca vermelha e por uma risca amarella, differente da risca do sodio; a do estroncio, pelas riscas vermelhas e alaranjadas, e por uma risca azul, etc.

Este processo de investigação é tão sensivel, que permite descobrir na chamma a presença d'uma pequenissima fracção de milligramma de sodio, de lithio, etc.

Finalmente, a apparição de riscas particulares, não pertencentes a nenhum dos metaes conhecidos, guiou Kirchhoff e Bunsen á descoberta de dous metaes, o cesio e o rubidio, que depois forão isolados pelos mesmos sabios, por meio de processos chymicos.

CAPITULO XXI

ACHROMATISMO

§ I

COEFFICIENTE DE DISPERSÃO, PODER DISPERSIVO

Coefficiente de dispersão. Dá-se este nome á differença dos índices de refracção d'uma mesma substancia, para os raios extremos do espectro: assim, representando por n_r o indice dos raios roxos, por n_v o indice dos raios vermelhos, o coefficiente de dispersão será representado por $n_r - n_v$, que, multiplicado pelo seno de incidencia, representa, sensivelmente, o angulo, com que os raios de differentes côres se expandem, quando um raio de luz branca passa d'um meio para o vacuo, com um angulo de incidencia muito pequeno. Com effeito, consideremos um raio de luz branca AB , *fig. 121*, apresentando-se á segunda superficie MN d'uma substancia refrangente, com um angulo de incidencia i muito pequeno, e sejam BV e BR as direcções dos raios emergentes, roxo e vermelho: sendo muito pequenos os desvios d'estes raios, o angulo, que formão entre si, será, sensivelmente, igual a

$$\text{sen } r' - \text{sen } r;$$

mas, sendo i a incidencia commum, temos

$$\text{sen } r' = n_r \text{ sen } i \quad \text{e} \quad \text{sen } r = n_v \text{ sen } i,$$

e portanto

$$\text{sen. } r' - \text{sen } r = (n_r - n_v) \text{ sen } i.$$

Poder dispersivo. Dá-se este nome ao coeﬃciente de dispersão, dividido pelo indice medio de refração diminuido d'uma unidade. O indice medio de refração é o do raio amarello. Assim, admittindo a notação precedente, o poder dispersivo será expresso por

$$\frac{n_r - n_v}{n_a - 1}$$

Esta expressão representa, sensivelmente, a relação entre o angulo occupado pelos raios córados e o desvio do raio amarello, quando a luz passa d'um meio refrangente para o ar com um angulo de incidencia muito pequeno; porquanto, já vimos, que o primeiro angulo é representado por $\text{sen } i (n_r - n_v)$; e o segundo será representado por $\text{sen } i (n_a - 1)$; porquanto, sendo n_a o indice de refração do raio amarello e r'' o seo angulo de emergencia, teremos

$$\text{sen } r'' = n_a \text{ sen } i$$

logo

$$\text{sen } r'' - \text{sen } i = n_a \text{ sen } i - \text{sen } i = (n_a - 1) \text{sen } i$$

§ II

ABERRAÇÃO DE REFRAINGIBILIDADE

Se attentamente considerarmos a figura representada pela secção transversa d'uma lente, *A*, *fig.* 122, veremos, que a lente convexa se aproxima muito da figura, que se formaria, pondo dous prismas com suas bases voltadas uma para outra; e que a lente concava, *B*, se aproxima da figura, que resultaria, collocando dous prismas com os vertices voltados um para outro; mas que, em cada um d'elles, o angulo de refracção é maior para o lado do contorno da lente.

Os raios, que se transmittem através d'estas lentes, devem, portanto, soffrer uma dispersão prismatica em addição á sua refracção ordinaria, e esta dispersão será tanto maior, quanto mais proximos do contorno da lente estiverem os raios. Uma consequencia é, que os objectos, vistos através d'estas lentes, e as imagens formadas por ellas, são córadas em seo contorno, sendo aqui a perda de distincção ainda maior do que a que é devida á aberração espherica dos raios luminosos. A apparencia confusa, produzida por esta coloração prismatica, chama-se *aberração prismatica* ou *aberração de refrangibilidade* das lentes. São muito prejudiciaes nos vidros dos telescopios, onde se empregão para a formação das imagens aereas dos objectos distantes.

Para tornar mais intelligivel este phenomeno, resultante do trajecto dos raios solares, represente *R*, *fig.* 123, qualquer ponto luminoso: cada raio do pincel *ARB*, que d'aqui parte, não só se refrange, mas também se dispersa nas côres prismaticas. Os raios mais refrangiveis, os roxos, se encontram mais perto do vidro em *r*, os vermelhos mais longe em *v*. Entre *v* e *r*, onde se encontra o maior número de raios, em vez d'um ponto haverá um circulo, cujo diametro é *mn*. Este circulo chama-se *circulo de aberração*.

Experiencia. Interceptem-se os raios, que passam através da lente convexa antes de chegarem ao seo foco, pondo entre o vidro e o foco um papel branco *SS*, e sobre elle veremos um circulo, que no meio é branco e exteriormente vermelho. Colloque-se depois o papel alem do foco em *SS'*, e a parte exterior do circulo será roxa.

§ III

IDEA DO ACHROMATISMO

Diz-se *achromatico* o prisma, que tem a propriedade de desviar a luz sem dispersal-a; diz-se *achromatica* a lente, que não dispersa a luz, conservando suas propriedades focaes. Assim, são *achromaticos* os prismas e as lentes, quando as imagens, que vemos através de sua espessura, tem as côres das imagens vistas directamente. *Achromatismo* é o phenomeno da re-

fracção da luz sem dispersão. Os prismas e as lentes achromaticas formão-se pela reunião de prismas e de lentes de diversos vidros incolores, desegualmente dispersivos.

Newton, observando o phenomeno da dispersão das côres com prismas de vidro, de agua e de essencia de terebenthina, pensou, que as relações dos desvios dos differentes raios permanecião constantes, qualquer que fosse a natureza do meio refrangente: d'aqui resultava, que a differença dos desvios dos raios extremos, ou o angulo, com que os raios de differentes côres se expandem, era proporcional ao desvio de qualquer raio, e, por consequencia, que o achromatismo era incompativel com qualquer desvio. Perto de meio seculo este erro subsistiu.

Euler foi o primeiro, que suspeitou a possibilidade do achromatismo, por advertir, que existia no crystallino. O geometra sueco, Klingenstriern, mostrou a inexacção das experiencias de Newton. Hall, physico inglez, foi o primeiro, que fez construir lentes achromaticas; mas não publicou a sua invenção. Foi Dollond, artista de Londres, que em 1757 mostrou, que juxtapondo duas lentes, uma bi-convexa de crown-glass, outra concavo-convexa de flint-glass, se obtinha uma lente sensivelmente achromatica.

§ IV

PRISMAS ACHROMATICOS

Os prismas achromaticos são ordinariamente compostos de dous prismas, um de vidro ordinario (crown-glass), outro de vidro com grande quantidade de chumbo (flint-glass), e cujos angulos refrangentes são oppostos. Para conceber, como o achromatismo pode existir, consideremos um prisma atravessado por um feixe de luz branca. Se collocâmos por detraz d'este prisma outro prisma do mesmo angulo e da mesma substancia, em uma posição contrária, de maneira que as faces vizinhas sejam parallelas, a dispersão e o desvio, produzidos pelo primeiro prisma, serão destruidos pelo segundo, visto que o systema dos dous prismas forma uma placa de faces parallelas. Supponhamos agora, que o segundo prisma é formado d'uma substancia mais dispersiva do que a do primeiro: como a dispersão augmenta com o angulo do prisma, o segundo prisma, para tornar incolor a imagem, deve ter um angulo refrangente menor do que o primeiro; e a imagem será sensivelmente branca, apesar de conservar certo desvio.

Não conservando entre si as mesmas relações as refrangibilidades dos diversos raios córados, seria necessario, rigorosamente falando, empregar tantos prismas, quantos fossem os raios córados, que quizessemos achromatizar; mas como as variações d'estas relações são pouco con-

sideráveis, quando temos tornado parallelos, depois de sua emergencia, os raios, que se achão nos limites do espectro, todos os outros são sensivelmente parallelos. Então, determinando a relação dos angulos refrangentes dos dous prismas, de maneira que satisfaça a esta condição, o systema dos dous prismas será sufficientemente achromatico. Mas, quando se quer maior exactão, empregão-se tres prismas, cujos angulos se determinão pela condição do achromatismo dos raios vermelhos, roxos e amarellos.

Esta determinação se effectua muito facilmente, quando os angulos dos prismas são muito pequenos e os raios os atravessão quasi perpendicularmente.

§ V

DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DOS ANGULOS DE DOUS PRISMAS PARA OBTER O ACHROMATISMO

Determinação theorica. Considere-se primeiramente um raio *Im*, *fig. 124*, encontrando um prisma debaixo de qualquer angulo. Designando por *i* e *e* os angulos de incidencia e de emergencia, por *r* e *r'* os angulos de refração, por *a* o angulo refrangente do prisma, e por *d* o desvio, o triangulo *kmn* dará

$$d = i - r + e - r';$$

e como $r + r' = a$, teremos

$$d = i + e - a.$$

Se suppomos, que o angulo a é muito pequeno, e que o raio incidente passa quasi perpendicularmente ao plano bisector d'este angulo; representando n_r o indice para o raio roxo, teremos

$$i = n_r r \quad e \quad e = n_r r'$$

logo

$$d = a(n_r - 1).$$

Para outro prisma, cujo indice para o mesmo raio fosse n'_r , teriamos

$$d' = a'(n'_r - 1);$$

e se os prismas estivessem pegados e situados em sentido contrario, designando por D o desvio total, teriamos

$$D = a(n_r - 1) - a'(n'_r - 1).$$

Representemos agora por n_v e n'_v os indices dos dous prismas para o raio vermelho, e por D seo desvio, teremos do mesmo modo

$$D = a(n_v - 1) - a'(n'_v - 1);$$

e para que o achromatismo se verifique para

estes dous raios, é preciso, que $D = D'$; tere-
mos então

$$a(n_r - 1) - a'(n'_r - 1) = a(n_v - 1) - a'(n'_v - 1):$$

d'onde se tira

$$a' = a \frac{n_r - n_v}{n'_r - n'_v}.$$

Por meio d'esta equação acharemos o angulo do segundo, sendo conhecido o do primeiro.

Deve-se notar, que, pela última equação, os angulos dos prismas estão na razão inversa de sua dispersão; e vê-se assim, que, se a dispersão fosse proporcional ao desvio, como Newton suppozera, teriamos

$$\frac{n_r - n_v}{n'_r - n'_v} = \frac{n_v - 1}{n'_v - 1},$$

e por consequencia

$$a(n_v - 1) = a'(n'_v - 1)$$

O desvio D seria nullo, e, por consequencia, impossivel o achromatismo,

Se quizessemos achromatizar tres ou mais raios, seria necessario empregar egual número

de prismas, e achariamos, facilmente, as equações precisas para a determinação dos angulos d'estes prismas em funcção d'um d'elles.

Determinação experimental. Diasporometro de Rochon. Podemos determinar, experimentalmente, a relação, que devem ter os angulos de dous prismas de substancias diversas, para que o todo seja achromatico. Tomâmos um prisma da primeira substancia, applicâmos a uma de suas faces um prisma da segunda, cujo angulo seja variavel, e, olhando através do todo, fazemos variar o angulo do segundo prisma, até que esteja satisfeita a condição do achromatismo.

Podemos, facilmente, tornar variavel o angulo do segundo prisma, quando deve ser formado d'uma substancia liquida, encerrando este liquido entre dous vidros, cuja inclinação possa variar. Mas, quando a materia do segundo prisma deve ser solida, tomâmos um prisma triangular recto de flint-glass, *fig. 125*, dividimol-o em dous por um plano perpendicular ás arestas, e assim obtemos dous prismas perfeitamente eguaes. E' evidente, que, se o situâmos de modo que suas arestas sejam paralelas, e os angulos refrangentes eguaes sejam oppostos, o prisma, formado pela sua reunião, terá um angulo nullo; e que, fazendo gyrar um dos prismas á roda d'um eixo perpendicular á face commum, permanecendo fixo o outro, obteremos um prisma, cujo angulo variará d'um modo continuo, desde zero até ao dobro do angulo *A*.

Para achar o angulo x do prisma composto

em funcção do angulo i de cada um dos dous prismas, e do angulo y , que um d'elles se revolveu, sejam OP , *fig.* 426, uma perpendicular á face de contacto dos dous prismas, OP' uma perpendicular á outra face do prisma fixo, e OP'' uma perpendicular á face exterior do outro prisma. No triangulo espherico mnp temos

$$\cos x = \cos^2 i + \operatorname{sen}^2 i \cos y;$$

Depois de termos feito variar o angulo do systema dos dous prismas, até que esteja achromatizado o prisma dado, tirámos

$$1 - \cos x = \operatorname{sen}^2 i (1 - \cos y),$$

d'esta fórmula o valor do angulo x .

Rochon inventou um instrumento, chamado *diasporometro*, para commodamente fazer variar o angulo do systema dos dous prismas. A *fig.* 427 representa um diasporometro: á direita vê-se uma secção vertical. Os dous prismas eguaes, representados á parte em AA' , estão fixados no fundo de tubos r, t, r', t' . Um d'estes tubos está ligado a um disco vertical fixo; o outro t, t' , acha-se ligado a um prato a, a' , com seo contorno guarnecido de dentes: este prato pode receber movimento de rotação sobre si mesmo por meio do carrete dentado p, p' . Uma graduação e um vernier, gravados sobre o disco fixo e sobre o prato movel, servem para medir as quantidades, que este último gyra, a par-

tir da posição, em que as duas faces exteriores do prisma são parallelas.

§ VI

ESPECTRO SECUNDARIO

Quando o angulo dos prismas não é muito pequeno, sendo dado o angulo d'um d'elles, calculámos o do outro, aproximadamente, pelo methodo precedente, e por tentativas acabámos de lhe dar o valor conveniente. Neste caso, porém, não podemos destruir, inteiramente, todas as côres: distinguem-se, geralmente, o verde e o amarello. As côres, que ficão assim, quando se achromatizão dous raios, formão o que se chama *um espectro secundario*. Quando se achromatizão tres raios com tres prismas, temos do mesmo modo *um espectro terciario*. Neste último caso, achromatizão-se de preferencia os raios, que correspondem ás riscas *C*, *F* e *G*. Se conhecessemos duas substancias, cujas relações de dispersão fossem eguaes em todas as partes do espectro, teriamos achromatismo perfeito, reunindo sómente duas especies de raios. Esta condição é pouco mais ou menos preenchida por certas especies de vidro, estudadas por Dutirou, as quaes serião, pois, mais convenientes do que o flint e o crown ordinarios.

§ VII

LENTEs ACHROMATICAS

Lentes achromaticas são as que concentram em um só ponto os focos de todos os raios côrados, e constroem-se, reunindo muitas lentes de vidro dotadas de poderes dispersivos diferentes, ordinariamente de flint e de crown. O que dissemos dos prismas, applica-se às lentes: não conseguiríamos, realmente, achromatismo perfeito senão empregando uma infinidade de lentes diversas; mas de ordinario empregão-se duas, cujas curvaturas se determinão de sorte que se achromatizem os raios vermelhos e amarellos. As curvaturas das duas lentes podem calcular-se do modo seguinte.

Seja *Pa*, *fig.* 128, um raio incidente, *ab* o raio refracto na primeira lente, *bP'* a direcção do raio emergente no ar, *bc* o raio refracto na segunda lente, e *cP''* o raio emergente. *P'* é o foco conjugado de *P* em relação à primeira lente, *P'* e *P''* são igualmente focos conjugados em relação à segunda lente: porquanto, se um raio incidente partisse do ponto *P''*, atravessaria a lente na direcção *cb*, e emergiria em tal direcção, que se um raio chegasse nesta direcção, atravessaria a lente segundo *bc*, e esta direcção é evidentemente a de *bP'*. Assim, designando por n_r e n'_r os indices do mesmo

raio para a substancia da primeira e da segunda lente, teremos

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{a} \quad \text{e} \quad a = \frac{RR'}{(n_r - 1)(R + R')}$$

$$\frac{1}{p''} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{a'} \quad \text{e} \quad a' = -\frac{R'R''}{(n'_r - 1)(R' + R'')}.$$

e sommando as duas primeiras equações, virá

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p''} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a'}$$

Para outro raio incidente, cujos indices fossem n_v e n'_v , teriamos

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p''_1} = \frac{1}{a_1} - \frac{1}{a'_1},$$

$$\begin{cases} a_1 = \frac{RR'}{(n_v - 1)(R + R')} \\ a'_1 = -\frac{R'R''}{(n'_v - 1)(R' + R'')} \end{cases}$$

Se pomos $p'' = p''_1$, vem

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{a_1} - \frac{1}{a'_1};$$

e, substituindo por a , a' , a_1 , a'_1 , seus valores, achamos

$$R'' = \frac{RR'(n'_v - n'_r)}{(R + R')(n_r - n_v) - R(n'_r - n'_v)},$$

e, quando $R = R'$, vem

$$R'' = \frac{R(n'_v - n'_r)}{2(n_r - n_v) - (n'_r - n'_v)}.$$

Em todos os casos, sendo o valor de R'' independente de p , o chromatismo existe, qualquer que seja a posição do ponto luminoso.

CAPITULO XXII

PROPRIEDADES ILLUMINANTES, CALORIFICAS E CHYMICAS DO ESPECTRO

§ I

PROPRIEDADES ILLUMINANTES

Segundo Herschel, o maximo de luz existe nos raios amarelos e verdes, e diminue, insensivel-

mente, até ao vermelho e ao roxo, e é nesta última côr, que está o minimo. Newton havia já annuciado resultados pouco diversos. Podemos verificar este facto, fazendo cair o espectro sobre uma folha de papel escripto, e determinando, aproximadamente, as distancias, em que podemos perceber, distinctamente, as letras esclarecidas pelos diferentes raios.

§ II

PROPRIEDADES CALORIFICAS

Thermometros muito sensiveis, expostos no meio dos feixes de raios de diversas côres, dispersos por um prisma ordinario, indicão temperaturas deseguaes. A acção calorifica vai augmentando desde o roxo até ao vermelho, sobre o espectro solar: esta acção estende-se ainda alem; seo maximo tem, ordinariamente, logar nos raios vermelhos. Leslie foi o primeiro, que determinou, que a posição d'este maximo era variavel conforme a substancia do prisma. Melloni estudou as causas d'esta variação: eis-aqui os resultados obtidos por este physico, e as consequencias, que deduziu d'elle.

Fazendo cair, sobre o diaphragma de seo apparelho, as differentes partes d'um feixe de luz solar, disperso por um prisma, e comparando o effeito, que cada uma d'estas partes produzia sobre a pilha thermo-electrica, quando a abertura do diaphragma era livre, com o effei-

to, que subsistia ainda, quando era fechada por um vaso cheio d'agua, Melloni achou, que os raios calorificos do espectro solar se comportão como os que são enviados por fontes de calor terrestre de intensidades diversas; sendo os mais refrangiveis comparaveis com os que provêm da chamma d'um candieiro, e os menos refrangiveis com os que são expedidos por uma fonte de baixa temperatura. Com effeito, os raios de calor, disseminados na luz azul e na luz roxa, passam em grande abundancia através do meio diathermico liquido; os do espaço obscuro, situado mais longe do que a luz vermelha, são quasi totalmente retidos.

Podemos assim explicar a variação de posição do maximo de calor no espectro solar segundo a natureza do prisma, que o formou. Quanto mais diathermica for a substancia, ou, não sendo o corpo crystallizado, quanto maior for seu poder refrangente, menor será a perda, que o prisma fará soffrer proporcionalmente aos raios de calor menos refrangiveis; consequentemente mais afastado será o limite dos raios calorificos, que elle destruirá de todo. D'aqui se segue, que o maximo de calor do espectro deve caminhar do roxo para o vermelho e mesmo para alem, quando se empregão, para formal-o, substancias não crystallizadas cada vez mais refrangentes, ou, em geral, substancias cada vez mais diathermanas.

Com effeito, este maximo está sobre o amarello em um prisma de agua, sobre o alaranja-

do em um prisma de acido sulphurico, sobre o vermelho em um prisma de crown-glass, emfim no espaço obscuro, um pouco alem do vermelho, em um prisma de flint-glass.

§ III

IDENTIDADE DAS IRRADIAÇÕES CALORIFICAS E LUMINOSAS

Parece, que foi Ampère o primeiro, que admittiu, que o calor e a luz erão diversos effeitos da mesma causa. Este modo de ver as cousas adquiriu novo grau de probabilidade, depois que Masson e Jamin provárão, que a luz é absorvida nos mesmos pontos do espectro que o calor. Estes dous physicos, havendo isolado um pincel de raios simples, successivamente em todas as partes d'um espectro bem puro, achárão, que as laminas incolores de sal gemma, crystal de rocha, alumen, vidro e agua, deixão passar, egual e totalmente, todos os raios calorificos. A espessura do crystal de rocha variou de 4 a 150 millimetros. Com uma camada de agua de 80 centimetros não havia mais do que 75 por cento de calor transmittido; mas a luz tãobem se enfraquecia sensivelmente.

Os vidros corados, que interceptão certos raios luminosos, tãobem interceptão os raios calorificos da mesma refrangibilidade; por exemplo, o calor falta inteiramente nas faxas escuras, que a interposição do vidro azul de cobalto produz

no espectro. Experiencias, feitas para comparar as intensidades dos raios directos de calor e de luz, com as intensidades dos raios, que tihão atravessado uma lamina córada, mostrarão, que as perdas de calor e de luz erão sempre as mesmas. O calor media-se por meio do thermo-multiplicador, e a luz por meio d'um apparelho photometrico. Vê-se, pois, que todas as vezes que os raios produzem effeitos luminosos e calorificos, estes dous effeitos são attenuados do mesmo modo pelos meios interpostos.

§ IV

PROPRIEDADES CHYMICAS

Se o espectro solar é recebido sobre substancias, em que a luz pode effectuar combinações ou decomposições chymicas, observa-se, que as alterações produzidas são mui deseguaes nas diversas regiões do espectro. Ao contrário das propriedades calorificas, as propriedades chymicas se manifestão, principalmente, nas regiões mais refrangiveis, isto é, nos pontos proximos do roxo; ultrapassão tãobem, do lado do roxo, os limites do espectro visivel; de sorte que o sol nos envia, alem de raios, ao mesmo tempo, chymicos e luminosos, raios chymicos obscuros, dotados de refrangibilidade maior que os primeiros. No capitulo seguinte, estudando a photographia, teremos occasião de apreciar melhor as propriedades chymicas da luz solar.

CAPITULO XXIII

EFFEITOS CHYMICOS DOS RAIOS LUMINOSOS.

PHOTOGRAPHIA

§ I

ACÇÕES CHYMICAS DA LUZ

A luz é capaz de exercer certas acções chymicas, que o calor, que a acompanha, não pode determinar. Por exemplo, a luz promove a combinação do chloro com o hydrogeneo, e decompõe os saes de prata, de ouro e de platina; obra sobre as substancias corantes de origem organica, as quaes empallidecem, quando expostas ao sol; branqueia os tecidos crus e a cera; é indispensavel para as acções chymicas, que se dão nas plantas durante o acto da respiração; preside á formação da materia corante das folhas e das flores. Na obscuridade, os animaes e os vegetaes definhão.

§ II

DIFFERENÇA DE ACTIVIDADE CHYMICA DOS DIVERSOS RAIOS LUMINOSOS

Nem todas as fontes de luz excitão com a mesma energia as acções chymicas; a luz solar é a que, a este respeito, mais sobresaes; mas nem todos os raios simples, que a mesma fonte irradia, são dotados da mesma efficacia. Schee-

le, que pelo anno de 1770 descobrira a acção da luz sobre o chlorureto de prata, observou também a desigualdade de acção dos diversos raios do espectro sobre esta substancia, e reconheceu, que a acção decomponente residia, principalmente, nos raios roxos. Depois Seebeck annunciou, que a acção vai crescendo dos raios vermelhos para os roxos, e, em 1801, Wollaston descobriu, que o chlorureto de prata enegrece muito no espaço, que se estende alem do roxo, e onde não ha raios visiveis; o que ao principio fez admittir raios chymicos ou irradiações chymicas, inteiramente diversos dos raios luminosos. Bérard, tendo concentrado no foco d'uma lente os raios dispersos, comprehendidos entre o verde e o vermelho, depois os que se comprehendem entre o verde e o roxo, achou, que o chlorureto de prata, situado no foco deslumbrante do primeiro feixe, não tinha experimentado, ao cabo de duas horas, nenhuma coloração, e que, no foco muito pouco brilhante do segundo, havia enegrecido dentro d'alguns minutos, Gay-Lussac e Thénard virão a mistura de chloro e hydrogeneo detonar debaixo da influencia dos raios roxos, e não soffrer nenhuma acção debaixo da influencia dos raios vermelhos.

Em 1839 foi publicada a descoberta de Daguerre. Uma camada imperceptivel de iodureto de prata, formada na superficie d'uma placa prateada, recebe as imagens produzidas na camara escura. Esta camada de iodureto é impressionada em graus differentes, conforme a luz é mais

ou menos viva; e a imagem, primeiramente invisível, apparece, quando a placa se expõe aos vapores de mercurio. Esta admiravel descoberta, de que já vamos falar, attrahiu muito a attenção sobre as acções chymicas da luz, e foi fecundada por muitos physicos eminentes.

§ III

IDENTIDADE DOS RAIOS CHYMICOS E DOS RAIOS LUMINOSOS

E. Becquerel concluiu de suas numerosas experiencias, que não ha razão, para admittir *raios chymicos* especiaes, e que são os proprios raios luminosos, que produzem os effeitos chymicos. Com effeito, os raios, que produzem as acções chymicas, se reflectem e se refrangem como os raios luminosos da mesma refrangibilidade; o espectro luminoso e o espectro chymico são interrompidos pelas riscas nos mesmos logares; as substancias, que absorvem os raios luminosos, absorvem tãobem os raios chymicos da mesma refrangibilidade. Não ha, pois, como ao principio se admittiu, raios chymicos obscuros, como ha raios calorificos obscuros.

Para chegar a esta conclusão, é preciso tomar em linha de conta as differenças das intensidades chymicas e luminosas nos mesmos pontos, e tãobem advertir, que, se a intensidade luminosa é tão fraca, que o orgão visual não seja impressionado, a acção chymica pode, toda-

via, manifestar-se depois d'um tempo sufficientemente longo, tempo que não tem influencia sobre o effeito produzido sobre o orgão visual.

§ IV

PHOTOGRAPHIA

O problema, que se pretende resolver na *photographia* ou *heliographia*, consiste em fixar sobre um alvo as imagens, que se formão na camara escura. Já em 1802, Wedgwood havia tentado resolvereste problema, e seos ensaios forão proseguídos por Davy e por Charles. Este último chegou a fazer desenhos sobre chlorureto de prata; mas seos ensaios forão de pouca importancia, porque era preciso conservar os desenhos na obscuridade; pois logoque a luz continuava a exercer sua acção, a camada sensivel não tardava a tomar uma cõr uniforme. Toda a questão consistia, pois, em tornar permanente a impressão obtida.

Depois de trabalhos aturados desde 1813 até 1829, Niepce teve a gloria de ser o primeiro, que resolveu este difficil problema; conseguiu copias de gravuras por meio da acção da luz sobre uma camada delgada de betume da Judéa, deposta sobre uma placa prateada. Tornava permanentes estas copias pela immersão da placa em uma mistura de oleo de alfazema e de petroleo, que dissolvia o betume em todos os logares, em que não tinha sido impressionado

pela luz, e o deixava quasi intacto nos pontos, que havião soffrido esta acção; de maneira que os tons claros erão representados pela camada esbranquiçada de bétume, e as sombras pela superficie metallica, quando para ella se olhava em tal direcção, que não enviasse ao orgão visual nenhuma luz reflectida especularmente. Mudando, porém, as sombras de logar durante as dez ou doze horas necessarias para impressionar a placa, não se obtinhão senão resultados confusos.

Niepce soube, em 1826, que o pintor Daguerre, conhecido pela invenção do diorama, se occupava de investigações similhantes ás suas, e se associou com elle, para continuarem seos ensaios. Daguerre substituiu ao betume da Judéz, empregado por Niepce, o residuo da distillação do oleo de alfazema, e tornou inalteravel a prova, expondo-a aos vapores, que a essencia de alfazema derrama espontaneamente: tres a septe horas de exposição na camara escura erão sufficientes para obter uma prova satisfactoria. Em 1839, Daguerre descobriu a extrema sensibilidade do iodureto de prata, e seo processo de photographia excitou um enthusiasmo, de que se encontrão poucos exemplos na história da sciencia.

§ V

PHOTOGRAPHIA SOBRE METAL OU DAGUERREOTYPIA

As placas, sobre que se fixão as imagens da

camara escura, são laminas de cobre revestidas d'uma camada de prata pura de $\frac{1}{40}$ a $\frac{1}{20}$ de millimetro de espessura.

1.º A primeira operação é o polimento da superficie prateada; d'ella depende, principalmente, o bom exito do processo. Principia-se esta operação por meio d'um panno de algodão e tripoli fino, misturado com algumas gottas de agua, e acaba-se esfregando com uma pelle de gamo polvilhado de colcothar; depois enxuga-se com camurça.

2.º Fixa-se a placa sobre uma moldura de madeira, e expõe-se sobre uma caixa aos vapores de iode. Forma-se iodureto de prata na superficie da placa, e reconhece-se, que esta se acha sufficientemente revestida, quando apresenta uma côr amarella de ouro. Nesta operação gastão-se 5 a 15 minutos conforme a temperatura. Deve-se operar em um lugar escuro, e examina-se de quando em quando o estado da superficie, deixando entrar alguma luz. A placa deve conservar-se abrigada por um anteparo de madeira.

3.º Introduce-se a placa em uma pequena camara escura, e põe-se no lugar, em que se forma a imagem focal, que se quer reproduzir. A luz actua em cada poncto da camada de iodureto de prata com tanto maior intensidade, quanto mais illuminado é o poncto da imagem. Ao cabo d'alguns minutos tira-se a placa, sobre que ainda nada se vê.

4.º A placa expõe-se então, inclinada 45° , ao

vapor de mercurio em uma caixa, cujo fundo, que é de folha de ferro, tem uma cavidade, como uma capsula, contendo mercurio. Aquece-se a capsula pela parte inferior, até que a temperatura do mercurio suba a cerca de 60° , o que se reconhece por meio d'um pequeno thermometro, cuja aste passa para fora da caixa. A imagem apparece então, e pode-se seguir o seu desenvolvimento, esclarecendo a placa por meio d'uma vela, através d'um vidro vermelho adaptado á caixa. No fim de quatro ou cinco minutos, tira-se a placa, sobre que o mercurio se depoz em gottinhas, que só com o microscopio se podem ver. Estas gottinhas são tanto mais proximas umas das outras, quanto mais vivamente impressionado foi o iodureto de prata, de sorte que os logares da imagem, que erão muito esclarecidos, são d'uma brancura mais ou menos pronunciada, e os logares, que estavam na sombra, apresentam a superficie propria da prata. Para explicar este resultado, note-se, que o iodureto de prata é decomposto pela luz, e que se forma um sub-iodureto ou mesmo prata reduzida a pó impalpavel, que condensa os vapores de mercurio em quantidade tanto maior, quanto mais abundantes são as parcellas de metal. O mercurio não se depõe sobre os logares, que a luz não decompoz, e onde a prata está revestida d'uma camada de iodureto.

5.º Falta tirar o iodureto, que não foi atacado, para que a luz não possa obrar mais sobre

a prova. Para isso mergulha-se a placa no fundo d'um vaso com uma solução aquosa de hypo-sulphito de soda, contendo pouco mais ou menos $\frac{1}{10}$ de sal em pêsos, e faz-se oscillar o vaso, de modo que o liquido passe muitas vezes por cima da placa. O iodureto não decomposto é dissolvido, e esta operação termina, quando a prata retoma sua brancura ordinaria nos logares, que o mercurio não cobriu. Lava-se, então, com agua pura.

6.^o Formada a imagem, nos claros, por gottas imperceptiveis de mercurio, o menor attrito bastaria para apagal-a. E', pois, necessario dar-lhe mais solidez. O methodo, empregado com este fim por Fizeau, consiste em depor sobre a prova uma camada delgadissima de ouro. Para isso deita-se sobre a placa, posta bem horizontalmente, uma camada d'uma solução de chlorureto de ouro misturado com hypo-sulphito de soda, e aquece-se com uma lampada de alcool: o ar adherente á placa evolve-se, e depõe-se uma camada de ouro, que, cobrindo a prata e as gottinhas de mercurio, forma uma especie de verniz, que realça o tom da prova e lhe permite resistir a um attrito moderado.

§ VI

SUBSTANCIAS ACCELERATRIZES

As admiraveis provas, obtidas por Daguerre, demandavão cerca de 15 minutos de exposição

na camara escura, o que tornava impossivel a applicação da photographia aos retratos. Com effeito, era impossivel contar com a immobildade do modelo por tanto tempo: a pessoa havia de ter os olhos fechados, e como tinha de se expor ao sol para dar mais brilho á imagem, o incommodo, que esta posição produzia, determinava contracções, que alteravão seo aspecto habitual; de que resultavão provas extremamente defeituosas. Depois conseguiu-se reduzir a duração da exposição a alguns segundos e mesmo a fracções de segundo, pelo augmento de sensibilidade da camada impressionavel.

Claudet, em 1841, chegou a exaltar singularmente esta sensibilidade por meio do vapor de bromo. Depois de estar formada a camada de iodureto, amarello como ouro, expõe-se a placa ao vapor de bromo, evolvido espontaneamente do bromureto de cal, até se fazer côr de rosa, o que exige 30'' pouco mais ou menos; depois torna-se a expor á acção do iode, até se fazer violacea. Forma-se um bromo-iodureto de prata, que a luz modifica muito mais rapidamente do que o iodureto.

Ha muitas substancias, que fazem, como o bromo, o papel de substancias acceleratrizes; taes são, o chloro, o acido chloroso, o chlorureto de bromo, o de enxofre, etc.

§ VII

DAGUERREOTYPY

O apparelho, de que se faz uso na photographia, para produzir a imagem, que se quer fixar, recebeu o nome de *daguerreotypo*. E' uma camara escura *D*, *fig. 129*, em que a imagem se forma na parede vertical fronteira á objectiva, a qual parede se pode afastar mais ou menos d'esta. O apparelho colloca-se sobre uma pequena mesa, articulada sobre um apoio *A* de tres pés, de modo que se possa inclinar mais ou menos. Em *O*, vê-se a secção longitudinal da objectiva: *L, l*, são duas lentes achromaticas, que podem aproximar-se mais ou menos uma da outra por meio d'um carrete dentado, *p*, e d'uma aste dentada. A parede fronteira á objectiva é constituida por uma lamina de vidro *e*, despolida pela face interna. Cobre-se a objectiva com o anteparo *a*, substitue-se a lamina de vidro pela placa sensivel, tira-se o anteparo, que encobre esta última, descobre-se a objectiva, e a luz opera sobre o chlorureto de prata.

Sendo os raios chymicos d'entre os mais refrangiveis, pode acontecer, que o *foco chymico* se não faça na mesma distancia que o foco luminoso. Convem, pois, por alguns ensaios, estudar previamente a objectiva do apparelho. Constroem-se objectivas, cujo foco chymico coincide com o foco luminoso.

A imagem da camara escura é invertida. Quando se volta a placa, para ver a imagem direita, a esquerda do desenho acha-se á direita e reciprocamente, como quando nos vemos em um espelho. Evita-se este inconveniente, adaptando, em *d*, á objectiva um prisma rectangular vertical *P*, sobre cuja face hypotenusa se reflectem os raios luminosos. O anteparo, destinado a cobrir a objectiva, está então em *a'*.

§ VIII

PHOTOGRAPHIA SOBRE PAPEL

Este methodo photographico foi inventado em Inglaterra por Talbot antes da publicação do methodo de Daguerre; em 1847 foi aperfeiçoado em França por Blancquard Evrard, consistindo o principal aperfeiçoamento em mergulhar a folha de papel nos liquidos, de que se faz uso, de maneira que se obtenha uma imbibição profunda, em logar de estender simplesmente estes liquidos com o pincel, como practicava Talbot. Eis-aqui a maneira de proceder hoje.

1.^o *Preparação do papel sensivel.* Escolhe-se papel fino, bem homogeneo, bem lizo e bem collado, e põe-se sobre uma solução de nitrato de prata, de modo que não intercepte bolhas de ar e não molhe a superficie superior do papel. Ao cabo de dous ou tres minutos, tira-se o papel com pinças de platina, e estende-se na

obscuridade sobre um vidro, ficando para cima a superficie molhada. Quando o papel está secco, torna-se sensivel, mergulhando-o inteiramente em uma solução de iodureto e bromureto de potassio: forma-se iodureto e bromureto de prata; e depois de dous ou tres minutos tira-se o papel e secca-se em lugar escuro, suspendendo-o verticalmente. Depois de secco, pode-se guardar mais d'uma vez na obscuridade.

Humbert de Molard imaginou uma especie de papel sensivel, que não exige senão de 3'' a 30'' de exposição na camara escura. O papel é, primeiramente, extendido durante 5' sobre uma solução de iodhydrato de ammoniaco, e deixa-se seccar. Este papel não se pode guardar muito tempo. No momento de se usar d'elle, mergulha-se em uma solução de azotato de prata, acetato de zinco e acido acetico.

2.º *Formação da prova negativa.* O papel, preparado por Blancquard Evrard, pode mesmo secco expor-se na camara escura; mas gasta-se muito mais tempo para obter uma prova boa. Quando se quer operar rapidamente, como acontece nos retratos, convem usar da folha humida. Principia-se por extender sobre um vidro bem horizontal uma camada d'uma solução de azotato de prata e acido acetico crystallizado, e sobre esta camada applica-se a superficie preparada da folha; expulsa-se o liquido, passando o bordo d'uma lamina de vidro sobre o papel, de modo que este fique bem ajustado, sobrepõe-se uma folha de papel passento molhado,

sobre que se colloca segundo vidro, e a folha assim preparada se expõe na camara escura, onde deve estar pouco mais ou menos o dobro do tempo, que seria necessario para uma placa daguerreotypica.

Quando se tira a folha da camara escura, a imagem é invisivel: para fazel-a apparecer, applica-se a face impressionada da folha sobre uma camada d'uma solução saturada de acido pyrogalbico. Este acido continua rapidamente a reduçção dos saes de prata, e os logares impressionados enegrecem, tanto mais, quanto mais vivamente feridos forão pela luz. D'aqui resulta, que as partes claras da imagem da camara escura parecem sombreadas na prova, e as partes sombreadas são claras. Obtem-se, assim, o que se chama *prova negativa*. Esta prova mergulha-se por 20' a 25' em um banho de hyposulphito de soda ou de bromureto de potassio, que torna a prova inalteravel á luz, dissolvendo os saes de prata, que não forão decompostos. Lava-se com agua e deixa-se seccar.

3.º *Provas positivas*. A prova negativa serve para obter provas positivas, isto é, em que as sombras e os claros occupão as mesmas posições que no modelo. Para isto, primeiramente, faz-se diaphana, o que se obtem mergulhando-a em cera virgem, depois apertando-a entre folhas de papel passento com um cylindro de folha cheio de agua ebulliente, ou simplesmente com um ferro de engommar, até que o papel passento lhe não roube mais cera. Applica-

se depois a prova negativa, sobre uma folha de papel sensível, preparada como a que serviu para formal-a: mantem-se as duas folhas entre dous vidros, e expõe-se tudo ao sol ou á luz diffusa, ficando por cima a prova negativa. Interceptando a luz as partes negras, a folha inferior enegrece nos brancos, e dá um desenho, em que as sombras e os claros estão dispostos d'um modo inverso em relação á prova negativa. Gasta-se muito tempo para obter assim uma prova; mas B. Evrard reduziu este tempo a menos de 4' por meio do emprego do acido galhico, com que se faz apparecer a imagem, ao principio invisível, como para a prova negativa. D'esta forma podemos obter num dia trezentas ou quatrocentas provas positivas. Termina-se a operação, lavando o papel em uma solução de hypsulphito de soda, para dar á prova uma cor geral.

§ IX

PAPEL ENCERADO E PAPEL GELATINADO

Papel encerado. O papel, por causa de sua textura fibrosa, não se presta, como as placas metallicas, á reproducção das particularidades mais minuciosas das imagens; os contornos são menos distinctos e como esfumados. Muitas tentativas se fizeram para dar ao papel uma superficie sufficientemente liza, afim de reproduzir distinctamente as mais miudas particularidades.

Le Gray e Fabre de Romans empregarão o papel imbebido em cera. Este papel prepara-se pelo mesmo methodo, que se emprega para encerrar a prova negativa. Torna-se sensível pelo processo de B. Evrard; mas deve-se mergulhar totalmente nos banhos, porque a cera difficulta a imbibição, e ter o cuidado de não quebrar o papel, que é bastante fragil.

Papel gelatinado. Baldus, vendo, que a cera impedia, que os liquidos penetrassem o papel, empregou a gelatina. A uma solução de gelatina em banho maria, junctão-se iodureto de potassio e uma solução de aceto-nitrato de prata. A folha de papel põe-se sobre este banho, depois secca-se. Depois de estar bem secca, molha-se em uma solução de iodureto de potassio, ou de iodhydrato e bromhydrato de ammoniaco. Este papel, estando secco, põe-se, quando se quer usar d'elle, sobre uma camada de aceto-nitrato, e expõe-se humido na camara escura. Acaba-se, passando pelo acido galhico, lavando com hypo-sulphito de soda, depois encera-se a prova negativa assim obtida.

§ X

PHOTOGRAPHIA SOBRE VIDRO ALBUMINADO

Este processo, imaginado, em 1847, por Niepce de Saint-Victor, sobrinho do primeiro inventor da photographia, dá provas d'uma delicadeza, que apenas cede á da photographia so-

bre metal. Estende-se, sobre uma placa de vidro muito limpo, um liquido, formado de albumina, iodureto de potassio e agua. Faz-se gyrrar a placa sobre si mesma, pegando-lhe por um cabo de gutta-percha, fixado no centro e na face opposta; o liquido se estende então regularmente. Secca-se a placa em posição horizontal, encerrando-a, bem ao obrigo da poeira, em uma caixa com chlorureto de calcio para seccar o ar. A placa, uma vez secca, mette-se em um banho de azotato de prata. A camada sensivel, formada pelo azotato de prata, está então prompta para receber a acção da luz. Pode seccar-se, e guardar-se muitos dias na obscuridade, antes de se usar d'ella.

Depois de 15' a 30' de exposição na camara escura, tira-se a placa, sobre a qual nada apparece ainda, e faz-se apparecer a imagem por meio d'um banho de acido pyrogallico; depois fixa-se com hypo-sulphito de soda. Esta imagem negativa serve depois para obter as imagens positivas sobre qualquer superficie sensivel. Bastão 10'' de exposição, para ter uma boa prova positiva sobre vidro albuminado. Estas especies de provas positivas empregão-se, principalmente, nos desenhos destinados para serem vistos com o estereoscopio.

§ XI

PHOTOGRAPHIA SOBRE COLLODION

Archer, em Inglaterra, descobriu, em 1851,

um processo tão rapido, que se pode, descobrindo a objectiva da camara escura, e tornando a cobri-la com a maior rapidez possivel, reproduzir a expressão mais fugitiva da physionomia, obter o desenho dos corpos em movimento, como as ondas do mar; um cavallo a galope, uma locomotiva com grande velocidade; etc. O collodion, obtido por Maynard, de Boston, dissolvendo o algodão polvora em ether sulphurico, é o vehiculo da camada sensivel.

Extende-se sobre uma plâca de vidro do mesmo modo que a albumina, mas não é preciso fazer gyrar a placa. Antes de seccar, mergulha-se rapidamente em uma solução de azotato de prata: a camada, em virtude da formação do iodureto de prata, toma apparencia leitosa. Esta última operação, que torna sensivel a superficie, deve practicar-se na obscuridade. Em seguida, expõe-se na camara escura, e passa-se pelo acido pyrogallico, depois pelo hypo-sulphito de soda. Quando se querem tirar provas positivas com a prova negativa de collodion, cobre-se esta com verniz, que a preserva do attrito da superficie sensivel, sobre que deve ser applicada.

§ XII

APPLICAÇÕES DA PHOTOGRAPHIA

Alem do serviço quotidiano, que a photographia presta aos viajantes e aos archeologos, reproduzindo-lhes com rapidez e fidelidade, os

monumentos, as esculpturas, as mais complicadas inscrições, a photographia tãobem presta numerosos serviços ás bellas artes, reproduzindo economicamente os quadros, as estatuas, os baixos relevos, as gravuras, de que se podem multiplicar os exemplares por meio d'uma só prova negativa. As sciencias phisicas tirão tãobem vantajoso partido da photographia: conservão-se as imagens de infusorios, de partes muito pequenas de plantas ou de animaes, amplificadas pelo microscopio solar ou pelo microscopio photo-electrico: a imagem forma-se no fundo d'uma camara escura, adaptada á objectiva do microscopio. Reproduzem-se as peças anatomicas, os objectos de historia natural; copiãose os apparatus de physica, as machinas mais complicadas.

Por meio da photographia pode fixar-se a imagem da camara escura sobre o buxo proprio para a gravura; para o que basta extender sobre a superficie da madeira uma camada imperceptivel de oxalato de prata, e pôr por cima a prova negativa do desenho, que se quer reproduzir. O desenho positivo obtido pode-se conservar na obscuridade, quanto tempo se quizer. Na luz diffusa enegrece, mas tão lentamente, que o gravador tem tempo para acabar sua obra, principalmente se tem o cuidado de cobrir com papel preto os logares, em que não está trabalhando. Esta applicação importante é designada pelo nome de *xylographia* (*xylon* madeira). A photographia fornece tãobem á photome-

tria o meio de comparar as intensidades de luz, que não brilham simultaneamente. O tempo necessario para impressionar a superficie sensivel, ou o estado d'esta superficie no fim d'um tempo dado, faz conhecer as intensidades relativas das duas fontes de luz. J. Herschel e E. Becquerel empregarão este meio para comparar as intensidades chymicas dos raios do sol em differentes alturas. Os instrumentos, destinados para este ultimo uso, são denominados *actinographos* (*aktin* raio).

Podemos obter as imagens do sol, da lua, das constellações, fazendo cair sobre a superficie sensivel a imagem, que se forma atraz da ocular d'um bom oculo astronomico bem achromatico. Quando a luz é fraca, como a das estrelas, convem, que o oculo seja montado paralacticamente, isto é, seja dirigido por um relógio, que lhe faça seguir o astro em seos movimentos horarios. Uma especie de camara escura, fixada á ocular, conduz o papel sensivel. Quando se quer obter assim a imagem da lua, e se emprega o collodion sobre vidro, pode-se usar d'um oculo fixo, porque a operação não dura mais do que 20'' a 30'', durante os quaes o astro não se desloca sensivelmente. Durante o eclipse solar de julho de 1851, imprimiu-se por este meio a imagem do sol nas diversas epochas do phenomeno,

§ XIII

APPLICAÇÃO DA PHOTOGRAPHIA AO LEVANTAMENTO
DAS PLANTAS

Desde a descoberta da camera escura, os geometras tentarão applicar este instrumento ao levantamento das plantas, junctando-lhe circulos, niveis, etc.; mas virão jarretadas suas tentativas. Mais tarde a descoberta da camera clara suscitou novas tentativas; e modernamente Laussidat obteve bons resultados, combinando a camera clara com a plancheta; mas não applicou este principio senão ao levantamento expedito das plantas para as operações militares.

A descoberta da photographia recebeu, finalmente, o elemento de rapidez, que até agora faltava para o levantamento das plantas. Contudo, apesar das promessas da theoria, a prática encontrára grandes difficuldades nesta applicação da photographia ás operações geodesicas. E' sabido, que as partes da imagem da camera escura, que estão situadas nas margens da objectiva, soffrem sempre deformações, que se traduzem por grandes inexacções, quando se quer abraçar mais d'uma dezena de graus no campo do instrumento. Esta difficuldade havia embaraçado os operadores e feito abandonar os processos d'este genero.

Chevallier, em 1859, conseguiu triumphar d'esta difficuldade. Seu apparelho, que foi chamado plancheta photographica, permite levantar,

com toda a precisão geometrica, os pontos situados sobre quasi toda a extensão do horizonte. Eis aqui suas principaes disposições.

Sobre o tripé solido da plancheta ordinaria se colloca uma camara escura, que pode gyrar á roda do eixo d'esta plancheta, de maneira que venha successivamente situar-se á vista de todos os pontos do horizonte. O vidro collodionado, que deve receber a imagem photographica negativa, apresenta uma forma concava semi-circular; pode gyrar em torno de seo eixo, e dous anteparos móveis, dispostos lateralmente, podem limitar, quanto se quizer, a imagem, que vem formar-se sobre esta placa. D'aqui resulta, que, fazendo gyrar em torno de seo eixo a placa impressionavel pela luz, podemos, dirigindo successivamente a objectiva para os differentes pontos do horizonte, obter uma serie de quadros parciaes, cujo todo constitue uma especie de panorama da localidade.

§ XIV

REGISTADORES PHOTOGRAPHICOS

Uma das mais importantes applicações da photographia é a que se faz ao registro das observações meteorologicas. Tomaremos para exemplo o *barometrographo* de Ronalds. O mesmo methodo pode empregar-se, todas as vezes que se tem de registrar a posição da extremidade d'uma columna de mercurio.

Principia-se por obter um *foco* linear, paralelo ao eixo da columna. Para isso a chama d'uma alampada ou d'um bico de gaz, *s*, *fig. 130*, se dispõe no foco d'um espelho cylindrico de secção parabolica *p*, que reflecte os raios em um feixe paralelo. Este feixe atravessa uma lente cylindrica *l*, que forma um foco linear no lugar, em que se acha a columna de mercurio *bl*. Em *e* está um anteparo com uma fenda estreita vertical. Uma lente achromatica, *L*, forma em *rr'* uma imagem invertida e amplificada da parte da fenda, que fica acima da columna de mercurio. Esta imagem cae sobre uma folha de papel encerado sensivel, extendida em uma moldura, a que um machinismo de relógio imprime um movimento regular perpendicularmente ao eixo da lente *L*. O papel é impressionado, e quando se molha no acido pyro-gallico, apresenta uma superficie branca, em todos os lugares, em que o mercurio a preservou da acção da luz. A curva, formada pelo bordo d'esta superficie branca, indica as variações de posição do nivel de mercurio. Divisões traçadas no lado vertical da moldura deixão avaliar as differenças de altura, tomando em conta a amplificação. Uma divisão traçada sobre o lado horizontal indica as horas correspondentes.

CAPITULO XXIV

METEOROS DEPENDENTES DA DECOMPOSIÇÃO DA LUZ

§ I

ARCO IRIS

O magnifico phenomeno do *arco iris*, a que o vulgo chama *arco da velha*, explica-se completamente pela dispersão da luz e pelas refracções e reflexões, que ella soffre nas nuvens, em que o sol bate. O arco iris desenvolve-se, quando o sol dardeja seos raios sobre uma nuvem, prestes a desfazer-se em agua, achando-se o observador collocado diante d'esta nuvem com as costas voltadas para o sol. A's vezes não se observa senão um arco; o mais ordinario, porém, é haver dous; um interior, cujas côres são vivas, outro exterior, cujas côres são menos vivas: ambos apresentam as côres do espectro solar. A côr mais elevada no arco interior é a vermelha; no arco exterior é a roxa. E' raro, perceberem-se tres arcos; mas a theoria ensina, que o seo número pode ser ainda maior: suas côres são tão pallidas, que se não divisão.

O arco iris é mais ou menos visivel, conforme a parte do ceo, posterior ao logar, em que elle se forma, é mais ou menos escura, fazendo assim realçar as côres e servindo de fundo ao quadro. Sua grandeza e posição dependem de

altura do sol, da posição do observador, e da figura do terreno, envolvido pelas nuvens.

As côres do arco iris são o resultado da decomposição, que a luz branca soffre ao penetrar em cada um dos globulos de agua, de que a nuvem se compõe. Cada raio corado, que provém d'esta decomposição, atravessa o globulo e se reflecte em parte na superficie concava opposta; atravessa-o então em novo sentido, e se apresenta, para sair em outro poncto, do lado do observador. Alli, uma parte sae realmente, e outra é ainda reflectida e transportada para o interior do globulo, etc. Pode assim ter logar grande número de reflexões successivas, em cada uma das quaes sae uma porção de luz, cuja intensidade é tanto menor, quanto maior tem sido o número das reflexões. São os raios, que saem assim para o lado do observador, que determinão a sensação das côres.

Os raios, que saem do globulo, depois de ter ahí soffrido uma ou mais reflexões, fazem um certo angulo com sua direcção primitiva. Este angulo é constante para todos os raios da mesma natureza, que penetrão no globulo com a mesma incidencia, e que soffrem no seo interior o mesmo número de reflexões; mas varia para aquelles, cuja incidencia é differente, ou cujo numero de reflexões é menor ou maior. O cálculo demonstra, que em um feixe de raios parallelos da mesma natureza, que incidem sobre um globulo, e que não soffrem senão uma reflexão em seo interior, este angulo augmenta suc-

cessivamente desde o raio normal, para que é nullo, até certo limite, além do qual decresce até ao raio tangente á esphera. Ora, perto d'este limite, os raios parallellos extremamente vizinhos, que entram no globulo, soffrem desvios muito pouco differentes, e ficão sensivelmente parallellos na sua saida; d'onde resulta, que o orgão da vista, situado na direcção d'este pequeno feixe, recebe uma assaz viva sensação de cores, entretanto que, em todas as outras partes, não encontrando senão raios isolados, a sensação não pode ser senão extremamente fraca. Estes raios, que saem assim do globulo, formando um pequeno feixe, capaz de produzir impressão sensivel, forão chamados *raios efficazes*.

O mesmo acontece aos raios, que soffrem duas ou mais reflexões no interior do globulo; ha sempre um certo limite, á roda do qual muitos raios parallellos, muito vizinhos, saem do globulo, ficando sensivelmente parallellos, e podem produzir uma sensação notavel.

O limite, que acabámos de indicar, não é o mesmo para todas as especies de raios corados; varia com sua refrangibilidade. Tem logar para os raios vermelhos, que são os menos refrangiveis, quando o raio, que sae depois d'uma só reflexão, faz com o raio incidente um angulo de $42^{\circ} 2'$; este angulo é successivamente menor para todos os outros raios corados até ao roxo, que é o mais refrangivel, e para o qual é $40^{\circ} 17'$. Quando o raio emergente soffre duas reflexões no interior do globulo, o limite tem lo-

gar, no caso dos raios vermelhos, para o angulo $50^{\circ} 55'$, e no caso dos roxos para o angulo $54^{\circ} 9'$

Vejamos agora, como se produzem as zonas coradas do arco iris. O sol, considerado como um simples poncto luminoso infinitamente remoto, envia para a nuvem um feixe de raios, dos quaes cada globulo de agua recebe alguns. De cada globulo saem depois alguns raios efficazes, e uns ou outros chegam aos observadores situados em diversos ponctos. Ora, o primeiro raio corado, que pode chegar a um d'estes observadores, depois d'uma só reflexão no globulo, é o que faz menor angulo com sua direcção primitiva; é por tanto um raio roxo, cujo angulo é $40^{\circ} 47'$. Todos os globulos, situados no mesmo circulo, por cujo centro passa o eixo do feixe incidente, produzirão a mesma sensação, e formarão por consequencia a primeira linha corada. Os raios efficazes vermelhos, que formão com sua direcção primitiva um angulo de $42^{\circ} 2'$, produzirão a última linha do primeiro arco; e entre estes dous extremos estarão as outras duas côres principaes do prisma na ordem de sua refrangibilidade. Tal é a maneira, por que se forma o primeiro arco: sua largura é a differença de $40^{\circ} 47'$ a $42^{\circ} 2'$, e é, por tanto egual a $1^{\circ} 45'$.

Para lá dos raios vermelhos o observador não receberá senão raios, que tem soffrido duas reflexões, e cuja intensidade será, por conseguinte, mais fraca. O primeiro será ainda verme-

ho, que faz neste caso o menor angulo equal a $50^{\circ} 57'$: é o começo do segundo arco, que se acha a uma distancia do primeiro, medida pela differença de $42^{\circ} 2'$ a $50^{\circ} 59'$, e, por consequencia, equal a $8^{\circ} 57'$. A última linha d'este segundo arco sera o roxo, cujos raios fazem com sua difecção primitiva um angulo de $54^{\circ} 9'$, e entre estes dous extremos se achão as outras côres. A largura d'este segundo arco é $54^{\circ} 9' - 50^{\circ} 59' = 3^{\circ} 10'$.

Vê-se, como se poderião produzir muitos arcos depois de tres, quatro, etc., reflexões; mas as côres serião ainda mais pallidas. Nas circumstancias mais favoraveis não se vê senão uma parte do terceiro arco.

Temos supposto o sol reduzido a um ponto luminoso, pelo que não podiamos ter senão uma linha circular de cada côr; mas sendo bem sensivel o diametro apparente do sol, é claro, que cada zona dos arcos tem certa largura, determinada pelo diametro apparente do sol.

§ II

COROAS

Dá-se o nome de *coroas* a circulos concentricos ao sol e á lua, em número de tres ou quatro, variando o diametro interior do menor de $1^{\circ},5$ a 4° : em todos estes circulos o vermelho é exterior, e o roxo interior. Observando-os com vi-

dros de côr, Young reconheceu, que os diâmetros crescem como os números 1, 2, 3, 4, etc.

A variação dos diâmetros dos aneis da mesma ordem e da mesma côr em differentes coroas, e as leis, que seguem os diâmetros dos aneis da mesma côr em a mesma coroa, não permitem duvidar, de que estes phenomenos sejam da mesma natureza que os aneis, que se observão, olhando para uma luz através d'um vidro coberto de lycopodio, e de que sejam produzidos por pequenos globulos de agua de diâmetro uniforme.

§ III

HALOS

Dá-se o nome de *halos* a dous aneis interiormente corados de vermelho, concentricos ao sol, e cujos semi-diâmetros apparentes são 22° e 44°. Mariotte havia supposto, que quando os halos se formavão, existião na atmosphera pequenos prismas de gêlo, dispostos em todas as direcções possiveis, cujas faces se inclinavão 60°; então havia alguns, que se achavão collocados de maneira que os raios solares, que os atravessavão, chegavão ao observador com o desvio minimo: estes raios, analogos aos raios efficazes do arco iris, produzião o primeiro halos.

Segundo Cavendish, os prismas de gêlo terminão por faces perpendiculares às arestas, e o halos exterior provêm da refracção minima entre as faces lateraes e as bases. Partindo d'esta

hypothese, achámos, que o diametro do halos é pouco differente do que resulta da observação.

§ IV

PARHELIOS

Os halos são ás vezes acompanhados d'um circulo branco horizontal, que passa pelo sol e tem por largura seo diametro apparente: sobre a circumferencia d'este circulo e um pouco para fora do halos vêem-se imagens coradas do sol: sobre o mesmo circulo horizontal e no poncto opposto ao que o sol occupa, divisa-se uma imagem d'este astro, que se designa pelo nome de *antheio* (*anti* defronte, *helios* sol): tãobem ás vezes se produz uma faixa branca vertical, que passa pelo sol, e que, com o circulo horizontal, forma uma cruz branca: finalmente, vêem-se, nos ponctos dos halos mais vizinhos da vertical do observador, arcos de circulos corados encostados aos halos, e cujos centros estão fora.

Admittida a existencia dos prismas de gêlo na atmospherá, aquelles, cujo eixo for allongado, deverão cair de modo que suas arestas se-
jão verticaes por causa da resistencia do ar: aquelles, que, pelo contrário, forem achatados, cairão com as faces das bases verticaes: assim, grande número terá faces verticaes. Mas estas faces reflectirão a luz do sol, e as imagens estarão todas em um plano horizontal, passando pelo centro do sol, e situadas na mesma altura

acima do horizonte: assim, o observador verá um círculo branco horizontal, passando pelo sol, e tendo seu diâmetro por espessura.

Babinet considera os parhelios lateraes como provenientes dos raios, que soffrêrão o minimo de desvio nos prismas verticaes, que são mais numerosos nesta posição que em qualquer outra.

O mesmo physico attribue a faixa branca vertical, que passa pelo sol, a prismas de gelo de pouca altura, cujo eixo se torna horizontal por causa da resistencia do ar: então, os prismas, cujo eixo for ao mesmo tempo perpendicular ao plano vertical, que passa pelo observador e pelo sol, reflectirão imagens, que formarão uma faixa vertical luminosa passando pelo sol.

CAPITULO XXV

EXPLICAÇÃO DO PHENOMENO DA DISPERSÃO DA LUZ

§ I

EXPLICAÇÃO PELA THEORIA DAS UNDULAÇÕES

Na theoria das undulações, a producção da luz corada suppõe-se devida ás differentes velocidades, com que vibrão as particulas ethereas; e assim, uma impressão distincta se produz no orgão visual, analoga á que se experimenta no ouvido em virtude das differentes velocidades, com que as undulações da atmospherá se pro-

pagão. Do mesmo modo que as notas altas e baixas resultão das diversas velocidades d'estas undulações aereas, tãobem as diferentes côres devem sua origem ás velocidades deseguaes, com que o ether vibra. Assim, a luz vermelha suppõe-se produzida pelo ether, executando cerca de metade das vibrações necessarias para formar o roxo: o comprimento das ondas de luz vermelha é, portanto, duplo do das ondas roxas, visto que todas se propagão com velocidades eguaes.

De suas observações sobre a interferencia e sobre a curvatura das ondas luminosas, Fraunhofer, Herschel e Fresnel deduzirão, que os comprimentos das ondas das côres prismaticas, expressos em fracções de millimetro, erão os seguintes:

	FRANENHOFER	HERSCHEL	FRESNEL
Vermelho extremo	0,0007400	0,0006756	
Vermelho	0,0006879	0,0006502	0,000620
Alaranjado	0,0006559	0,0006096	0 000583
Amarello	0,0005888	0,0005766	0,000551
Verde	0,0005265	0,0005613	0,000512
Azul	0,0004856	0,0004978	0,000475
Anilado	0,0004296	0,0004699	0,000449
Roxo	0,0003963	0,0004420	0,000423
Roxo extremo		0,0004242	

D'aqui se segue, como já advertimos, que as ondas de luz vermelha são as mais longas, e as

de luz roxa são as mais curtas: com effeito, as primeiras (ao menos, segundo a avaliação de Frauenhofer) tem quasi o dobro do comprimento das últimas: portanto, a luz vermelha executará, em um dado tempo, só metade das vibrações, correspondentes á luz roxa.

Como, segundo Frauenhofer, o comprimento d'uma onda de luz vermelha extrema é 0,00074 de millimetro, e o d'uma onda de luz roxa é 0,00039 de millimetro, é claro, que 100.000 ondas da primeira occupão o espaço de 74^{mm}; da segunda luz haverá 100.000 ondas em 39^{mm}. Como conhecemos, quanto a luz caminha em um segundo, acha-se, que a luz vermelha excita naquello espaço de tempo cerca de 421 billiões de ondas no ether, e que no mesmo tempo a luz roxa excita cerca de 799 billiões de ondas.

Se o número de vibrações, produzido pela luz corada, se compara com o que é produzido pelos corpos sonoros, vê-se, que entretanto que num caso a nota mais baixa faz 16 vibrações inteiras ou 32 excursões em um segundo, a luz vermelha, que é a nota mais baixa na escala das côres, executa obra de 29 billiões de vezes aquelle numero de vibrações. Se os nossos órgãos visuaes fossem mais delicados, provavelmente distinguiríamos maior variedade de côres.

Se varias notas musicaes são ao mesmo tempo, produzem consonancia ou dissonancia: assim tãobem a acção simultanea de duas ou mais ondas luminosas, propagadas com differentes velocidades, produzem a sensação d'uma côr com-

pôsta: e quando as ondas de todas as côres simples actuão junctamente, a sensação da côr branca se excita.

A differente refrangibilidade da luz e a dispersão prismatica dependente d'ella se explicão facilmente; porquanto uma onda, que vibra com maior velocidade do que outra, soffrerá differente refracção, se as duas ondas se propagão no mesmo meio.

Pelo que respeita á côr dos corpos, Fresnel a explicou, partindo do princípio, que a luz não se decompõe pela reflexão senão sobre as superficies despolidas, isto é, cobertas de asperezas muito finas e muito aproximadas. Se considerarmos dous raios incidentes vizinhos, um sn , fig. 131, indo ter ao vertice d'uma aspereza, outra, $s'n'$, indo ter ao fundo d'uma depressão, de sorte que sejam parallelas as normaes aos pontos n e n' , os raios reflexos nr , $n'r'$, serão tãoobem parallelos, e o raio $s'n'$ ficará, depois da reflexão, atrazado, a respeito do raio sn , a quantidade $an'b$, sendo a linha ab tirada pelo ponto n , perpendicularmente ás normaes. Ora, representando p a profundidade da depressão, contada perpendicularmente ás normaes, e i o angulo $s'n''$, teremos

$$[an' + n'b = 2p \sin i \sin i.$$

A côr da luz reflexa dependerá do valor de p .

§ II

EXPLICAÇÃO PELA THEORIA DAS EMANAÇÕES

Esta theoria admite a existencia de varias especies de materia luminosa, cada uma das quaes excita em nosos olhos a sensação d'algu-
ma côr particular. Pela combinação de duas ou
mais d'estas côres, a sensação d'uma côr com-
posta se excita, e quando particulas de todas as
diferentes variedades vem pôr-se em contacto
com o orgão da vista, vemos a côr branca. Um
raio branco, segundo esta theoria, formar-se-ia
de raios de todas as especies de luz.

A dispersão da luz nas côres do espectro se
explica, suppondo, que os corpos transparentes
attraem desegualmente as diferentes especies
de luz; sua refração é, portanto, desegual; e as-
sim, ao emergirem do meio refractor, os raios
se dispersão.

Do mesmo modo a existencia das côres na-
turaes se explica, dizendo, que os corpos cora-
dos absorvem uma ou mais d'estas variedades
de luz e reflectem as outras. Suppõe-se, que os
corpos brancos reflectem todos os raios; que os
negros, pelo contrário, absorvem todos; que os
vermelhos não reflectem senão os raios verme-
lhos, e retem os de todas as outras côres, etc.

CAPITULO XXVI

INSTRUMENTOS DE OPTICA

§ I

FIM GERAL DOS INSTRUMENTOS DE OPTICA

O fim geral dos instrumentos de optica è objectos de imagens, distinctas e fieis, de objectos muito pequenos ou muito afastados.

No primeiro caso, tracta-se, primeiramente, de concentrar grande quantidade de luz sobre os objectos, por meio de espelhos concavos ou de lentes convergentes; depois é necessario dispor outros apparelhos do mesmo genero, que, recebendo o maior número possível dos raios reflectidos pelos differentes pontos d'estes objectos, tornados luminosos, os fação concorrer a formar imagens sufficientemente ampliadas, e ainda assaz brilhantes, para, claramente e sem esforço, podermos distinguir suas diversas partes.

No segundo caso, tracta-se de reunir largos feixes de raios parallellos, e muitas vezes pouco intensos, expedidos dos differentes pontos de objectos muito remotos, e central-os por meio dos espelhos curvos ou das lentes, em feixes muito estreitos, sufficientemente luminosos, e convenientemente divergentes, de maneira que tenhamos a sensação distincta d'uma imagem virtual d'estes objectos.

Os physicos e os artistas tem imaginado e construido apparelhos, que preenchem com ad-

miravel perfeição estas diversas condições, e que tem dado origem a numerosas descobertas em história natural e astronomia.

§ II

CAMARA ESCURA

A camara escura, de que já demos a primeira idea, foi inventada, pelo meado do seculo décimo sexto, por João Baptista Porta, fidalgo napolitano. Compõe-se, essencialmente, d'uma lente biconvexa, que se adapta á parede vertical d'uma caixa de madeira, e recebe os raios luminosos, que partem de objectos muito afastados, *ab*, *fig.* 132. Em sua emergencia os feixes de raios refractos convergem um pouco alem do foco principal, e tendem a formar neste lugar uma imagem invertida *a'b'*. Um espelho, *mn*, inclinado 45° sobre o eixo da lente, desvia estes raios, e transporta a imagem para *a''b''*, sobre a face inferior d'uma placa horizontal de vidro despolido *vm*. Um observador olha para cima d'esta placa, vê nella esta imagem, e pode desenhá-la. É necessario, que a placa de vidro e os olhos do observador sejam, por meio de anteparos opacos, preseryados de toda a luz estranha. A parede, que tem a lente, é movel, e permite augmentar a nitidez das imagens, trazendo, tanto quanto é possivel, o foco de cada objecto á placa de vidro.

A's vezes dá-se outra disposição á camara

escura: o espelho, sempre inclinado 45° , é exterior á caixa, recebe directamente os raios, que partem dos objectos, desvia-os e os projecta sobre uma lente horizontal: um quadro ou um cartão, situado, pouco mais ou menos, no foco, recebe a imagem.

A practica ensina, que a nitidez das imagens na camara escura é tanto maior, quanto menor é a abertura da lente. Concebe-se facilmente este resultado, considerando, que o quadro corresponde sómente aos focos conjugados d'um ou de muitos pontos luminosos, enquanto os focos conjugados de todos os outros pontos estão adiante ou atraz, de sorte que o feixe conico-refracto, formado pelos raios, que partem d'um d'estes ultimos pontos, projecta uma imagem circular sobre o quadro. É a extensão maior ou menor d'estas projecções circulares, que torna as imagens dos objectos mais ou menos confusas: ora, esta extensão diminue evidentemente com a abertura da lente.

A diminuição da abertura da lente remediará tãobem a confusão devida á aberração de esphericidade, no caso, em que todos os pontos do objecto estivessem na mesma distancia da lente. Um diaphragma, que interceptasse os raios emergentes dos bordos d'uma lente grande, produziria o mesmo effeito que o emprego d'uma lente de menor abertura; é verdade, que é sempre á custa da quantidade de luz introduzida, mas devemos preferir a nitidez das imagens á sua intensidade. Sendo tãobem

a abberração de refrangibilidade uma causa de confusão nas imagens na camara escura, obtemos mais nitidez com lentes achromaticas.

Se a lente e o espelho são substituidos, ambos, por um só prisma, *fig. 133*, dá-se ao aparelho o nome de *camara escura de prisma*. Os raios luminosos entram nelle pela face vertical, reflectem-se totalmente sobre a que corresponde á hypotenusa, e saem pela face horizontal. A face de entrada é convexa, a de saída é concava; e assim, pelas refrações combinadas á entrada e á saída dos raios, estas faces produzem o effeito d'um menisco convergente.

§ III

CAMARA CLARA

Camara clara de Wollaston. A *camara clara* ou *camara lucida* foi imaginada por Wollaston, em 1804, para traçar a imagem fiel d'uma paisagem, d'um edificio ou de qualquer outro objecto. Consta, essencialmente, d'um prisma quadrilatero, *fig. 134*, sendo recto um dos angulos diedros, de $67^{\circ} \frac{1}{2}$ os dous angulos adjacentes, e de 150° o angulo opposto. Uma das faces, que formão o angulo recto, é vertical: é por ella que os feixes luminosos, lançados pelos objectos, entram no prisma; e depois de se terem reflectido totalmente sobre as duas faces do angulo obtuso, vão sair pela face horizontal, pouco mais ou menos verticalmente, e muito

perto do angulo agudo. O olho do observador recebe estes feixes e vê ao mesmo tempo a poncta d'um lapis, com que a mão pode seguir as imagens sobre um cartão horizontal, collocado na distancia da vista distincta. O olho deve fixar-se em tal posição, que o plano vertical, que passa pela aresta aguda da face horizontal, corte a pupilla em duas partes, uma das quaes veja a imagem, a outra o lapis.

Como os raios, enviados do objecto, não chegarão ao olho com o mesmo grau de divergencia que os que partem da poncta do lapis, é preciso pôr entre o olho e o prisma uma lente, que dê a mesma convergencia aos raios, que vem do lapis e aos que vem do objecto.

Camara clara de Amici. Amici imaginou uma camara clara, que permite, que o olho se desloque bastante, sem deixar de ver a imagem e o lapis. Este instrumento, *fig. 135*, compõe-se d'uma lamina de vidro inclinada, e d'um prisma triangular rectangulo, cuja hypotenusa está voltada para baixo, e uma das outras faces é perpendicular á lamina de vidro. Os feixes luminosos, que vem dos objectos, entram pela terceira face lateral do prisma, soffrem a reflexão total sobre a hypotenusa, saem do prisma pela face normal á lamina de vidro, e fazem-se proximaemente verticaes, depois de nova reflexão, sobre a face superior d'esta lamina. O olho, que recebe estes feixes, vê ao mesmo tempo e na mesma direcção, através da lamina, a poncta do lapis, que traça a imagem.

§ IV

LANTERNA MAGICA

A lanterna magica, instrumento popular e extremamente ingenhoso, foi imaginado por Kircher, jesuita allemão, que morreu em 1680.

ABCD, *fig. 136*, é uma caixa de folha; *EF* um espelho concavo, em cujo foco se põe uma lampada; *GH* uma lente, que recebe a luz da lampada e a que é reflectida pelo espelho: adiante d'esta lente põem-se vidros com figuras pintadas, as quaes ficão esclarecidas: *IK* é outra lente, sobre que incidem os raios, que partem das figuras; *LM* é um septo, atravessado por um orificio, por onde a luz passa; *NP* é terceira lente; os raios, que d'ella saem, vão representar as figuras sobre uma tela, em *XYZ*.

A terceira lente *NP* é movel, e pode afastar-se ou aproximar-se da segunda; e d'este modo podemos sempre obter uma imagem distincta sobre o plano *XYZ*. Para que a imagem seja recta em *XZ*, é preciso inverter o objecto em *GH*.

As experiencias da lanterna magica fazem-se numa casa, em que não ha mais luz do que a d'este instrumento.

§ V

PHANTASMAGORIA

A phantasmagoria (*phantasma phantasma*,

agora assembléa) não é mais do que uma leve modificação da lanterna magica; mas produz effeitos muito mais surprehendentes.

Extende-se diante dos espectadores uma tela gommada, que não recebe luz senão do apparelho, o qual está situado pela parte de traz, sem ser visto por elles. E' sobre esta tela, que se representão as figuras, que, ordinariamente, são espectros e outros objectos medonhos. Um espectro, que ao principio parece ser extremamente pequeno, cresce derepente; o que produz o mesmo effeito, que se avançasse a passos accelerados para o espectador.

O apparelho gyra sobre rodas, que se guardam de panno, para não fazerem bulha. A lente *NP*, *fig. 137*, move-se facilmente por meio d'uma aste dentada e uma manivella. Supponhamos, que se vê a imagem da grandeza *XZ*, e que se representa distinctamente: se queremos derepente fazel-a menor, basta aproximar da tela o instrumento; mas os focos dos differentes pontos do objecto já não ficão sobre esta tela, e desde então a imagem se torna confusa. Para tornal-a distincta, bastará afastar a lente *NP* da lente *IK*; o que promptamente se consegue por meio da aste dentada, de que falámos.

Reciprocamente, sendo pequena a imagem, será necessario, para amplial-a, afastar da tela o apparelho e ao mesmo tempo aproximar a lente *NP* da lente *IK*.

Para manejar este instrumento com vantagem, é necessario muito hábito.

Tem-se dicto, que os sacerdotes da antiguidade se servião de artificios analogos aos da phantasmagoria, para amedrontarem os que elles iniciavão nos mysterios de Isis e de Ceres, ou para produzirem differentes prestigios. O descobrimento d'uma especie de lanterna magica nas ruinas de Herculanium, e o d'uma lente de vidro, achada por Ficoroni, em um tumulo romano muito antigo, mostrão, que esta opinião não é de todo destituda de verisimilhança.

§ VI

MICROSCOPIO SIMPLES

O microscopio (*mikros* pequeno, *skopeó* observar) simples, que não é mais do que uma lente convergente de muito curta distancia focal principal, serve para ver pequenos objectos, que seria impossivel distinguir com a vista desarmada.

O objecto, que queremos ver através do microscopio simples, deve sempre ser situado entre a lente e seo foco principal: sua posição deve variar com o alcance da vista, mas é facil determinar, em todos os casos, o poncto preciso, em que deve ser collocado. Com effeito, seja x a distancia, em que devemos pôr o objecto adiante d'um microscopio simples, cuja distancia focal principal é f , suppondo, que o olho do observador está immediatamente applicado á lente, e que para elle a distancia da vista distincta é representada por d . E' necessario, evidentemen-

te, que os feixes, que partem da distancia x , possuão, depois de terem atravessado o microscopio, a mesma divergencia, que se viessem naturalmente da distancia d ; isto é, depois da emergencia devem formar seo foco virtual na distancia d . Temos pois

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

d'onde $x = \frac{df}{d+f}$

A marcha dos raios é indicada na *fig. 138*: ab é a posição do objecto, $a'b'$ a da imagem virtual, e os triangulos semelhantes, abc e $a'b'c'$, dão para a amplificação A

$$A = \frac{a'b'}{ab} = \frac{cp'}{cp} \quad \text{ou} \quad \frac{d}{x} = \frac{d+f}{f}$$

Esta amplificação é a relação entre a grandeza da imagem e a do objecto.

A regra geral, que devemos seguir, para achar graphicamente um poncto da imagem correspondente a um poncto dado do objecto, por exemplo, do poncto a , é a seguinte. Juncte-se o poncto a ao centro optico c da lente; a linha ac é o eixo do feixe de luz, que a lente recebe;

do ponto a : é, pois, sobre elle que se acha a imagem a' . Sendo a distancia ca' dada pela fórmula, basta transportal-a para a figura. Então junctando o ponto a' a qualquer ponto da segunda face da lente, o prolongamento d'esta linha é o caminho, que toma aquelle dos raios enviados pelo ponto a , que veio sair por este ponto da segunda face.

§ VII

DIFFERENTES ESPECIES DE MICROSCOPIOS SIMPLES

Tem-se adoptado, na construcção dos microscopios simples, diversas disposições, destinadas a evitar a aberração de esphericidade, ou a applical-os a differentes usos.

Para diminuir a aberração de esphericidade, applica-se sobre a lente um diaphragma, que retem os raios, que incidem perto da margem.

Microscopio de Wollaston. Wollaston construiu microscopios simples, a que deu o nome de *periscopicos*, porque o campo da visão distincta é nelles muito maior do que nos microscopios ordinarios. Estes instrumentos são formados de dous segmentos esphericos de vidro, separados por uma folha muito delgada de platina, atravessada por um orificio. A pequenez da distancia focal, a existencia e a posição do diaphragma de metal, dão a esta especie de microscopios um poder amplificante consideravel.

Microscopio de Raspail. O microscopio simples pode ter diferentes disposições. Raspail adoptou a seguinte, *fig. 139*. Uma peça horizontal *E*, que pode elevar-se ou abaixar-se por meio d'uma aste dentada e d'um carrete de botão *D*, sustenta, em uma de suas extremidades, uma lente convexa *o*. Por baixo está o *porta-objecto* *B*, que é fixo, e sobre o qual, entre duas laminas de vidro *C*, se põe o objecto, que se quer observar. Como é necessario, que o anel seja fortemente esclarecido, recebe-se a luz diffusa da atmosphera sobre um reflectidor concavo de vidro *M*, que se inclina, de maneira que os raios reflectidos venhão cair sobre o objecto.

Para nos servirmos d'este microscopio, situá-mos o olho muito perto da lente, a qual abaixámos para o objecto ou elevámos, até acharmos a posição, em que a imagem apparece com mais nitidez.

Microscopio de mão. Neste microscopio, uma pequena pinça *p*, *fig. 140*, fixa o objecto: um pequeno espelho concavo *e*, no meio do qual está a lente, reflecte a luz sobre o objecto.

Microscopio Stanhope. Imagine-se um cylindro de vidro, terminando d'um lado por uma base plana *p*, *fig. 141*, e do outro por uma superficie convexa espherica *c*. Um objecto muito pequeno, pegado á base plana, achar-se-á nas mesmas condições, que se estivesse no meio da massa de vidro; e se olhâmos pela superficie convexa, vel-o-emos amplificado e recto. Basta-

vã, que o comprimento *cp* seja um pouco menor que a distancia, em que se forma o foco dos raios parallellos, que entrão pela superficie espherica. Este pequeno instrumento pode augmentar os objectos até 80 vezes, apresentando as imagens muito distinctas.

Tem-se feito microscopios com pedras preciosas, que tem grande poder refrangente, para se obter grande amplificação com curvaturas pouco pronunciadas, o que diminue a aberração de esphericidade.

§ VIII

MICROSCOPIO SOLAR

Este instrumento, inventado por Lieberkuyn, em 1743, é uma verdadeira lanterna magica, illuminada pelos raios solares; e por elle se obtem imagens muito amplificadas de objectos extremamente pequenos.

O espelho *m*, *fig.* 142, reflecte a luz solar, e dirige para o tubo *t*, parallelamente ao seo eixo, um feixe, que atravessa a lente *iv*, onde soffre um primeiro grau de convergencia. Uma segunda lente *f*, chamada *foco*, o faz convergir mais, e o concentra em seo foco. Neste ponto deve estar o objecto, cuja imagem pretendemos. Para preencher esta condição, é necessario, que a lente *f* seja movel. O objecto é mettido entre duas laminas de vidro *o*, que se introduzem entre duas laminas metallicas *KK*, que as compri-

mem por meio de molas *HH*. Estando então o objecto fortemente esclarecido e situado muito perto do foco d'uma pequena lente *L* muito convergente, esta forma a imagem *ab*, invertida e muito amplificada sobre uma parede ou sobre um alvo convenientemente afastado. Os parafusos de botão, *D* e *C*, servem para regular a distancia das lentes *E* e *L* ao objecto, de sorte que este fique exactamente no foco da primeira, e a imagem formada pela lente *L* corresponda exactamente ao alvo.

O microscopio solar tem o inconveniente de concentrar sobre o objecto um calor demasiadamente intenso, que o altera promptamente. A maneira de obviar a este inconveniente é interpor uma camada de agua saturada de alumen, que, sendo dotada d'um fraco poder diathermico, retém uma parte do calor.

A amplificação do microscopio solar pode determinar-se, experimentalmente, pondo no logar do objecto uma lamina de vidro, sobre que se tração divisões distantes entre si um décimo ou um centesimo de millimetro. Medindo, depois, sobre a imagem o intervallo d'estas divisões, deduzimos a amplificação.

Por meio do microscopio solar podem-se mostrar, a um numeroso auditorio, phenomenos muito curiosos, por exemplo, os globulos do angulo, a circulação d'este liquido nas patas das rans, as moleculas crystallinas, que as soluções depõem, quando se evaporão, os animalculos do vinagre, etc.

§ VIII

MEGASCOPIO

O megascopio (*megas* grande) é destinado a dar cópias, reduzidas ou amplificadas, d'uma gravura, d'um quadro, ou d'um baixo relevo, que não tenham demasiada extensão. Este instrumento, inventado por Charles, em 1780, não differe do microscopio solar senão pela natureza dos objectos, de que dá as imagens, e pela maneira, por que estes objectos são esclarecidos. Compõe-se d'uma lente, alem de cujo foco principal se situa o objecto, e d'um quadro, sobre que se recebe a imagem. Espelhos planos, convenientemente dispostos, projectão a luz do sol sobre o objecto. O melhor quadro é um vidro despolido: o observador, collocado atraz, vê distinctamente a imagem. Para que a imagem seja recta, inverte-se o objecto.

A posição do quadro e a grandeza da imagem dependem da distancia do objecto á lente e da distancia focal d'esta. Muitas vezes, para ser maior a amplificação, aproxima-se o objecto da lente, e interpõe-se a estes dous corpos uma segunda lente, que faz o officio de microscopio simples, substituindo á antiga posição do objecto uma imagem, já muito amplificada.

§ IX

MICROSCOPIO PHOTO-ELECTRICO

O microscopio photo-electrico, imaginado por Foucault e Donné, é o instrumento mais indispensavel d'um curso de optica. E' uma fonte de luz sempre prompta, apparecendo no momento, em que se fecha o circuito electrico, desapparecendo quando se abre, sem ser preciso mais do que fazer um pequeno movimento com o dedo, que executa estas duas operações: emquanto a corrente passa, e durante horas inteiras, a luz brilha com deslumbrante esplendor, comparavel ao do sol, sempre igual, sem nuvens nem intermittencias; é um sol artificial, com que podemos fazer todas as experiencias de optica, mesmo as que exigem a mais viva luz. Dá-se, todavia, a este instrumento, o nome demasiadamente modesto de microscopio photo-electrico, por ter sido ao principio empregado nas mesmas experiencias do microscopio solar.

A *figura 143* representa a disposição, que Duboscq deu a este microscopio. Sobre uma caixa rectangular de cobre amarello fixa-se exteriormente um microscopio solar *ABD*, identico ao que acima descrevemos. Dentro estão duas astes de carvão, *a* e *c*, que se não toçãõ, e cujo intervallo corresponde exactamente ao eixo da lente do microscopio. A electricidade d'uma pilha forte chega, por um fio de cobre *K*, ao carvão *a*, do qual passa para o carvão *c*, que, por

isso, deve, ao principio, estar em contacto com *c*; depois, apartão-se um pouco, porque a electricidade é, sufficientemente, conduzida pelo carvão vaporizado, que passa de *a* para *c*. Emfim, do carvão *c* a electricidade communica-se a uma columna metallica *o*, e passa á um segundo fio de cobre *H*, que a reconduz á pilha.

Durante a passagem da electricidade, as extremidades dos dous carvões se tornão incandescentes, e lanção uma luz do mais vivo esplendor, que esclarece fortemente o microscopio. Em *D*, no interior do tubo, põe-se uma lente convergente, cujo foco principal corresponde, exactamente, ao intervallo dos dous carvões; e assim, os raios luminosos, que entrão nos tubos, *D*, *B*, *A*, são parallellos ao seo eixo; e, passando-se tudo então como no microscopio solar ordinario, forma-se sobre o alvo *E*, mais ou menos afastada, uma imagem muito amplificada de pequenos objectos, collocados entre duas laminas de vidro, no extremo do tubo *B*. Na *figura*, o objecto, representado sobre o alvo, é o *acarus scabiei*, animalculo, que se encontra nas pustulas da sarna.

Para obviar ao inconveniente de se enfraquecer e apagar-se a luz por causa do consumo das pontas dos dous carvões, Duboscq junctou ao seo apparelho um regulador *P*, a favor do qual o intervallo dos dous carvões se conserva sensivelmente constante. Para isso, no interior do cylindro *P* ha um mecanismo de relógio, que é regulado pela passagem da electricidade, por

meio d'um apparelho, chamado *electro-iman*, que havemos de descrever. Quando os dous carvões estão proximos, o *electro-iman* está em toda a sua força, e mantém fixa uma placa de ferro, que retém as peças, que tendem a fazer andar os carvões; mas quando o intervallo dos carvões augmenta, a quantidade de electricidade, que passa para os carvões, se enfraquece, e o *electro-iman*, perdendo alguma força, deixa funcionar um systema de molas e de alavancas, que tornão a aproximar os carvões.

§ X

MICROSCOPIO COMPOSTO

O microscopio composto, inventado, no principio do seculo décimo septimo, por pessoa desconhecida, consta, essencialmente, de dous vidros lenticulares convergentes, cujos eixos estão sobre a mesma linha recta: um d'elles, *O*, de foco mui curto, está perto do objecto, e chama-se *lente objectiva*, ou simplesmente *objectiva*; o outro, *O'*, de maior abertura, faz as vezes de microscopio simples, e toma o nome de *lente ocular* ou simplesmente *ocular*, *fig. 144*.

O objecto situa-se um pouco alem do foco *K* da *objectiva*: o logar da imagem real muito amplificada *K'*, produzida por esta primeira lente convergente, está um pouco áquem do foco principal da *ocular*, que lhe substitue uma nova imagem virtual *K''* ainda maior, situada na distan-

cia da visão distincta para o orgão visual, que recebe os feixes, que d'ella emergem. D'aqui

resulta, que a amplificação $\frac{a'b'1'}{ab}$ é tanto maior,

quanto mais curtos são os focos da objectiva e da ocular. Mas esta amplificação tem um limite, que se não pode transpor, por causa da difficuldade de construir objectivas muito pequenas, e da necessidade, de que a ocular tenha grandes dimensões, para poder receber todos os feixes, que se cruzão nos differentes pontos da imagem $a'b'$. O campo do instrumento é o cone formado pelos raios, que divergem do centro optico da objectiva e vão passar pelos bordos da ocular. Este campo é, ordinariamente, diminuido por um diaphragma interior, que retem os raios, cujas últimas refrações se operarião muito perto dos bordos da ocular, e que tornarião confusa a imagem $a'b'1'$.

O microscopio composto é, ordinariamente, formado de tres tubos encaixados uns nos outros. O tubo superior, chamado *porta-ocular*, escorrega sobre um tubo medio, e este adapta-se ao terceiro tubo, que é fixo. Por baixo da objectiva está o *porta-objecto*, que, a favor d'um parafuso, se pode elevar ou abaixar á vontade. Por baixo do *porta-objecto* está um espelho, que reflecte luz sobre o objecto, o qual, se é opaco, se esclarece de lado por meio d'uma lente convergente.

§ XI

MICROSCOPIO COMPOSTO DE AMICI

Desde a sua invenção, o microscopio composto tem recebido successivos e numerosos aperfeiçoamentos, sendo os mais importantes os que lhe fizerão, ha uns quarenta annos, Amici, na Italia, e Ch. Chevalier, em França.

Os feixes luminosos, lançados do objecto, se elevão, primeiro, verticalmente, para atravessarem a objectiva, que é horizontal; mas, por meio da reflexão total sobre a hypotenusa d'um prisma rectangulo, se reflectem, horizontalmente, para irem atravessar a ocular. Assim, o observador toma posição mais commoda.

A objectiva compõe-se de uma, duas ou tres lentes achromaticas plano-convexas, cujas distancias focaes são de oito a dez millimetros. Acima d'estas diversas lentes ha um diaphragma plano, atravessado por uma abertura circular. Para cada uma das combinações da objectiva podemos aparafusar sobre o instrumento uma ou outra de seis oculares achromaticas differentes; quatro são formadas de dous vidros plano-convexos; um diaphragma é fixado entre estes dous vidros no poncto, em que vem formar-se a imagem real do objecto; na abertura circular d'este diaphragma se põem, ordinariamente, dous fios muito finos, perpendiculares entre si. As outras duas oculares são simples lentes de foco

curto. Um cartão negro, posto á roda da ocular, retem toda a luz estranha.

Os objectos são collocados entre duas laminas de vidro. Convem envolvê-los numa gotta de agua. As laminas collocão-se sobre a abertura do porta-objecto, e se apertão contra elle por meio de peças metallicas. O porta-objecto pode-se levantar e abaixar á vontade, a favor d'um carrete, que endenta numa aste, e que se faz andar por meio d'um botão. Um espelho concavo, inferiormente situado, reflecte a luz diffusa da atmosphera sobre os objectos, se estes são transparentes. Um diaphragma movel intermedio serve para lhe moderar a vivacidade. Se os objectos são opacos, collocão-se sobre um disco de vidro negro, pegado sobre uma placa de vidro transparente, e são esclarecidos de lado, ou por uma lente ou por um espelho, ou por ambos estes meios simultaneamente.

Todo o systema do porta-objecto pode escorregar sobre uma aste vertical do instrumento: um carrete e uma aste dentada sêvem para regular este movimento e conduzir o objecto ao foco da objectiva. O porta-objecto pode tãobem mover-se, horizontalmente, em duas direcções perpendiculares entre si. Dous parafusos micrometricos com botões graduados, servem para regular e medir estes movimentos.

§ XII

AMPLIFICAÇÃO, MICROMETRO

Chama-se *amplificação*, em qualquer instrumento de optica, a razão da grandeza absoluta da imagem para a do objecto. A amplificação, no microscopio composto, é o producto das amplificações respectivas da objectiva e da ocular; isto é, se a primeira d'estas lentes amplifica 20 vezes e a segunda 10, a amplificação definitiva é 200. A amplificação depende da maior ou menor convexidade da objectiva e da ocular, bem como da distancia d'estes dous vidros combinada com a do objecto á objectiva. Tem sido levada alem de 1500 em diametro; mas, então, a imagem perde em nitidez o que ganha em extensão. Para que as imagens sejam distinctas e bem esclarecidas, a amplificação não deve ir alem de 600 em diametro, o que dá, em superficie, uma imagem 360.000 vezes maior do que o objecto.

A amplificação mede-se, experimentalmente, por meio d'um *micrometro*, que é uma pequena lamina de vidro, sobre que estão feitos com o diamante traços parallellos, distantes entre si $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{100}$ de millimetro. Põe-se o micrometro adiante da objectiva; depois, em lugar de receber directamente no orgão visual os raios, que emergem da ocular *O*, *fig.* 145, recebem-se sobre uma lamina de vidro de faces parallelas *A*, inclinada 45° , e olha-se para cima, de modo que

se veja a imagem dos traços do micrometro, formada, pela reflexão, sobre uma escala dividida em millimetros, que se acha traçada sobre um alvo *E*. Contando, então, o número de divisões da escala, que corresponde a certo número de traços da imagem, deduzimos a amplificação.

Por exemplo, se a imagem occupa, sobre a escala, 45 millimetros e comprehende 15 traços do micrometro, suppondo, que o intervallo d'estes é $\frac{1}{100}$ de millimetro, a grandeza absoluta do objecto será $\frac{15}{100}$ de millimetro; e sendo a da imagem 45 millimetros, a amplificação será o quociente de 45 por $\frac{15}{100}$ ou 300.

Para determinar a força amplificante do microscopio, podemos empregar a camara clara, que se adapta á ocular, de que se faz uso, a fim de ver ao mesmo tempo um micrometro de vidro collocado adiante das lentes como objecto, e uma regua graduada posta na vertical da ocular em distancia conveniente: a imagem amplificada do micrometro se projecta sobre a regua, e podemos ler, facilmente, o número de divisões, que ella occupa.

Depois de determinada a amplificação do microscopio, é facil achar a grandeza absoluta dos objectos situados adiante da objectiva. Com effeito, sendo a amplificação o quociente da grandeza da imagem pela grandeza do objecto, segue-se, que para ter a grandeza d'este, basta dividir a grandeza da imagem pela amplificação.

§ XIII

OCULARES

As oculares simples dão logar a grandes aberrações de esphericidade e de refrangibilidade; por isso raras vezes se usa d'ellas. As melhores oculares compõem-se de duas ou mais lentes plano-convexas, e, segundo o número e disposição d'estas, distinguem-se tres especies principaes de oculares, a de Campani, a de Ramsden e a de Dollong.

Ocular de Campani. Esta ocular, *fig. 146*, consta de duas lentes plano-convexas, cujas faces planas estão voltadas para o observador. A primeira lente *Q* recebe os raios, que saem da objectiva e concorre com ella, para dar em *ab* uma imagem real e invertida do objecto situado alem da objectiva. O observador olha depois para a imagem através da lente *R*, que faz o officio de microscopio simples.

Ocular de Ramsden. Esta ocular, *fig. 147*, consta de duas lentes plano-convexas, cujas convexidades olhão uma para a outra. A imagem real e invertida *ab*, dada pela objectiva, formase adiante da lente *Q*, e as duas lentes *Q* e *R* fazem ambas, ao mesmo tempo, o officio de microscopio simples. O intervallo d'estas duas lentes, cujas distancias focaes são eguaes, é igual a dous terços d'estas distancias focaes.

Ocular de Dollong. Naquelles instrumentos opticos, em que a imagem dev ser recta, as

oculares de Campani e de Ramsden não podem servir, porque sempre dão imagens invertidas. A ocular de Dollong, que dá imagens rectas, consta de quatro lentes plano-convexas. As primeiras duas, *Q* e *R*, *fig. 448*, voltão suas faces planas para a objectiva, as outras duas voltão estas faces para o observador. Sendo *ab* a imagem real e invertida, dada pela objectiva, as lentes *Q*, *R* e *S*, concorrem para darem d'esta primeira imagem uma imagem *a'b'* real e recta, para a qual o observador olha depois através do microscopio simples *T*. E' a terceira lente *S*, que, combinando-se com a lente *R*, contribue principalmente para attenuar as aberrações de refrangibilidade e de esphericidade, tornando os feixes menos divergentes.

Para a disposição das lentes *Q*, *R*, *S*, *T*, e para a relação de suas distancias focaes, Secrétan adoptou a seguinte regra empirica. Representando por *q*, *r*, *s*, *t*, as distancias focaes respectivas d'estas lentes, por *d* a distancia de *Q* a *R*, por *d'* a de *R* a *S*, por *d''* a de *S* a *T*, prescreve, que as distancias focaes das lentes *Q*, *R*, *S*, *T*, estejam entre si como os numeros 10, 11, 12 e 9, e que as distancias *d*, *d'*, *d''*, sejam

$$d = \frac{2}{3} (q+r)$$

$$d' = \frac{1}{2} (q+r+s+t)$$

$$d'' = \frac{2}{3}(s + t).$$

§ XIV

USO DO MICROSCOPIO

A visão microscopica differê bastante da visão natural; o orgão precisa de certo exercicio, para ver com perfeita distincção por meio dos pinceis delicados, que partem dos diversos pontos do objecto, e cuja divergencia recebe tão grandes modificações na objectiva e na ocular. Convem principiar este exercicio por fracas amplificações.

As lentes da objectiva e da ocular devem estar muito bem limpas; basta o menor grão de poeira, para fazer apparecer sombras e manchas sobre a imagem; basta o halito, condensado sobre alguma das lentes, para deformat-a. O mesmo effeito produzem as fibras de linho ou de algodão, quasi imperceptiveis á vista simples, que se pegão ás laminas de vidro, entre as quaes se situão os objectos. Estas laminas, umas vezes tem riscas ou especies de sulcos, que se cruzão e se ramificão em differentes sentidos, outras vezes estão encrustadas d'algumas parcellas de esmeril, que ficarão adherentes por occasião de se polirem as laminas, e tudo isto dá logar

a imagens, que se misturão com a do objecto, que se observa.

No proprio orgão visual ha causas de illusão. Umaz vezes, por ser preciso aproximal-o muito da ocular, são as celhas que se dobrão, e produzem grandes riscas negras sobre a imagem; outras vezes julgâmos ver pequenas moscas volantes, que provavelmente resultão d'uma pequena congestão sanguinea no interior de certos vasos, que, de ordinario, não contém senão liquidos transparentes.

§ XV

DETERMINAÇÃO DOS INDICES DE REFRAÇÃO DOS LIQUIDOS POR MEIO DO MICROSCOPIO

Brewster usou do microscopio composto para medir os indices de refração de grande numero de liquidos.

Supponhamos, que se fazem, com dous liquidos, dous meniscos plano-concavos de igual curvatura. Se designâmos os indices de refração dos dous liquidos por n e n' , o raio de curvatura por r , e por f e f' as distancias focaes principaes, teremos

$$f = \frac{r}{n-1} \quad \text{e} \quad f' = \frac{r}{n'-1},$$

equações, que dão

$$n' = 1 + (n - 1) \frac{f}{f'} \dots \dots (1)$$

Assim, quando conhecermos o índice de refracção d'um dos liquidos e a relação das distancias focaes principaes das duas lentes, poderemos determinar o índice de refracção do outro liquido. Para ter meniscos eguaes com differentes liquidos, basta situ-os entre uma lamina de vidro de faces parallelas e uma mesma lente.

Quanto á determinação das distancias focaes principaes, obtem-se, facilmente, pelo processo seguinte.

Imagine-se, que situâmos, successivamente, os dous liquidos entre a objectiva d'um microscopio e um vidro plano, e que observâmos, successivamente, as distancias d , d' , d'' , em que um objecto deve ser collocado, para se ver distinctamente, quando o objecto é nu, e quando está guarnecido do menisco formado com um e com outro liquido, conservando-se immovel a ocular: designemos por F , F' , F'' , as distancias focaes principaes da lente objectiva nestas tres circumstancias, e por m a distancia constante, em que se forma a imagem atraz da objectiva: teremos

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F'}$$

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{d''} = \frac{1}{F''}$$

Advirtamos agora, que sendo P' , *fig.* 149, o foco principal da lente composta, formada da objectiva e do menisco do primeiro liquido, e P o foco principal da lente, se pozessemos no ponto P' um ponto luminoso diante do menisco liquido só, o ponto luminoso faria seo foco conjugado em P : porquanto, se o raio cb passasse para o vidro, teria a direcção ab ; por consequencia, passando para o ar, terá a que o raio ab tomaria, passando do vidro para o ar; F , F' , são, pois, focos conjugados em relação ao menisco liquido. O mesmo é a respeito de F e F'' ; e, como as distancias focaes principaes dos meniscos são representadas por f e f' , teremos

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{F'} = \frac{1}{f} \quad \text{e} \quad \frac{1}{F} - \frac{1}{F''} = \frac{1}{f'}$$

Estas equações, combinadas com as precedentes, dão

$$\frac{1}{f} = \frac{d' - d}{dd'} \quad \frac{1}{f'} = \frac{d'' - d}{dd''}$$

e, por consequencia,

$$\frac{f}{f'} = \frac{d'' - d}{d' - d} \cdot \frac{d'}{d''};$$

e substituindo este valor na equação (1), vem

$$n' = 1 + (n - 1) \frac{d'' - d}{d' - d} \cdot \frac{d'}{d''}$$

Assim, para obter o indice de refração n' , basta determinar por experiencia d , d' , d'' . Este methodo foi muito empregado por E. Becquerel.

§ XV

HISTÓRIA DO MICROSCOPIO

Parece, que os antigos conhecêrão o microscopio simples. Seneca diz formalmente, que «as letras, por mais pequenas e obscuras que sejam, se apresentam maiores e mais distinctas, quando se olha para ellas através d'uma bola de vidro cheia de agua.» Os antigos conhecêrão as lentes propriamente dictas. Aristophanes, em sua comedia das Nuvens, fala do uso, que os antigos fazião das lentes, para obterem lume; em um tumulto romano descobriu-se uma lente de vidro; e uma lente de crystal de rocha, achada em excavações feitas em Ninive, foi apresentada por Brewster á associação britan-

nica, em 1852. Sendo as lentes conhecidas dos antigos, não será fácil admittir, que não notassem a propriedade, que ellas tem, de amplificar os objectos. Todavia, Alhazen, depois Bacon, falam sómente da amplificação produzida por um segmento de esphera de vidro, *applicado* sobre os objectos. Vimos, que nisto é que consiste, principalmente, o microscopio Stanhope.

O que é certo, é, que a idea de applicar o microscopio ao estudo da história natural não data do seculo décimo septimo. Foi no principio d'este seculo, que Stellutin estudou com o succorro do microscopio os orgãos das abelhas. Foi tãobem com o microscopio, que Leuwenhoeck fez suas bellas descobertas.

§ XVI

TELESCOPIOS

Os telescopios (*téle longe*) são instrumentos, que, como os microscopios, nos fazem ver os objectos debaixo de maior angulo visual, e, por consequencia, em proporções maiores. A differença, que ha na applicação d'estas duas classes de instrumentos, é, que os telescopios servem para amplificar os objectos, que parecem pequenos por causa de sua grande distancia, e os microscopios tem por fim augmentar as dimensões de objectos pequenos, situados perto do observador.

O poder amplificante dos telescópios é igual ao angulo visual do objecto, visto através do instrumento, dividido pelo angulo visual do objecto, observado com a vista desarmada. Os objectos, observados com o telescópio, devem apresentar-se tão distinctos e tão illuminados, quanto seja possível. Não é, porém, muito fa cil conciliar estas duas propriedades essenciaes; porquanto, para admittir no tubo muita luz, é preciso augmentar as dimensões das lentes, e para obter imagens distinctas, as grandes dimensões das lentes estão contra-indicadas. O fim, que devemos ter em vista na construcção dos telescópios, é, portanto, a maior distincção possível da imagem, compatível com a admisão de sufficiente grau de luz.

Ha duas classes de telescópios; telescópios *dioptricos*, ou de *refracção*, formados de lentes; e telescópios *catadioptricos*, também chamados de *reflexão*, compostos de lentes e espelhos concavos.

A' primeira classe pertencem o telescópio de Galileo, o telescópio astronomico, o telescópio terrestre, o telescópio achromatico: á segunda pertencem o telescópio de Gregory, o de Newton, o de Cassegrain, o de Herschel.

Os francezes dão aos telescópios da primeira classe o nome de *lunetas*, e é sómente aos da segunda, que chamão telescópios.

Com este admiravel instrumento, o homem tem percorrido as regiões celestes, onde tem, d'um modo prodigioso, feito crescer o número

dos objectos da criação; e seo aperfeiçoamento futuro permittirá, sem dúvida, descobrir nessas apartadas regiões novas maravilhas.

§ XVII

TELESCOPIO DE GALILEO

O *telescopio de Galileo*, chamado também *telescopio hollandez*, e, quando é feito em pequena escala, *oculo de theatro*, é formado d'uma lente objectiva convexa, e uma lente ocular concava. A distancia, entre as duas lentes, é igual á differença de suas distancias focaes respectivas, e os objectos são vistos em posição recta. A objectiva formaria uma imagem invertida alem de seo foco, se a ocular concava não recebesse os raios convergentes, antes de se encontrarem e formarem a imagem, e os não fizesse divergir: a imagem será, pois, vista em posição recta entre as duas lentes.

O poder amplificante d'estes telescopios achase, dividindo a distancia focal da objectiva pela da ocular.

A *fig. 150* representa a combinação das duas lentes: *ab* é um objecto, que devemos suppor a grande distancia do observador; *L* é a lente objectiva convexa; *b'a'* é a imagem invertida, que se formaria, se não houvesse a lente *O*; mas esta lente refrange os raios antes de chegarem a *a'b'*, fal-os divergir, e então se forma a imagem *a''b''*.

Por ter a vantagem de representar os objectos em posição recta, o telescópio de Galileo é, geralmente, empregado na observação dos objectos situados á superficie da terra; e, por ter só duas lentes, absorve pouca luz; mas por causa da divergencia da luz ao emergir da ocular, o campo é pequeno, e o observador tem de situar o olho mais perto d'esta lente. Por outro lado são mais portateis, e, se as lentes são boas, dão imagens mais bem definidas: a ocular pode aproximar-se ou desviar-se da objectiva, de maneira que a imagem se forma sempre na distancia da visão distincta.

§ XVIII

TELESCOPIO ASTRONOMICO

O telescópio astronomico, tãobem denominado telescópio de Kepler, por ter sido inventado, em 1611, por este célebre astronomico, consta essencialmente de duas lentes convexas, de distancias focaes desiguaes, de tal modo situadas, que tenham um eixo commum. A lente objectiva dá uma imagem invertida do objecto; e se o objecto está muito distante, sua imagem estará perto do foco: e á proporção que a distancia diminue, a imagem se aparta do foco. O observador vê esta imagem através da ocular, do mesmo modo que no microscópio simples: a imagem será, pois, vista por elle, debaixo d'um angulo optico maior, e, conse-

guintemente, será amplificada, mas ainda invertida.

Acabâmos de ver a grande similhaça do telescópio de Kepler com o microscópio composto. Ha, porém, esta differença; no microscópio, estando o objecto mais perto da objectiva, a imagem se forma mais alem do foco principal, e é mais amplificada; de modo que a amplificação é produzida pela objectiva e pela ocular: no telescópio astronomico, estando o astro mais distante, os raios incidentes podem reputar-se parallellos, e a imagem vai formar-se no foco principal da objectiva muito mais pequena do que o objecto: por consequencia, a amplificação é produzida sómente pela ocular, e por isso esta lente deve ser mais convergente.

A distancia entre as duas lentes é igual á somma de suas distancias focaes. O poder amplificante do telescópio astronomico obtem-se, dividindo a distancia focal principal da objectiva pela da ocular; d'onde se desume, que a amplificação é tanto mais consideravel, quanto menos convergente é a objectiva e quanto mais convergente é a ocular. A amplificação não vai alem de 1200.

A *fig. 151* representa a disposição das lentes e a direcção dos raios luminosos: *ab* é o objecto, que se suppõe situado a grande distancia; *C* é a lente objectiva; um pouco alem de cujo foco principal se formará a pequena imagem invertida *a'b'*; *B* é a ocular, que amplifica esta ima-

gem, que é vista em $a''b''$ pelo observador situado em A.

Como este telescópio é, principalmente, destinado á observação dos astros, pequeno inconveniente é a inversão das imagens. São vantagens suas, admittir grande quantidade de luz, por ter extenso campo de visão, e possuir maior poder amplificante do que os outros telescópios.

Quando com o telescópio de Kepler queremos medir com precisão, por exemplo, a distancia zenithal, a ascensão recta, a passagem meridiana, junctâmos-lhe um *reticulo*, *fig. 152*. Dá-se este nome a dous fios muito finos, de metal ou de seda, extendidos em cruz sobre uma abertura circular, practicada em uma pequena placa metallica. O reticulo deve estar mesmo no lugar, em que se produz a imagem, dada pela objectiva; e o poncto de cruzamento dos fios deve achar-se no eixo optico do telescópio.

§ XIX

TELESCOPIO TERRESTRE

O *telescópio terrestre*, inventado, em 1630, pelo jesuita Rheita, consta de quatro lentes convexas; pode, pois, ser considerado como um duplo telescópio astronomico, tendo todas as lentes um eixo commum. A imagem invertida, formada pela lente objectiva do telescópio astronomico anterior, é outra vez invertida e am-

plificada pelo telescópio posterior, e, portanto, apresenta-se recta ao observador. Como estes instrumentos apresentam os objectos em sua posição natural, são, principalmente, empregados em observar objectos distantes, situados á superficie da terra; d'onde lhe veio o nome. Tem, como o telescópio astronomico, extenso campo de visão; mas em consequencia da repetida refração da luz, os objectos não podem amplificar-se tanto como no telescópio astronomico, sem prejudicar a distincção das imagens.

A *fig.* 133 representa o telescópio terrestre: *L* é a lente objectiva bi-convexa de grande distancia focal; O^1 , O^2 , O^3 , são tres lentes oculares bi-convexas, de distancias focaes mais curtas, mas eguaes entre si, postas em um tubo, de maneira que o foco posterior d'uma lente ocular coincida com o foco anterior da seguinte. Estes focos estão marcados sobre o eixo *aA*. Para usarmos d'este instrumento, devemos ajustal-o, de maneira que a objectiva *L* projecte a imagem invertida *a'b'*, que ella forma, um pouco alem do foco anterior da primeira lente ocular. Se um observador olhasse através d'esta lente, veria uma imagem invertida amplificada a^2b^2 , exactamente como no telescópio astronomico. Ora, achando-se esta imagem alem da distancia focal principal da segunda lente O^2 , uma imagem recta reduzida se forma dentro da distancia focal da terceira lente O^3 , a qual imagem é vista na posição $a'b^4$ pelo observador *A*, que olha por esta última lente, como por

um microscopio simples. Esta última imagem será amplificada, porque é vista na distancia da visão distincta, debaixo do angulo augmentado aA^4b^4 .

§ XX

TELESCÓPIO ACHROMATICO

Todos os telescopios antigos, pertencentes ás tres variedades, que acabámos de descrever, têm um defeito commum, devido ás formas esphericas da lente objectiva e á sua propriedade dispersiva; suas imagens nunca são distinctas, e seus contornos são mais ou menos corados conforme a convexidade da lente objectiva: quanto mais reduzidas são as dimensões do telescopio, mais se aggravavão estes defeitos. Tentou-se remediar o primeiro d'estes inconvenientes, empregando objectivas de grandes distancias focaes; e o segundo era attenuado, cobrindo as margens das lentes com um anel, por ser ahi, que a dispersão prismatica é maior. Mas o instrumento, sem por isso ganhar grande perfeição, ficava pesado, e perdia muita luz.

A descoberta das lentes achromaticas, feita por Dollond, livrou os telescopios d'estas imperfeições. Os telescopios achromaticos tem as seguintes vantagens:

1.^a Representão os objectos com muita distinctção e inteiramente livres de coloração prismatica em seus contornos.

2.^a O campo visual é maior, porque as lentes estão de todo descobertas.

3.^a Seu poder amplificante é tão grande como o de telescópios mais volumosos.

§ XXI

DESCRIÇÃO DOS TELESCÓPIOS CATADIÓTRICOS

Telescópio de Gregory. Este instrumento é representado na *fig. 154*. *SS* é um espelho de metal muito bem polido; *a'b'* a imagem invertida do objecto *ab*. Esta imagem é outra vez reflectida pelo pequeno espelho *s*, situado diante do espelho *S* e em seu eixo: este pequeno espelho forma a imagem recta *a²b²*, a qual, vista de *A* através da lente convexa, será amplificada e projectada em *a³b³*.

Telescópio de Cassegrain. Ao pequeno espelho concavo *s* do telescópio de Gregory, Cassegrain, em 1666, substituiu um pequeno espelho convexo, que recebe os raios, antes de formarem a imagem real do objecto: então não só os raios são reflectidos, mas também sua convergencia é diminuida, e a imagem real e invertida vem formar-se no mesmo lugar que a segunda imagem do telescópio de Gregory; ali é recebida sobre a ocular, e o observador a vê como no caso precedente.

Telescópio de Newton. Em vez do pequeno espelho concavo de Gregory, e do pequeno espelho convexo de Cassegrain, Newton, em 1672,

adoptou um pequeno espelho plano p , *fig.* 155, que recebe em angulo recto os raios luminosos reflectidos em S , os quaes, sem a sua interposição, irião formar em $a'b'$ uma imagem invertida do objecto ab . O pequeno espelho plano torna a reflectir os raios, e forma a imagem a^2b^2 . A lente convexa oo refrange os raios d'esta imagem, de maneira que o observador A vê a imagem amplificada a^3b^3 .

Telescopio de Herschel. Neste telescopio, imaginado um seculo depois dos precedentes, por este famoso astronomo, o espelho S , *fig.* 156, inclina-se sobre o eixo do tubo de modo que a imagem invertida $a'b'$ se forma ao lado do instrumento. O observador, situado em A , vê a imagem amplificada em a^2b^2 .

O telescopio de W. Herschel, por suas extraordinarias dimensões, adquiriu grande celebridade. Seo comprimento era de 40 pés, e seo diametro de 5 pés: só o espelho pesava 4000 kilogrammas: augmentava os objectos quasi 7000 vezes em diametro. Foi com este telescopio, que o eminente observador hanoveriano descobriu o planeta urano e seos satellites. Na *História das Mathematicas* de Montucla vem um desenho d'esta immensa machina, que fora levantada em um jardim de Slough entre Londres e Windsor, lugar celebrado pelas numerosas descobertas feitas nos espaços celestes.

Telescopios de Ross e de Lassel. Entre os grandes apparatus modernos do systema herscheliano, devemos citar o de lord Ross em Irlanda

e o de Lassel perto de Liverpool, ambos de dimensões muito superiores ás do de Herschel. A ambos elles se devem interessantes descobertas nas regiões celestes.

§ XXII

COMPARAÇÃO DAS DUAS ESPECIES DE TELESCOPIOS, DIOPTRICOS E CATADIOPTRICOS

A principal differença entre estas duas especies de telescopios é, que as lentes objectivas da primeira são substituidas por espelhos metallocos na segunda. As imagens invertidas, formadas pelos espelhos, são vistas através de lentes refrangentes, que as amplificação.

Os telescopios catadioptricos tem a vantagem de não corarem as imagens, quando as oculares são achromaticas; mas absorvem muita luz, e, para ter grandes amplificações, é mister empregar espelhos muito grandes e tubos muito longos.

Actualmente poucos telescopios catadioptricos se constroem, porque se fazem objectivas achromaticas de grande perfeição. A difficuldade, que a construcção das grandes objectivas achromaticas apresentava, não residia no trabalho das lentes e nas curvaturas necessarias para obter o achromatismo, mas na difficuldade de achar substancias bem puras, bem homogeneas e exemptas de estrias. Esta difficuldade venceu-se.

§ XXXIII

INVENÇÃO DO TELESCOPIO

Segundo Borrel, que, em 1655, publicou um livro sobre a origem do telescópio, este admirável instrumento foi inventado, em 1590, por um oculista de Middelburgo, cidade de Hollanda, chamado Zacharias Jansen. Foi o acaso, que deu logar a esta invenção. Os filhos de Jansen, olhando através de dous vidros, um convergente e outro divergente, virão o gallo d'um campanario vizinho muito mais corpulento e muito mais proximo, e derão parte d'esta singularidade a seo pae. Jansen construiu então os primeiros telescópios. Um d'estes instrumentos foi offerecido ao principe Mauricio de Nassau. Divulgando-se esta invenção, um estrangeiro, procurando Jansen, para se informar a respeito do novo instrumento, foi, por engano, ter com outro oculista, chamado João Lipperson, que morava ao lado de Jansen, e, por suas perguntas, lhe fez imaginar a construcção do instrumento. Em 1606, Lipperson pediu aos Estados Geraes um breve por esta invenção, que elle divulgou, entretanto que o principe Mauricio queria conserval-a secreta, para fazer uso d'ella na guerra contra as provincias unidas. É o que deu logar a que muitos auctores considerem Lipperson como inventor do telescópio.

Galileo, ouvindo falar da invenção do telescópio, imaginou a sua composição, e teve a fe-

liz idea de o dirigir para os espaços celestes. Com este instrumento o inclyto astrónomo florentino descobriu manchas no sol, montanhas na lua, phases em venus, satellites em jupiter, asas em saturno, myriades de estrellas na via lactea. A publicação do *Nuntius Sidereus*, em que se annunciavão estas maravilhosas descobertas, foi contada entre os acontecimentos memoraveis. O instrumento mais poderoso, de que se servia Galileo, augmentava os objectos 32 vezes.

A invenção do telescópio catadioptrico teve lugar poucos annos depois da do telescópio dioptrico. Zuchi, em uma obra publicada em 1652, annunciou, que desde 1616 pensára na applicação dos espelhos aos telescópios. A construcção do telescópio de Gregory data de 1663.

CAPITULO VII

VISÃO

§ I

ESTRUCTURA DO OLHO HUMANO

Globo ocular, orbita, conjunctiva, palpebras. O olho humano é formado de membranas, que constituem suas paredes ou separão suas cavidades, e humores, que as enchem. O globo ou bogalho do olho

representa em sua totalidade uma espheroides, cujo diametro antero-posterior é um pouco maior do que os outros. Este globo está situado em uma cavidade de paredes osseas, chamada orbita, que é destinada a protegel-o, e que é mais espacosa do que seria preciso para contel-o; pois tem que alojar tãobem um grosso tronco nervoso, que penetra neste globo, muitos ramos de nervos e de vasos, que lhe pertencem ou a seus accessorios: seis musculos para dirigil-o voluntariamente em todos os sentidos; uma glandula, que segrega um liquido para lubrificar sua superficie; emfim, grande quantidade de tecido cellular gorduroso, sobre que este globo descansa. Uma membrana mucosa, chamada *conjunctiva*, veos móveis, chamados *palpebras*, o defendem, quando é preciso, do accesso do ar e da luz.

Esclerotica. Cornea transparente.

O globo ocular deve sua forma e solidez a uma membrana exterior, elastica e densa, appellidada *esclerotica* ou *cornea opaca*.

A esclerotica tem adiante uma abertura circular, em que se ajusta, á maneira de vidro de relógio, outra membrana muito densa tãobem, mas que deixa atravessar a luz, por isso chamada *cornea transparente*. Esta membrana representa um segmento de esphera de menor raio que o resto do globo.

A esclerotica tem tãobem na parte posterior e interna uma abertura, que dá passagem ao nervo optico.

Choroide. Dentro da esclerótica ha uma membrana muito escura, denominada *choroide*, que lhe reveste toda a superficie interna até perto da cornea transparente. A choroide é, como a esclerótica, atravessada por uma abertura, que dá passagem ao nervo optico. Um pigmento negro tinga a face interna da choroide.

Retina. Dentro da choroide encontra-se uma membrana esbranquiçada, muito delicada, extendida como uma rede e forrando toda a face interna da choroide: chama-se retina, e parece provir da expansão dos filetes, de que o nervo optico se compõe.

Iris e pupilla. Por detraz da cornea transparente está a *iris*, membrana contractil, atravessada no centro por uma abertura, chamada *pupilla*. A face anterior da iris é corada diversamente, a face posterior é negra. A sensibilidade propria da iris acha-se tão ligada com a da retina, que a irritação d'esta pela luz determina a contracção d'aquella.

Crystallino. Atraz da iris está um corpo solido, diaphano, lenticular, chamado *crystallino*, que se acha envolvido em uma capsula, também diaphana.

Camaras do olho, humor aquoso. Vê-se pela descripção, que acabámos de fazer, que ha, entre a cornea transparente e o crystallino, um espaço livre, dividido em duas partes pela iris, communicando entre si pela pupilla. Estes dous espaços denominão-se *camaras* do olho. Ambas contêm um líquido, perfeitamente

limpido e pouco differente da agua pura, chamado *humor aquoso*.

Corpo vítreo. O espaço, que fica atraz do *crystallino*, é occupado pelo *corpo vitreo*, que se compõe d'uma membrana muito delgada, eminentemente diaphana, formando muitas *cellulas*, que estão cheias d'um liquido transparente, cuja densidade é um pouco maior do que a da agua.

§ II

PARTICULARIDADES DE ESTRUCTURA DO ORGÃO VISUAL NOS DIFFERENTES ANIMAES

Vertebrados. Em muitos *mammiferos*, a pupilla, em lugar de ser redonda, tem a forma de fenda, umas vezes vertical, como nos gatos, outras vezes transversal, como nos *ruminantes*. Em grande número de especies, ha, em lugar do pigmento, uma membrana de côres nacaradas, que se chama *tapete*. O *tápete* é amarello alaranjado no gato, no cão é branco, azul no boi, violaceo no cavallo. Suas côres são visiveis durante a vida, quando o fundo do olho está sufficientemente esclarecido. Nos *carniceiros*, que tem uma vista muito perfeita, como o gato, o tigre, etc., a *choroide* é um verdadeiro tecido cavernoso, cuja espessura varia muito, conforme a quantidade de sangue, que contém.

Nas *aves*, a *choroide* tem um prolongamento, denominado *pecten*. O *crystallino* e a *cornea* transparente são bastante convexos: o *crystalli-*

no da coruja é quasi espherico. O globo ocular das aves é muito achatado para traz; a parte posterior da esclerotica é delgada e depressivel; a retina tem muitas pregas. Ha uma terceira palpebra, que se denomina membrana *nictitans*. Em geral, o olho das aves é muito perfeito, sendo, principalmente, destinado a ver de longe.

Nos peixes, a cornea é quasi plana: o crystalino é espherico: ha na choroide um plexo venoso muito desenvolvido, que se chama *glandula choroidéa*.

Invertebrados. Nos animaes invertebrados, faltão, geralmente, as partes accessorias do órgão visual; em alguns, até não existe este órgão.

Dos oozoarios, só os infusorios o tem, e foi sómente nos rotiferos, que Ehrenberg o observou. Dos molluscos, os de ordens mais inferiores não o tem; encontra-se nos gasteropodas, pteropodas, cephalopodas, situado em differentes localidades. Dos articulados, os enthelminthes nem vestigios apresentam de órgãos visuaes: nos annelides, já se achão olhos compostos, isto é, dotados de apparelho refractor. Nos insectos, a cornea é facetada; por isso, se dá o nome de mosaicos aos olhos d'estes animaes. Alguns, porém, tem olhos lisos, e apparelho refractor, como os vertebrados.

§ III

COMPARAÇÃO DO ORGÃO VISUAL
COM UM INSTRUMENTO DE OPTICA

Se considerâmos, physicamente, o apparelho da visão, podemos comparar a córnea transparente, o humor aquoso e o crystallino, com uma lente composta, cujas differentes partes tem diverso grau de refrangibilidade, como indica seo quasi perfeito achromatismo natural.

A cavidade geral do olho poderá comparar-se com uma camara escura, fôrrada pela choroide, para obstar aos effeitos da luz, estranha á imagem. A retina faz o papel de espectro, sobre que a imagem vem pintar-se.

A iris representa, perfeitamente, um diaphragma, destinado a limitar, mais ou menos, o campo da lente, para evitar os effeitos de aberração de esphericidade e não deixar penetrar no orgão senão a quantidade de luz, necessaria para desenhar o objecto.

Experiencia. Uma experiencia muito simples prova, simultaneamente, quasi todos estes usos das diversas partes do orgão visual. Corte-se uma porção da esclerotica d'um olho, tirado recentemente do cadaver, ficando a retina no estado de integridade: ponha-se, diante, qualquer objecto bem illuminado: ver-se-ão, através da semi-transparencia da retina, que estava em contacto com a parte cortada da esclerotica, pequenas imagens muito distinctas, mas invertidas.

Magendie fez experiencias d'esta ordem sobre olhos de animaes albinos, por exemplo, coelhos brancos, cuja esclerotica é, naturalmente, translucida.

§ IV

TRAJECTO DA LUZ NO OLHO

O trajecto da luz, no olho, é analogo ao que ella segue em muitas lentes reunidas. Quando um feixe de raios luminosos, que parte d'um ponto exterior, situado no eixo optico, atravessa a cornea transparente e penetra no humor aquoso, a divergencia d'este feixe diminue por uma primeira refracção: os raios, que passam através da pupilla, soffrem outra refracção na superficie anterior do crystallino, que os faz ainda convergir mais; finalmente, quando saem do crystallino, para entrarem no humor vitreo, cujo poder refrangente é menor, sua convergencia é definitiva; e se o ponto luminoso está sufficientemente afastado, os raios transmittidos vão formar uma imagem real em um foco situado sobre a retina, ou muito perto d'esta membrana.

A experiencia e o cálculo provão, que, quando o ponto, em que o olho se acha, está em tal distancia, que a visão se opera com o menor esforço, os feixes luminosos incidentes tem, precisamente, o grau necessario de divergencia, para que seos logares de concurso sejam mesmo sobre a retina. D'aqui se conclue, que a sensa-

ção da vista é devida é impressão, produzida pela luz sobre a retina, quando se concentra no mesmo ponto ou num espaço muito pequeno. Esta rápida analyse do trajecto dos raios luminosos, no órgão da visão, prova, que todas as partes d'este órgão se comportão á maneira dos corpos diaphanos inorganicos, á excepção da retina, que faz parte do systema nervoso.

§ V

INVERSÃO DAS IMAGENS

Os sabios tem inventado muitas theorias, para explicarem, como vemos direitos os objectos, pintando-se elles invertidos na retina.

Os metaphysicos, Locke, Condillac e outros, admittião, que é pelo hábito, e por uma verdadeira educação do órgão visual, que vemos os objectos ás direitas. Mas o cego de nascença, curado por Cheselden, viu os objectos ás direitas, logoque principiou a distinguir-lhes as formas.

Os geometras, Descartes, Kepler, d'Alembert e outros, explicavão o phenomeno, attribuindo-o ao sentimento, que temos da direcção, em que chegão os raios luminosos, de modo que referimos as posições dos pontos luminosos aos eixos secundarios, que lhes correspondem, eixos, que se cruzão no centro optico do órgão visual.

Muller, Volkman e outros, opinarão, que, co-

mo vemos tudo invertido, e não unicamente um objecto entre outros, nada pode parecer invertido, visto não haver termo de comparação.

Nenhuma d'estas theorias satisfaz.

§. VI

DISTANCIA DA VISTA DISTINCTA.

CAMPO DA VISÃO

A distancia, a que um objecto deve estar situado, para ser visto com menos esforço, é um primeiro limite, chamado *distancia da vista distincta*: afastando-se o objecto, a vista se conserva ainda assaz distincta até certo limite, passado o qual a vista se torna confusa. O espaço, que separa estes dous limites, chama-se *campo da visão*.

A distancia da vista distincta varia d'um para outro individuo, e, frequentes vezes, no mesmo individuo, d'um para outro olho: o campo da visão apresenta variações similhantes.

§ VII

ADAPTAÇÃO DO ORGÃO VISUAL

A DIFFERENTES DISTANCIAS

Pela analogia, que existe entre o olho e a camera escura, a possibilidade de ver distinctamente os objectos em differentes distancias parecia dever attribuir-se á faculdade de mudar,

ou a distancia da retina ao crystallino, ou a curvatura do crystallino e da cornea transparente, ou emfim a abertura da pupilla.

Theoria de Olbers. Pensou-se, que os musculos rectos, que fazem mover o globo ocular em sua orbita, podem tãoobem alongal-o; mas demonstra-se, que seria preciso, que este orgão tomasse a forma d'um ellipsoide, cujo eixo maior excedesse um septimo o eixo do orgão em seo estado ordinario. Tal extensão não parece compativel com a força da esclerotica.

Theoria de Th. Young. Admittiu-se analogia entre o crystallino e os musculos, suppondo-se, que cada camada do crystallino tem certo grau de contractilidade; de sorte que a tumefacção do crystallino, analoga á que acompanha a contracção dos musculos, augmentaria a sua convexidade, e, consequentemente, diminuiria a distancia focal. Mas as pessoas, a que se tem arrancado o crystallino pela operação da cataracta, tem a faculdade de ver, distinctamente, em limites assaz extensos.

Theoria de Lahire. Muitos physicos e physiologistas têm pensado, que é a iris, que representa o principal papel no mechanismo da visão. Esta parte do orgão visual pode, por sua contracção, interceptar os raios demasiado divergentes. Concebe-se, que, diminuindo a abertura da pupilla, a visão seja ainda distincta, posto que o foco já não esteja sobre a retina. E' sabido, que na camara escura se distinguem muito bem os objectos desigualmente afastados. A

visão pode, pois, ser distincta, postoque a imagem não caia, exactamente, sobre a retina.

Experiencia. Esta theoria apoia-se na seguinte experiencia. Se pomos um corpo muito perto do orgão visual, vemos-o confusamente; mas vel-o-emos distinctamente, logoque interpozermos ao orgão e ao objecto um cartão com um orificio. Como o cartão intercepta os raios, que se apartão mais do eixo, o foco não é tão distante da retina, e a imagem é menos confusa.

Pouillet sustentou a theoria de Lahire. Depois de ter observado, que as camadas do crystallino differem, não só em densidade, mas ainda em curvatura e espessura, considera este orgão como uma lente com um número infinito de focos differentes, sendo os mais proximos formados pelos raios, que passão perto do centro, e os mais distantes pelos que passão perto da margem. Se, pois, olhâmos para um poncto proximo, cuja imagem tende a formar-se por detraz da retina, a pupilla se contrahe, e os raios, passando pelos logares mais refrangentes do crystallino, vão fazer seo foco sobre a retina. Se, porêm, olhâmos para um poncto remoto, o foco tende a fazer-se adiante da retina; mas, então, a pupilla se dilata, e os raios, que atravessão o crystallino perto de seo contorno, em seos logares menos refrangentes, vão formar seo foco mais longe sobre a retina. Quanto aos raios, que passão perto do eixo, dão um foco situado adiante d'esta membrana; mas como são menos numerosos do que os que passão perto

do contorno, não fazem mais do que lançar sobre a imagem um clarão diffuso, que diminue sómente seo brilho, sem lhe prejudicar a nitidez.

Dugès oppõe-se a esta theoria com experiencias, que provão, que a visão em diferentes distancias não depende absolutamente da grandeza da pupilla. Por exemplo, vêem-se, distinctamente, com a pupilla muito estreita, os objectos remotos, quando são muito brilhantes, e, com a pupilla muito larga, os objectos proximos, quando são muito sombrios. Se se olha ao longe para um objecto brilhante, e derepente se leva a vista para o objecto sombrio, que esteja proximo, pode-se ver, com um espelho, a pupilla dilatar-se.

Theoria de Lehot. Outros reputarão as diversas partes do humor vitreo capazes de transmitir, directamente, ao cerebro as impressões, que nestas partes são produzidas pela luz, que converge para cada uma d'ellas; e entendêrão, que os corpos ahi formarião imagens com tres dimensões; e que assim se explicaria facilmente a propriedade, que o órgão visual tem, de dar logar a sensações distinctas de objectos muito diversamente afastados. Mas alem da difficuldade de attribuir ao humor vitreo uma sensibilidade analoga á dos nervos, objecta-se a esta theoria a impossibilidade de explicar as illusões produzidas pelos dioramas, e, em geral, pelas pinturas, que produzem o mesmo effeito, que se os objectos representados estivessem em relêvo.

Theoria de Sturm. Este sabio encarou o mechanismo da visão debaixo do poncto de vista mathematico. Pela sua theoria, o olho veria em distancias diversas, sem ter necessidade de se modificar. Sturm calculou, pelas curvaturas das superficies e pelos poderes refrangentes dos humores do olho, o trajecto dos raios neste orgão, e achou, que os raios, que partem do mesmo poncto exterior, formão uma caustica, que envolve o eixo, voltando sua convexidade para elle, depois se confunde com este eixo em certa extensão, chamada *intervallo focal*, e torna a separar-se. Basta, que a retina seja encontrada pelo intervallo focal, para a imagem ser distincta. O olho não teria, pois, necessidade de se adaptar segundo a distancia; mas a experiencia prova, que elle se modifica, para ver, distinctamente, em diversas distancias.

De tudo, que fica dicto, se conclue, que no estado actual da sciencia nenhuma explicação do mechanismo da visão satisfaz completamente.

§ VIII

O ORGÃO VISUAL NÃO É ABSOLUTAMENTE ACHROMATICO

Os objectos, para que olhámos directamente, não parecem irisados em seo contorno. Durante muito tempo se admittiu, que este achromatismo era verdadeiro d'um modo absoluto, e explicava-se pela reunião de muitas substancias de

forma lenticular, representadas pelos differentes humores do olho e pelas camadas sobrepostas do crystallino. Mas as experiencias de Wollaston, de Young, de Fraunhofer, de Muller e d'outros, obrigárão a admittir, que os raios de diversas cores formão seus focos em differentes distancias do crystallino. Se as imagens dos objectos, vistos distinctamente, não são irisadas no contorno, é porque os raios muito pouco divergentes, que passão pela pupilla, são muito pouco desviados. Logo, a dispersão é muito fraca.

Uma das experiencias mais decretorias, que provão o *achromatismo* do olho, consiste em olhar através d'um prisma para um ponto luminoso, para uma estrella, por exemplo. Observa-se um espectro muito estreito, e que deveria ter a mesma largura em toda a sua extensão, se o foco de cada côr se fizesse na mesma distancia. Ora se, olhâmos directamente para a extremidade vermelha, a parte roxa alarga-se; o que prova, que os raios roxos tem seu foco além ou aquém da retina; se, pelo contrário, olhâmos para a extremidade roxa, de modo que a vejamos distinctamente, é a parte roxa, que se alarga. É impossivel ver o espectro linear em toda a sua extensão.

Fraunhofer observou, que um fio muito fino, situado no foco da objectiva d'uma luneta, se via, distinctamente, através da ocular, quando a luneta era allumiada unicamente pela luz vermelha; mas que o fio deixava de ser visivel, se se esclarecia a luneta com luz roxa, conservan-

do-se a ocular na mesma posição. Ora, para poder ver o fio, é preciso diminuir a distancia das lentes, muito mais do que é indicado pelo grau de refrangibilidade da luz roxa no vidro. Deve-se, pois, admittir, que, nesta experiencia, ha um effeito devido á aberração de refrangibilidade do olho.

§ IX

DEFEITOS DA VISÃO

Sem falar das imperfeições da visão, que dependem d'uma lesão da sensibilidade, nem das affeições morbidas, que desorganizão o globo ocular, diremos alguma cousa da myopia, da presbyopia, da cataracta, e dos meios de remediar estes defeitos.

A *myopia* (*myein* piscar, *óps* olho) é uma disposição, ordinariamente congenita, em virtude da qual possui um poder refrangente demasiadamente grande, em relação á distancia, que ha entre o crystallino e a retina, de sorte que todos os raios, provenientes dos objectos, situados a certa distancia do olho, formão seo foco muito aquem da retina, e, por conseguinte, não tração sobre ella senão imagens confusas. Esta disposição viciosa procede muitas vezes d'um accrescimento de convexidade da cornea transparente; mas pode também depender do estado interior do orgão, por exemplo, da forma do crystallino ou da densidade dos humo-

res. Qualquer que seja sua causa, este defeito diminue, ordinariamente, com a idade, porque o olho, menos distendido pelo accesso dos fluidos, perde parte de sua convexidade anterior.

Os myopes remedeiãõ a falta de nitidez da visãõ, pondo os objectos muito perto do olho, de maneira que os raios, que partem d'estes objectos, sendo mais divergentes, nãõ vem a formar seo foco senãõ sobre a retina ou muito perto d'ella. Sendo, porẽm, sempre incommoda e muitas vezes impossivel a grande aproximação dos objectos, os myopes fazem uso de oculos, cujos vidros sãõ plano-concavos ou bi-concavos. Estes vidros recebem os raios, que vem dos objectos e, por sua refraçãõ, augmentãõ-lhes a divergencia, de sorte que vem a compensar exactamente o accrescimo de refraçãõ produzido pelo olho.

A *presbyopia* é uma disposiçãõ, muito raras vezes congenita; desenvolve-se quasi sempre na velhice (*presbys* velho). O orgãõ recebe, entãõ, imagens distinctas dos objectos muito remotos, que lhe enviãõ raios quasi parallellos, entretanto que os objectos mais vizinhos lhe mandãõ raios divergentes, que nãõ podem formar seo foco senãõ alem da retina. Vê-se, que esta afecçãõ é o contrãrio da myopia, e que deve depender da falta de força refrangente do orgãõ da vista, que, ordinariamente, se attribue a uma diminuiçãõ nos humores no olho, que já nãõ mantem a convexidade da cornea transparente.

Os presbyopes remedeiãõ a falta de distincção das imagens, afastando os objectos. Assim, os raios luminosos, sendo menos divergentes, podem formar seo foco sobre a retina. Tãobem se pode remediar a presbyopia, pelo uso de lentes convexas, que, por sua refracção, diminuãõ a divergencia dos raios, provenientes dos objectos vizinhos, e transportem seo foco para diante da retina.

Cataracta. Esta affecção é algumas vezes congenita, mas pertence mais particularmente á velhice, e consiste na opacidade do crystallino, que se desenvolve mais õu menos rapidamente, e acaba por interceptar os raios de luz. A cirurgia tem inventado varios methodos para destruir este obstaculo á visãõ, já extrahindo-o, já repellindo-o para o humor vitreo, onde é absorvido. Depois que a inflammação, que resulta d'esta operacão, se dissipa, os doentes tornãõ a experimentar as impressões da luz; mas não distinguem os objectos senãõ confusamente, por faltar um dos meios principaes, para fazer convergir os raios sobre a retina: por isso, usãõ de oculos muito convexos, sem jámais conseguirem na vista a distincção, que não pode provir senãõ das relações naturaes e exactas das diferentes partes do orgãõ.

§ X

LENTES PERISCOPICAS

As pessoas, que usão de oculos ordinarios, não vêem distinctamente senão os objectos, que não se afastão muito do eixo da visão; ha certeza para os objectos demasiadamente afastados d'este eixo sobre o lado, cujos raios não chegam ao olho senão depois de atravessarem os bordos dos vidros, em que soffrem grande refração. Wollaston imaginou, para remediar este inconveniente, vidros lenticulares, a que deu o nome de *periscopicos*, e que são concavos para o lado do olho, e convexos do lado opposto: para os presbyopes, o raio da parte concava deve ser maior do que o da superficie convexa; o inverso deve ter lugar para os myopes. A forma d'estas lentes é tal, que os raios, que chegam, obliquamente, ao eixo da visão, ainda caem quasi normalmente á sua superficie convexa; o que faz desaparecer as grandes refrações, que tem lugar nas margens dos vidros ordinarios.

§ XI

ANGULO VISUAL, GRANDEZA APPARENTE

Dá-se o nome de *angulo visual* ao angulo AoB , *fig.* 457, formado por dous raios, que, partindo das extremidades d'um objecto, vem cruzar-se na pupilla. A consideração d'este an-

gulo é importante, relativamente aos phenomenos da visão. Atraz do angulo AoB forma-se outro aob , que provém dos mesmos raios, refrangidos através dos humores do olho. Este angulo aob subtende a imagem ab no fundo do olho: é claro, que augmenta e diminue ao mesmo tempo que AoB .

Dá-se o nome de *grandeza apparente* d'um objecto á abertura do angulo visual; d'onde se vê, que a grandeza real é constante, e que a grandeza apparente varia continuamente com a distancia. Assim, o concurso dos dous olhos é necessario para apreciar as distancias, entretanto que um só olho basta para avaliar a grandeza.

Não julgâmos da grandeza real dos objectos só pela grandeza apparente; tomâmos em linha de conta a distancia, porque as experiencias, que fizemos com o auxilio do tacto, nos ensinãrão a apreciar, exactameate, as dimensões e as distancias dos objectos. Assim, uma linha de oito metros, vista a um metro de distancia, não nos pareceria ter senão dous metros na distancia de quatro metros; mas, combinando a distancia com a grandeza apparente, daremos ao objecto sua grandeza real. Convem advertir, que, quando os objectos estão muito distantes, a pequenez dos angulos visuaes e dos angulos formados pelos eixos opticos embarça a avaliação das distancias, e julgâmos da grandeza real pela grandeza apparente. Então, os objectos parecem mais pequenos do que realmente são.

Em apoio das precedentes considerações sobre

a influencia do hábito, apontaremos um exemplo frisante. Um mancebo de treze annos, cego de nascença, ao qual o cirurgião Chelseden acabava de fazer a operação da cataracta, pensava, que todos os objectos lhe tocavão nos olhos; não podia conceber, como quadros representassem corpos solidos, etc. Foi só, depois de muitos mezes de experiência, que julgou das formas, das grandezas e das distancias.

§ XII

ANGULO OPTICO

Quando os dous eixos opticos se fixão sobre o mesmo poncto, formão entre si um angulo, denominado angulo optico, o qual é maior ou menor, conforme o poncto considerado é mais ou menos proximo. A consciencia do movimento, que imprimimos aos nossos dous eixos opticos, nos permite julgar da distancia dos objectos, sobre que os fixámos; mas, quando estes objectos são muito distantes, o angulo optico é tão pequeno e tão pouco variavel, que esta avaliação não pode ser exacta. D'aqui provém uma imperfeição do orgão da vista, quando se quer julgar da verdadeira relação das distancias dos objectos afastados. Esta imperfeição é a causa de grande número de illusões. Por exemplo, uma longa rua, guarnecida de duas ordens de arvores, eguaes em grandezza, nos parece estreito

tar-se ao longe, e as árvores parecem mais pequenas.

A intensidade da luz, que nos é enviada d'um objecto, e que decresce, *ceteris paribus*, á medida que este objecto se afasta, é tãobem um dos elementos da avaliação da distancia. Como, porêem, as mudanças, que sobrevem á atmosphera, fazem variar muito a quantidade de luz, absorvida pelo ar em um mesmo trajecto, esta base de nossos juizos torna-os, frequentemente, muito erroneos. Quando pessoas, habituadas a julgar das distancias em regiões planas, e em latitudes, em que a atmosphera está, ordinariamente, limpa e tranquilla, se transportão para paizes montanhosos ou perto do equador, fazem juizos falsos sobre quasi todas as distancias.

§ XIII

VISÃO SIMPLES COM OS DOUS OLHOS

Apezar de cada objecto, para que olhâmos, ter sua imagem em cada um dos dous olhos, não vemos os objectos dobrados, por termos reconhecido, pela experiencia do tacto, que um objecto simples produz duas imagens sobre partes semelhantes das retinas, de sorte que ligâmos a idea da unidade do objecto com o sentimento das mesmas impressões. Quando, porêem, os eixos opticos deixão de concorrer para o mesmo poncto, as imagens não caem já sobre partes correspondentes das retinas, e o objecto

parecerá duplo. Podemos verificar isto experimentalmente, carregando sobre um dos olhos, ao mesmo tempo que olhámos para um objecto: neste caso, o objecto parece duplo. Tal é a explicação, que, geralmente, se dá do phenomeno da vista simples com dous olhos.

É sabido, que os nervos opticos, a pouca distancia de sua origem, se reúnem e parecem completamente confundir-se um com o outro; e que d'este ponto de reunião partem dous nervos, um dos quaes se dirige para o olho direito, e o outro para o esquerdo. Deu-se o nome de *decussação* a esta parte commum, na idea de que se cruzão, para cada um d'elles ir para o olho do lado opposto ao de sua origem.

Muitas pessoas tem sido affectadas de cegueira parcial e momentanea. Wollaston experimentou esta especie de cegueira parcial. Derepente, não via senão metade da figura das pessoas; querendo ler a palavra *Johnson*, que estava escripta numa porta, não via mais do que a syllaba *son*. Arago teve uma affecção analoga; não via da palavra *baromètre* senão as letras *ètre*.

Estes factos parecerião mostrar, que o nervo optico direito communica com a parte direita de cada olho, *fig. 158*, pela reflexão com o olho direito e directamente com o olho esquerdo, e reciprocamente. Esta opinião, emittida por Taylor, Wollaston, etc., fornece talvez uma explicação satisfactoria da unidade de impressão.

§ XIV

INFLUENCIA DOS DOUS OLHOS NA APRECIACÃO
DO RELÊVO

Das experiencias de Wheatstone resulta, que só com os dous olhos é que podemos perceber, distinctamente, o relêvo dos corpos, isto é, suas tres dimensões. Quando olharmos, successivamente, com cada olho para um mesmo corpo pouco distante, vemos-o com dous aspectos diferentes: com um dos olhos, as posições relativas das linhas não são as mesmas que com o outro, e vêem-se, do lado d'este olho, certas partes do corpo, que se não podem ver com o outro; pois os dous olhos não estão collocados do mesmo modo em relação ao corpo. Quando olharmos com os dous olhos, as duas imagens, formadas sobre duas retinas, não serão, pois, identicas. Distinguiremos nellas tres partes: a primeira, vista ao mesmo tempo pelos dous olhos, e cujas sensações se confundem; as outras duas, vistas por um só olho, e que se junctão na imagem d'um e d'outro lado da parte commum. Da combinaçãõ d'estas diversas sensações resultará o sentimento do relêvo do corpo. Assim, podemos dizer, que os dous olhos abraçãõ a superficie dos corpos, distinguindo não só a parte anterior, mas tãõbem uma porçãõ das partes lateraes.

§ XV

ESTEREOSCOPIOS

O estereoscopio (*stereos solido*) é um apparelho inventado para tornar sensível o effeito da visão com os dous olhos, pela apreciação do relêvo dos corpos. Weatstone, que foi o seo inventor, empregou nelle a reflexão da luz; Brewster o modificou, empregando a refração; e este instrumento se tornou de uso popular, depois que, em 1850, Soleil e Dubosc se incumbirão de sua fabricação.

O estereoseopio consta d'uma pequena caixa de madeira, por cuja parede superior passam dous tubos directores dos eixos opticos. No fundo da caixa, ha dous desenhos, que cada olho vê, isoladamente, através d'um vidro convergente, collocado nos tubos. Estes desenhos representam o mesmo objecto, mas visto com differente perspectiva, que é, precisamente, a que corresponderia ao eixo optico de cada olho, se olhassemos para o objecto em pequena distancia. D'aqui resulta, que, olhando através dos dous tubos, cada olho recebe a mesma impressão, como se olhasse para o mesino objecto; e d'aqui provém uma percepção tão distincta e tão viva do relêvo, que a illusão é completa e verdadeiramente surprehendente.

Estereoscopio-omnibus. Faye, em 1856, ensinou a substituir o estereoscopio de Brewster por uma simples folha de papel com dous ori-

ficios de dous millímetros de diametro, situados a uma distancia, um do outro, egual á dos dous olhos do observador. Para usar d'este instrumento, basta pol-o com uma das mãos sobre o desenho duplo, que na outra se tem, e aproximal-o dos olhos a pouco e pouco, sem deixar de olhar para o desenho pelos dous orificios. Depressá os dous orificios parecem confundirse num só: então apparece uma imagem perfeitamente distincta, em relêvo, entre as duas imagens planas.

Em 1857, o physico allemão, Helmholtz, applicou, ingenhosamente, os principios do estereoscopio, realizando o effeito do relêvo sobre objectos, situados a grande distancia em uma paisagem natural, e deu ao novo instrumento o nome de telestereoscopio.

Em 1858, Claudet descobriu a maneira de amplificar as imagens do estereoscopio, para tornal-as visiveis a dous ou tres observadores ao mesmo tempo. Finalmente, neste mesmo anno, Almeida, professor de physica em Paris, conseguiu augmentar as imagens, a poncto de as tornar visiveis a muitos metros de distancia e de todos os ponctos da casa, em que a experiencia se faz.

§ XVI

PARTE INSENSIVEL DA RETINA

Uma experiencia de Mariotte, que todos podem repetir, mostra, não ser egual, em toda a

sua extensão, a sensibilidade da retina, e até ser de todo desprovido d'ella o poncto de inserção do nervo optico. Este poncto denominou-se *punctum cæcum*. Com effeito, se pomos dous objectos a dous pés de distancia um dó outro, e depois nos afastâmos pouco e pouco, dirigindo o olho direito para o objecto, que se acha á esquerda, e defronte do qual estamos, na distancia de nove pés, deixaremos de ver o outro objecto, que reaparecerá, se continuâmos a afastar-nos.

A experiencia pode fazer-se d'est'outro modo. Collocão-se, sobre um cartão preto, dous pequenos discos brancos, cujos centros distem um do outro tres pollegadas. Põe-se, verticalmente, o olho direito acima do disco esquerdo, e fecha-se o olho esquerdo; a linha, que une os dous olhos, deve ser paralela á que une os centros dos discos. Na distancia de doze pollegadas, não se vê senão o disco esquerdo; mas por pouco que nos desviemos da posição de doze pollegadas, vemos dous discos.

§ XVII

PERSISTENCIA DA SENSACÃO DA LUZ

A sensação, produzida pela luz sobre a retina, tem uma duração apreciavel. Uma prova d'esta asserção é o arco luminoso, que se vê, quando fazemos girar rapidamente, um carvão acceso, atado á extremidade d'uma funda.

D'esta apparencia resulta evidentemente, que a impressão, produzida pelo carvão, quando este occupa certa posição, dura ainda algum tempo depois de ter ultrapassado esta posição. Esta persistencia dá a explicação de grande número de illusões do mesmo genero, taes como o augmento de volume apparente d'uma corda sonora em vibração, a desappareição dos raios d'uma roda, que gyra com rapidez, etc.

Se, sobre cada uma das faces d'um cartão, desenhâmos uma imagem, por exemplo, um passaro e uma gaiola, e o fazemos, rapidamente, gyrar á roda da recta, que o divide symmetricamente, veremos, ao mesmo tempo, as duas imagens: assim, no exemplo posto, veremos o passaro dentro da gaiola. Dá-se a este instrumento o nome de *thaumatropio*. E', tãobem, á persistencia da sensação da luz, que devemos referir o effeito do phantascopio ou phenakisticopio de Plateau, effeito, que consiste em parecerem animadas e móveis figuras pintadas sobre um disco de cartão.

§ XVIII

DURAÇÃO DA SENSACÃO DA LUZ

Aimé avaliou a duração da sensação da luz por meio do seguinte apparatus. Imaginem-se dous circulos de cartão, movendo-se em sentido contrario, com velocidades eguaes, sobre o mesmo eixo: supponha-se, que um dos circulos é atravessado por grande número de orificios

eguaes e igualmente distanciados, e que o outro é atravessado por um só orificio. Se, estando o olho situado sobre o eixo de rotação, o aparelho recebe um largo feixe de luz, paralelo a este eixo, sendo a rotação ao principio muito lenta, o orificio unico do círculo, que está adiante, apparecerá illuminado nas occasiões das coincidencias com os orificios do segundo círculo; mas, quando a velocidade tiver passado certo limite, a primeira apparição subsistirá com a seguinte, ou com as duas seguintes, se a duração da sensação é igual ao intervallo de tempo, que separa duas apparições; ou ao dóbroy d'este intervallo. Assim, quando obtivermos qualquer número de apparições simultaneas, as velocidades de rotação e o número dos orificios do primeiro disco conduzirão, facilmente, a um valor aproximado da duração da sensação.

Plateau achou por differentes methodos: 1.º que a duração total das impressões sobre a retina era, sensivelmente, a mesma para as diversas côres, e proximamente $0''{,}34$: 2.º que é necessario um tempo apreciavel, para que a impressão sobre a retina seja completa: 3.º que o tempo, que a impressão dura com a mesma intensidade sensivelmente, é tanto maior, quanto mais fraca é a impressão: 4.º que este tempo, para um papel branco allumiado pela luz do dia, é menor que $0''{,}008$, é maior para um papel vermelho, e ainda maior para um papel azul: 5.º que a duração total é tanto maior, quanto mais intensa é a impressão; é tanto maior, quan-

to menos tempo se esteve olhando para o objecto, com tanto que este tempo tenha sido sufficiente, para desenvolver uma impressão completa: 6.º que, quando o objecto é muito luminoso, e depois de o termos contemplado algum tempo, cobrimos derepente os olhos, a impressão desaparece e reaparece muitas vezes com as côres complementares.

§ XIX

IMAGENS ACCIDENTAES

Se fixâmos a vista sobre um objecto esclarecido, situado sobre um fundo negro, e depois a dirigimos, subitamente, para uma superficie branca, vemos uma imagem do objecto, mas d'uma côr complementar: é esta imagem, que se designa pelo nome de *imagem accidental*. A imagem accidental d'um objecto vermelho é verde, a d'um objecto amarello é azul. A duração da imagem accidental é tanto maior, quanto mais tempo se tem olhado para o objecto.

A desaparição das imagens accidentaes não tem logar, em geral, por um decrescimento gradual e continuo de intensidade; pelo contrario, apresenta, ordinariamente, variações periodicas de intensidade; algumas vezes, até se vê reaparecer a impressão primitiva. Para observar estes phenomenos, olha-se, fixamente, através d'um tubo, durante um minuto pelo menos, para um papel vermelho bem esclarecido e assaz

extenso, para que seus bordos fiquem escondidos pelo tubo; depois, sem descobrir o olho fechado, olhando para o tecto branco da casa, vê-se, primeiramente, uma imagem circular verde, que é depois substituída por uma imagem vermelha de fraca intensidade e de curta duração; em seguida apparece uma imagem verde, depois outra imagem vermelha. Estas alternativas succedem-se até quatro vezes, mas a intensidade das imagens vai, continuamente, diminuindo.

Combinação das côres accidentaes. As côres accidentaes combinão-se entre si do mesmo modo que as côres reaes. Com effeito, se pomos, um ao lado do outro, sobre um fundo negro, dous pequenos quadrados de papel, um roxo, outro alaranjado, a que correspondem as côres accidentaes, amarella e azul, se marcâmos com um ponto negro o meio de cada um dos quadrados, e, depois de ter fixado, alternativamente, os olhos sobre cada um d'elles, durante um segundo pelo menos e por muitas vezes, fechâmos os olhos ou os dirigimos para uma superficie branca, distinguimos tres quadrados juxtapostos; os dous extremos são azul e amarello, o do meio é verde. Mas, quando as duas côres primitivas são complementares, as duas côres accidentaes, por sua sobreposição, produzem negro.

As côres accidentaes combinão-se com as côres reaes, como estas últimas entre si: é o que podemos, facilmente, reconhecer, projectando a imagem accidental sobre um fundo corado; mas, quando as imagens accidentaes se misturão com

imagens directas complementares, o effeito resultante é uma côr parda, mais ou menos carregada.

§ XX

AUREOLAS ACCIDENTALES

As côres, que, em lugar de succederem á impressão d'um objecto, como as côres accidentaes, contornão os objectos, quando nella se fixa a vista, chamão-se *aureolas accidentaes*. Buffon, que foi o primeiro, que indicou o phenomeno das imagens accidentaes, menciona o facto seguinte. Se olhâmos muito tempo para um objecto corado, posto sobre um fundo branco, vimos afinal a distinguir á roda do objecto uma aureola da côr complementar. Rumford advertiu, que um objecto, esclarecido por uma luz corada, produz uma sombra de côr complementar. Quando uma casa não é allumiada senão pela luz, que passa através d'uma cortina colorida, se um feixe de raios solares ou de luz branca é introduzido por uma pequena abertura, practicada na cortina, projecta sobre um cartão branco uma mancha luminosa da côr complementar da da cortina. Se pomos, entre a janela e o olho, um papel corado translucido, e sobre este papel uma tira de cartão branco, esta tira apresenta-se da côr complementar da do papel. Estes factos provão, evidentemente, que qualquer impressão, produzida na retina, é cercada d'uma aureola accidental.

§ XXI

CONTRASTE DAS CÔRES

Dá-se o nome de *contraste das côres* a uma reacção recíproca, que se exerce entre duas côres vizinhas, em virtude da qual se juncta a cada uma d'ellas a côr complementar da outra. Para verificar esta reacção, Chevreul empregou o processo seguinte. Pegou sobre o mesmo cartão quatro tiras parallelas de papel pintado, sendo as duas da esquerda da mesma côr, por exemplo, vermelhas. As da direita são tãoobem d'uma mesma côr, mas diferentes da primeira, por exemplo, amarello. As duas tiras intermedias são contiguas, as duas extremas devem estar separadas um millimetro. Ora, se olhâmos, obliquamente e durante muitos segundos, para o cartão assim preparado, as duas tiras da esquerda, aindaque realmente da mesma gradação vermelha, parecem differir uma da outra; a que pertence ao grupo do meio, parece tirar mais para roxo, e sua côr apparente pode reputar-se composta de vermelho real, e da aureola accidental da tira amarella vizinha, que deve ser roxa. Similhantermente, das duas tiras amarellas da direita, a que está perto do centro, parece tirar a verde; sua côr resulta assim do amarello real e do verde accidental, que forma a aureola da tira vermelha vizinha.

Com as outras côres, manifestão-se phenomenos analogos. Se as côres, que se influenceião

mutuamente, são complementares uma da outra, avivão-se por esta influencia, e adquirem notavel brilho. Se aproximâmos uma tira branca e outra corada, a primeira toma a côr complementar da segunda, que, por sua vez, toma uma gradação mais brilhante e mais carregada. Se as duas tiras são uma negra e outra corada, a primeira parece cobrir-se da côr complementar da segunda, e esta faz-se ainda mais brilhante, porém mais clara. Finalmente, o branco e o negro se influenceião tãobem, o primeiro parece mais brilhante, o segundo mais carregado.

§ XXII

APPLICAÇÃO DO CONTRASTE DAS CÔRES

E' facil conceber as applicações, que se podem fazer do principio das aureolas accidentaes, ás artes e ás manufacturas, que exigem uma combinação conveniente das côres. Em geral, devemos aproximar côres complementares, cujo brilho se aviva e augmenta por sua influencia reciproca, sem mudar de gradação. Pelo contrario, não devemos pôr, uma ao lado da outra, côres da mesma especie, que se enfraquecem e desnaturão mutuamente. Assim, segundo Chevreul, os móveis de acaju não devem cobrir-se com estofos vermelhos, que modificão, por uma gradação verde accidental, a côr, que se aprecia na madeira de acaju. Para que as flores d'um alegrete se apresentem com todo o seo esplên-

dor, devem distribuir-se com selecção: as flores azues ao lado das alaranjadas, as roxas ao lado das amarellas, as vermelhas e côr, de roça ao lado das brancas, e no meio d'uma pequena mouta de verdura. Os quadros, as alcatifas, os papeis pintados, as decorações, apresentarião muitas vezes falsos effeitos, e até certo poncto discordantes, se em sua composição se não attendesse á influencia reciproca das côres vizinhas.

§ XXIII

THEORIA DAS IMAGENS ACCIDENTAES

Muitas hypotheses tem sido propostas para explicar o phenomeno das imagens accidentaes. A de Scherffer consistia em admittir, que a acção continua dos raios d'uma certa côr, sobre uma parte da retina, lhe diminue, momentaneamente, a sensibilidade para os raios d'esta côr. Esta hypothese explica certos factos, mas não dá conta do maior número d'elles.

A unica explicação, que hoje se admite geralmente, e que se conforma perfeitamente com todos os factos, é devida a Plateau. Este physico suppõe, que, quando a retina tem sido abalada, e a causa de excitação tem cessado, aquella membrana nervosa não torna á sua posição normal senão por uma serie de oscillações decrescentes; que os estados, por que passa successivamente, produzem sensações oppostas; e, finalmente, que, mesmo durante a excitação, o

abalo da retina se estende além dos pontos directamente abalados, mas, mudando de natureza, como os abalos d'uma membrana tensa.

§ XXIV

IRRADIAÇÃO

Quando observâmos dous circulos eguaes, um branco sobre um fundo negro, outro negro sobre um fundo branco, não parecem do mesmo diametro; o primeiro parece maior do que o segundo: é neste phenomeno, que consiste a irradiação. Plateau observou os seguintes factos: 1.º a irradiação manifesta-se em qualquer distancia do objecto: 2.º augmenta com o brilho do objecto e com a duração da contemplação: 3.º varia d'um para outro individuo, e, no mesmo individuo, d'um para outro dia: 4.º é augmentada pelas lentes divergentes e diminuida pelas convergentes: 5.º nas lunetas astronomicas, a irradiação natural é modificada pelos vidros da luneta, que obrão em sentidos contrarios. A irradiação provém, sem dúvida nenhuma, de que a excitação produzida pela luz se propaga sobre a retina, um pouco além do contôrno da imagem.

CAPITULO XXVIII

FRANJAS, INTERFERENCIA, DIFFRACÇÃO

§ I

EXPERIENCIA DE FRESNEL, RELATIVA ÁS FRANJAS PRODUZIDAS PELO ENCONTRO DOS RAIOS REFLEXOS

Dous espelhos metallicos planos se collocão, verticalmente, um ao lado do outro, fazendo um angulo muito obtuso. A *fig. 159* representa uma secção horizontal dos espelhos e do feixe de luz, que serve para a experiencia. Adiante d'estes espelhos, uma lente cylindrica de curto foco *a* concentra em *f* um feixe de luz homogenea, que vai depois cair, parte sobre o espelho *m*, e parte sobre o espelho *m'*: os raios, depois de se terem reflectido, *longe da intersecção dos espelhos, e longe de suas margens*, vem espalhar-se no espaço, e ahi formão franjas, isto é, pequenas faxas, alternativamente sombrias e brilhantes, que se podem observar com um microscopio simples. Estas franjas tem os caracteres seguintes:

1.º São parallelas á intersecção commum dos espelhos.

2.º São symmetricas d'uma e d'outra parte do plano *lcl'*, que passa por esta intersecção commum, e pelo meio da linha *pp'*, que une

as imagens do ponto *f* sobre cada um dos espelhos. A franja central, que está sobre este plano, é sempre uma franja brilhante.

3.º Cobrindo um dos espelhos ou interceptando a luz, que incide sobre sua superfície, todas as franjas desaparecem.

4.º Se o feixe reflectido por um dos espelhos atravessa uma lamina transparente de faces parallelas, quer antes, quer depois da reflexão, todas as franjas se deslocão á direita ou á esquerda: quando cada um dos feixes atravessa uma lamina da mesma substancia, já não é em virtude das espessuras absolutas, mas em virtude da differença das espessuras d'estas laminas, que o deslocamento tem logar.

Esta experiencia é uma das mais importantes da optica: porque demonstra, do modo mais evidente, esta verdade fundamental, que, debaixo de certas condições, *luz mais luz dá trevas*. Com effeito, é evidente, por exemplo, que a primeira franja sombria, que está ao lado da franja brilhante central, recebe luz dos dous espelhos, como a propria franja central, e que é o concurso das duas luzes, que produz a obscuridade. visto que, se cobrimos um dos espelhos, esta faixa torna-se muito mais viva.

Grimaldi, que, em 1665, descobriu a acção mutua de dous raios luminosos, deu-lhe o nome de *diffracção*. Mais tarde, Young a tornou a demonstrar por outros meios, e d'ella deduziu o principio geral das *interferencias*, que ao mesmo tempo exprime esta acção e as condições,

com que se exerce. A palavra *interferencia*, introduzida na sciencia por Young, significa, pois, em geral, a acção mutua, que dous raios de luz exercem, um sobre o outro.

§ II

PRINCIPIO DAS INTERFERENCIAS

Este principio geral pode enunciar-se do seguinte modo:

Dous raios homogeneos, que partem da mesma origem, junção se o brilho, quando se encontram com pequena obliquidade, depois de terem percorrido caminhos, cuja differença é 0,

$\frac{2d}{2}$, $\frac{4d}{2}$, $\frac{6d}{2}$, isto é, um número par de semi-

valores de d : pelo contrario se destroem, e produzem obscuridade, quando se encontram, depois de terem percorrido caminhos, cuja differença é

$\frac{d}{2}$, $\frac{3d}{2}$, $\frac{5d}{2}$, etc., isto é, um número impar de

semi-valores de d .

O valor de d é um número differente para as diversas côres, e até para as diversas gradações do espectro.

Eis-aqui o quadro dos valores de d , determinados por Fresnel, os quaes determinão os periodos de addição ou de destruição da luz.

Limites das côres principaes	Valores extremos de <i>d</i> em millionesimos de millimetro
Roxo extremo	406
roxo anilado	439
anilado azul	459
azul verde	492
verde amarello	532
amarello alaranjado	571
alaranjado vermelho	596
vermelho extremo	645
roxo	423
anilado	449
azul	475
verde	521
amarello	551
alaranjado	583
vermelho	620

Assim, dous raios, pertencentes ao vermelho medio do espectro, se destroem e produzem negro, quando se encontram, depois de terem percorrido caminhos, cuja differença é um número

impar de vezes $\frac{620}{2}$ ou 310 millionesimos

de millimetro; para dous raios roxos, a differença dos caminhos percorridos deve ser sómente

um número impar de vezes $\frac{423}{2}$ ou 212 mil-

lionesimos de millimetro.

Retomemos agora a experiencia dos espelhos, e deduzamos d'ella as provas do principio, que acabâmos de enunciar e a determinação dos valores de d .

Sendo o poncto p a imagem do poncto f sobre o primeiro espelho, temos

$$fn = np \quad \text{e} \quad cp = cf$$

Pela mesma razão, a respeito do segundo espelho, é

$$fn' = n'p' \quad \text{e} \quad cp' = cf$$

Logo, $cp = cp'$.

D'onde se segue, que a linha lcl' tem todos os seus ponctos a igual distancia das duas imagens p e p' . Mas a luz, que se reflecte sobre o primeiro espelho, está, no que respeita á sua direcção, e ao caminho, que percorre, exactamente, como se partisse do poncto p ; a que se reflecte sobre o segundo espelho, é tãobem, exactamente, como se partisse do poncto p' . Logo, todos os raios, como fgb e fhb , que vem encontrar-se sobre a linha ll' , são raios, que percorrêrão caminhos eguaes; e, reciprocamente, a linha lcl' , estando a igual distancia dos ponctos p , p' , é o logar de encontro de todos os raios, que percorrêrão caminhos eguaes. Ora, como em toda esta linha ha uma franja central brilhante, com o dôbro do brilho da luz reflectida por um só espelho, é claro, que o brilho dos

raios se somma, quando se encontrão depois de terem percorrido caminhos eguaes.

Consideremos agora a primeira franja sombria s , quer á direita, quer á esquerda da franja central, e una-se o meio d'ella aos dous pontos p e p' , que se reputão os dous pontos irradiantes. E' evidente, que os raios ps e $p's$, que chegão a este ponto, se encontrão, depois de terem percorrido caminhos deseguaes, cuja differença é $sp - sp'$ para a franja sombria da esquerda, $sp' - sp$ para a da direita. Logo, não fazemos mais do que exprimir um facto, dizendo: os raios se destroem, quando se encontrão depois de terem percorrido caminhos, cuja differença é $sp - sp'$. Ora, Fresnel, havendo determinado as posições dos pontos, p e p' , e medido, exactamente, a distancia ss , pode, facilmente, concluir a differença dos caminhos percorridos; e é assim que verificou, que os raios das diversas côres se destroem, quando tem percorrido caminhos, cuja differença é 310 milionesimas de millimetro para os raios vermelhos, e 212 para os roxos, etc., conforme a tabella precedente.

Fresnel mediu, do mesmo modo, a distancia $s's'$ das franjas sombrias de segunda ordem, depois a das franjas de terceira ordem, etc., depois a das franjas brilhantes de primeira, segunda, terceira ordem. . . Da comparação d'estas medidas resultou este principio fundamental, acima enunciado, que o brilho dos raios se somma, quando a differença dos caminhos percor-

ridos é 0, $\frac{2d}{2}$, $\frac{4d}{2}$, etc., e se destroem, quando

esta differença é $\frac{d}{2}$, $\frac{3d}{2}$, $\frac{5d}{2}$, etc.

Agora, concebe-se porque as franjas desaparecem, quando se suprime a luz reflectida por um dos espelhos; pois já não pode haver interferencias: os raios do espelho descoberto seguem seo caminho, sem serem parcialmente destruidos, e d'aqui resulta uma luz de côr uniforme em toda a extensão do feixe reflectido.

Tãobem se concebe porque as franjas são deslocadas pela interposição d'uma lamina transparente no feixe d'um dos espelhos; porquanto, sendo a velocidade da luz differente nos differentes meios, os raios não gastão o mesmo tempo em atravessar a espessura da lamina interposta e em atravessar a mesma espessura de ar. Se gastão mais tempo na lamina, estão como se tivessem que percorrer mais caminho no ar. D'aqui resulta, portanto, uma verdadeira desigualdade nos caminhos percorridos, se bem que os comprimentos d'estes caminhos sejam geometricamente eguaes. D'isto procede o deslocamento das franjas; e como o sentido d'este deslocamento, pela primeira vez observado por Arago, sempre annuncia um atrazo na luz, que atravessa a lamina de vidro, é evidente, que a luz se move mais lentamente no vidro do que no ar.

§ III

EXPLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DAS INTERFERENCIAS
PELA THEORIA DAS UNDULAÇÕES

Concebamos uma linha indefinida ax , *fig.* 160, segundo a qual se propaga a luz simples de qualquer côr. Admittamos, em primeiro lugar, para tornar a explicação mais facil, que os movimentos de vibração se executão no sentido do raio, isto é, que, sobre a linha ax uma dada molecula de ether recebe, successivamente, duas velocidades contrárias; por exemplo, velocidade positiva, que a impelle no sentido ax da propagação, e depois velocidade negativa, que a traz no sentido xa para a origem do movimento. As velocidades positivas passam, necessariamente, por diversos graus de intensidade: são nullas ao principio, crescem, attingem um maximum, e depois decrescem até zero. O mesmo se dá nas velocidades negativas; e demais admitte-se, que estas passam, exactamente, pelos mesmos periodos que as primeiras. Por consequencia, se considerâmos, no mesmo instante, todas as moleculas da linha ax , achal-as-emos em todos os estados e com todos os graus possiveis de velocidade. No ponto e , por exemplo, a velocidade será nulla; os pontos antecedentes até d terão velocidades positivas, que serão crescentes até p , depois decrescentes; de d a c as velocidades serão negativas, tendo tãobem seo maximum em p ; de c a a se renovarão, exactamen-

te, os mesmos periodos, e assim por diante em toda a extensão da linha luminosa.

O comprimento da linha *ec*, sobre que se acha um periodo completo das velocidades, é o que se chama *comprimento da undulação*. E' este comprimento, que tem 620 millionesimas de millimetro para os raios vermelhos medios, e 423 para os roxos. Assim, se podessemos observar o curso rapido d'um raio luminoso, achariamos para a luz vermelha um milhão de undulações no comprimento de 620 millimetros ou um milhão de espaços taes como *ac*, *ce*, etc.

Agora, para melhor pintar aos olhos os diversos estados das moleculas no comprimento d'uma undulação, podemos, de cada molecula, levantar sobre a linha *ax* uma perpendicular, que represente em comprimento a velocidade correspondente; e como a direcção d'esta velocidade é de *a* para *x*, para os pontos comprehendidos entre *e* e *d*, e, pelo contrario, de *x* para *a* para os pontos comprehendidos entre *d* e *c*, se levantâmos estas perpendiculares acima de *ax* para o primeiro caso, e abaixo para o segundo, a linha sinuosa *cmdme*, formada pelas extremidades d'estas perpendiculares, poderá dar uma idea justa da direcção e da grandeza das velocidades. As linhas curvas das velocidades, formadas segundo estes principios e estas convenções, podem servir assim para caracterizar as undulações; e como podemos conceber uma infinidade de curvas differentes, passando pelos pontos *e*, *d* e *c*, e preenchendo as condições

devidas de grandeza e symmetria, é evidente, que pode haver uma infinidade de undulações differentes, tendo todas o mesmo comprimento.

Depois de ter reconhecido o estado, em que se achão os *diversos pontos* da linha luminosa *ax* em *um instante dado*, devemos ainda examinar o estado *d'um mesmo ponto*, considerado em *muitos instantes consecutivos*. O ponto *e*, por exemplo, está em repouso, sua velocidade é nulla; mas nos instantes seguintes, todas as velocidades, que neste instante affectão os pontos precedentes, até *c*, virão affectar, *successivamente*, o ponto *e*. Assim, dizer, que uma undulação passa por um ponto dado, equivale a dizer, que este ponto recebe, *successivamente*, todas as velocidades, que constituem a undulação.

Posto isto, consideremos outra linha *ax*, *fig. 161*, e outra undulação identica á precedente, que se propague segundo esta linha; demais, supponhamos, que esta segunda undulação se acha de acôrdo com a primeira, isto é, que em um instante dado os pontos de repouso e de movimento se correspondem exactamente. E' claro, que, se ha perfeito acôrdo num instante, este acôrdo se conservará sempre. Quando o ponto *e* estiver em repouso na primeira linha, estará em repouso na segunda; quando tiver o maximo de velocidade positiva na primeira, terá o maximo de velocidade positiva na segunda, etc. Ora, se pudessemos, por qualquer meio, fazer com que o raio luminoso *ax* da *fig. 161*,

coincidisse com o raio ax da *fig.* 160, sem alterar em nada o acôrdo, em que se achão, é evidente, que todas as velocidades serião duplicadas pela sobreposição dos pequenos movimentos, e que a intensidade da luz seria augmentada.

O resultado seria ainda o mesmo, se um dos raios tivesse de atrazo ou de avanço sobre o outro uma ou muitas undulações inteiras, ou, o que é o mesmo, um número par de semi-undulações. Finalmente, seria ainda o mesmo resultado, se os dous raios, em vez de se sobreporem, sómente viessem concorrer no mesmo poncto, e se encontrassem com pequena obliquidade.

Logo, dous raios homogneos junctão seo brilho, quando se encontrão com pequena obliquidade, e um d'elles vai adiante ou atraz do outro um número par de semi-undulações.

Mas, se um dos raios se atraza a respeito do outro uma semi-undulação, como o raio $a'x'$ *fig.* 162, a respeito do raio ax , *fig.* 161, os phenomenos mudão completamente de apparencia: então o poncto e , por exemplo, *fig.* 161, corresponde ao poncto f' , *fig.* 162. O primeiro d'estes ponctos vai ser atravessado pela onda edc , e o segundo pela onda $f'e'd'$; assim, um tomará velocidades positivas, e o outro velocidades negativas eguaes, e vice versa.

Por consequencia, se suppomos, que os dous raios ax e $a'x'$ se fazem coincidir, as velocidades se destruirão em cada momento por sua

sobreposição, e todos os pontos ficarão em repouso; não haverá movimento, nem luz.

Assim, a coincidência de dous raios homogêneos pode produzir trevas completas. O resultado seria o mesmo, se um dos raios fosse atrás ou adiante do outro qualquer número impar de undulações. Ainda seria a mesma cousa, se os raios se encontrassem com pequena obliquidade.

Logo, dous raios homogêneos se destroem e produzem trevas, quando se encontrão com pequena obliquidade, e um se atraza ou adianta a respeito do outro um número impar de semi-undulações.

A analyse, que acabâmos de fazer, dos movimentos oscillatorios, que se executão no sentido do raio, se applica, evidentemente, aos que poderião executar-se, perpendicularmente, ao raio, comtanto que se achem no mesmo plano; porque, se estão em planos diferentes, sua composição está sujeita a outras leis.

E', assim, que o principio das interferencias vem a ser uma consequencia necessaria do systema das undulações. Referindo-nos agora á experiencia dos espelhos, poderemos, facilmente, fazer a sua analyse, e reconhecer, que a desigualdade dos caminhos percorridos pelos raios, que vem formar as franjas sombrias e brillantes, pro-luz um atrazo d'um número impar de semi-undulações no primeiro caso, e d'um número par no segundo.

§ IV

FRANJAS PRODUZIDAS PELAS MARGENS DOS ALVOS,
POR CORPOS ESTREITOS RECTILINEOS
E POR ABERTURAS ESTREITAS

Franjas produzidas pelas margens dos alvos.
Deixe-se entrar em uma camara escura um feixe luminoso horizontal, que, primeiramente, atravessa um vidro corado, caia sobre uma lente de outro foco, e vá passar juncto da margem d'um alvo BC , muito delgado, *fig.* 163. Se, em certa distancia, pomos um cartão ou um vidro despolido, observâmos, á direita de ABF , limite da sombra geometrica, uma luz fraca, que vai extinguir-se a uma grande distancia.

A' esquerda, observâmos franjas, alternativamente brilhantes e sombrias. A franja B , a mais proxima da sombra geometrica, é a franja brilhante da primeira ordem; ao lado está a franja sombria O da primeira ordem; podemos assim contar até septe franjas sombrias distinctas. Estas franjas sombrias ou brilhantes são paralelas entre si e á margem do alvo.

As franjas, produzidas pela luz roxa, são mais estreitas e mais proximas da sombra geometrica. D'esta desigualdade de posição e de largura das franjas de diversas côres resulta, que a luz branca não deve produzir franjas, alternativamente, sombrias e brancas, mas sim franjas coradas. Com effeito, a partir da linha AB , a côr

roxa deve ser a primeira a faltar e a côr vermelha a última.

Franjas produzidas por corpos estreitos retilineos. Seja LL' , *fig. 164*, um cabello ou um fio metálico muito fino; AA' é a sombra geométrica. Em $A'C'$ e AC observão-se *franjas exteriores*, que são idênticas ás franjas da experiência antecedente, quando o fio tem muitos millímetros de largura. Entre A e A' observão-se franjas interiores mais apertadas.

Franjas produzidas por aberturas estreitas. Ponha-se, a certa distancia da lente, uma folha metálica, em que se praticou uma abertura rectangular, estreita e parallela á linha luminosa do foco da lente cylindrica.

A *fig. 165* representa as franjas observadas; o feixe é dilatado; á direita e á esquerda estão as franjas, alternativamente, sombrias e brilhantes. Podemos observar franjas da nõa ordem.

As franjas mais largas da luz vermelha são marcadas com a letra R ; as da luz roxa, mais estreitas, são marcadas com a letra V .

A distancia do ponto luminoso á abertura e a grandeza d'esta são os elementos, de que dependem a grandeza e o número das franjas.

§ V

EXPLICAÇÃO DAS FRANJAS POR FRESNEL,
SEGUNDO O PRINCÍPIO DE HUYGENS

Fresnel, para explicar as franjas, admittiu o seguinte principio, devido a Huygens:

As vibrações d'uma onda luminosa em cada um de seus pontos podem ser consideradas, como a resultante dos movimentos elementares, que ali enviariam no mesmo instante, obrando, isoladamente, como centros de vibração, todas as partes d'esta onda, consideradas em qualquer de suas posições anteriores.

Seja, pois, *C*, *fig. 166*, um ponto luminoso, *MAN* uma porção d'uma das ondas expedidas por este ponto: a velocidade, produzida em um ponto *B*, quando esta onda passa por elle, será a mesma que a resultante das acções de todos os pontos d'esta onda, supposta em qualquer de suas posições anteriores.

As seguintes considerações vão mostrar, que basta tomar em linha de conta as partes vizinhas do ponto *A*, situado sobre a linha *CAB*, que une o ponto luminoso *C* com o ponto *B*, de que se tracta.

Com effeito, tomemos tres pontos *a*, *b*, *c*, de maneira que $bb - aB$ seja igual a $cB - bB$, e a uma semi-undulação. Attenta a obliquidade das linhas *aB*, *bB*, *cB*, e a pequenez d'uma semi-undulação relativamente ao comprimento d'ellas, os dous arcos *ab* e *bc* são quasi eguaes,

e os raios, que elles envião ao poncto *B*, sensivelmente parallellos; mas como os raios de *ab* discordão em uma semi-undulação dos raios de *bc*, destruir-se-ão. O mesmo diriamos dos raios, tomados alem de *c*. Assim, a resultante das acções sobre o poncto *B* se reduz á resultante das acções dos ponctos vizinhos da linha, que une este poncto com o poncto luminoso. Quando o movimento da onda é livre, todas as resultantes devem ser eguaes para ponctos equidistantes do poncto luminoso. A luz é uniforme, e não ha nenhum phenomemo particular.

Mas, se ha um corpo opaco *AS*, *fig. 167*, que intercepte a porção *AM* da onda, então a uniformidade da luz desapparecerá, mas sómente para ponctos pouco afastados de *CB*. Com effeito, seja um poncto *U*, situado de maneira que a linha *CEU* atravesse a onda numa distancia, um tanto consideravel do bordo do corpo opaco *AS*: segue-se do que se acaba de dizer, que a luz será uniforme em *U*; as faxas diffractas não devem, pois, extender-se senão a uma fraca distancia do bordo *A*. Agora, seja um poncto *B'*, vizinho de *B*; a luz, que ahi chegar, será modificada pela presença do corpo opaco.

Para conhecer a causa d'esta modificação, supponhamos, que se descreve do poncto *B* um arco de circulo com o raio *BA*, e que se tomão as linhas *aB*, *bB*, *cB*, taes, que duas partes consecutivas na serie *af*, *bg*, *ch*, etc., diffirão uma semi-undulação. Esta construcção mostra, que

1.º ab será maior que bc , bc maior que cd , e assim por diante.

2.º Os pontos, comprehendidos entre a e A , exercem acções conspirantes sobre B : o mesmo para os pontos comprehendidos entre a e b , etc. Mas os primeiros pontos serão discordantes com os segundos, estes o serão com os seguintes, etc. A acção do primeiro arco sobrepujará a do segundo, a do segundo sobrepujará a do terceiro, etc.; porque o primeiro arco é maior do que o segundo, e obra menos obliquamente. Vê-se, pois, que o primeiro arco é que determina o sentido da resultante; de sorte que, se este arco fosse supprimido, o ponto B vibraria em sentido opposto. Assim, a acção do primeiro arco é superior á somma de todos os outros. O mesmo diremos de qualquer arco em relação aos seguintes.

Representemos agora pela unidade a quantidade de luz, expedida por cada metade da onda MAN . Se o bordo do corpo opaco está em a , o ponto B receberá I de luz, mais a que envia o arco Aa , que é maior que I pelo que se acaba de ver. Assim, o ponto B recebe mais luz pela presença do que pela ausencia do corpo opaco.

Se o corpo opaco está em b , o arco ab , que é de signal contrário a Aa , diminuirá a acção d'este último, de sorte que o ponto B receberá menos luz do que no caso precedente, e assim successivamente. Se notâmos, que a linha $Ca + aB$ differe de CB uma semi-undulação, $Cb + bB$ duas semi-undulações, etc., reconhece-

remos, que as franjas brilhantes correspondem aos pontos, para os quaes a linha quebrada, que une o bordo do corpo opaco ao ponto luminoso e com o ponto B , excede, em um numero impar de semi-undulações, a linha recta, que une o ponto luminoso com o ponto B .

As franjas brilhantes da primeira ordem correspondem a $\frac{1}{2}$ undulação; as do segundo a $\frac{3}{2}$, etc.

Quanto ás franjas obscuras, a differença, de que acabámos de falar, corresponde a um numero par de semi-undulações. As franjas obscuras da primeira ordem corresponderão a meia undulação; as da segunda ordem a $\frac{4}{2}$ undulações, etc., ou por outros termos, conservando o corpo AS uma mesma posição (o bordo em a), os pontos $B B''$, para os quaes

$$CaB - CB = \frac{1}{2}l, \quad CaB'' - CB'' = 3\frac{l}{2}, \quad \text{etc.},$$

serão franjas brilhantes, e os $B' B'''$ para os quaes

$$CaB' - CB' = 2\frac{l}{2}, \quad CaB''' - CB''' = 4\frac{l}{2},$$

corresponderão a franjas brilhantes.

§ VI

FRANJAS INTERIORES PRODUZIDAS POR ALVOS
MUITO ESTREITOS (1 A 2^{mm})

Seja F , fig. 168, o foco da lente, EE' o al-

vo, NN' a onda incidente, BB' a sombra geometrica: na parte NE tomem-se pontos. a, b, c, \dots taes que $Pa - PE = Pb - Pa = Pc - Pb = \text{um semi-comprimento de undulação}$. A quantidade de luz, enviada ao ponto P por cada uma das partes da onda, depende, evidentemente, das distancias PE e PE' e da obliquidade dos arcos.

Os arcos Ea e ab são deseguaes, e desegualmente inclinados sobre a linha PE ; por consequencia, seo effeito não pode ser nullo sobre o ponto P . O mesmo diremos de todos os arcos, até aos que forem assaz inclinados para que a differença das acções de dous arcos consecutivos possa reputar-se nulla. Representemos por Pr a resultante da porção EN , e por Pr' a resultante de $E'N'$.

A quantidade de luz, que o ponto P receber, depende da largura e da distancia do alvo ao ponto luminoso, e da posição d'este ponto P . Com effeito, vê-se, primeiramente, que a resultante Pr se afastará tanto mais de PE , quanto mais P se aproximar de B , limite da sombra geometrica. Vê-se, tãobem, que, conservando-se o mesmo ponto P , a resultante estará tanto mais perto de PE , quanto mais perto do alvo estiver o ponto luminoso.

O que acabámos de dizer, applica-se tãobem á segunda porção da linha $E'N'$, cuja resultante é Pr' , só com a differença, que esta resultante se afasta de PE' , quando P se aproxima do bordo B e reciprocamente.

Orá, haverá luz em P , quando estas duas resultantes forem concordantes, e obscuridade, quando forem discordantes.

Para todos os pontos de FMC haverá concordancia. Logo, estes pontos estarão sobre uma franja brilhante: assim, se este alvo é uma pequena lamina circular de metal, haverá no centro da sombra um ponto brilhante, consequencia da theoria precedente, indicada a Fresnel por Poisson; o que foi verificado por uma experiencia de Arago. Á direita e á esquerda d'esta franja central brilhante, haverá franjas, alternativamente, obscuras e brilhantes.

Se o alvo não é assaz estreito, para que a onda, que passa rente com um dos bordos actue sobre a onda, que passa rente com o outro, as franjas exteriores são identicas ás franjas exteriores dos alvos. No caso contrario, apresentam anomalias mais ou menos extraordinarias.

Os fios metallicos muito finos entram na classe dos alvos muito estreitos.

§ VII

FRANJAS PRODUZIDAS POR PEQUENAS ABERTURAS

Segundo a grandeza da abertura, poderemos não observar senão franjas exteriores, ou franjas interiores, ou, simultaneamente, umas e outras.

Franjas exteriores. Estas franjas obtem-se

com aberturas muito estreitas. Tome-se um ponto P , *fig.* 169, sobre o eixo FMP , tal que $PB - PM$ seja igual a uma semi-undulação; não haverá, além do ponto P , franjas interiores sombrias, visto que todas as linhas $P'B$, $P'M$ differirão menos d'uma semi-undulação.

Se, sobre XX , perpendicular a FP , tomámos pontos $O, O' \dots$ taes que $OB' - OB$ seja igual a duas semi-undulações, $O^3B' - O^1B$ igual a quatro semi-undulações, etc., todos os pontos O, O', O'', \dots serão pontos correspondentes das franjas obscuras. Com effeito, dividamos BB' successivamente, em duas partes, em quatro partes, etc., é claro, que, no primeiro caso, a resultante das acções da onda sobre o ponto O , será nulla, que o mesmo será para O', O'', \dots . Assim, todos os pontos, O, O', O'', O''', \dots corresponderão a franjas obscuras: do mesmo modo se demonstraria, que todos os pontos b, b', b'' , para os quaes a differença bB e bB' , $b'B$ e $b'B'$ fosse igual a 3, a 5 etc., semi-undulações, corresponderão a pontos brilhantes.

As franjas sombrias de diversas ordens se movem segundo hyperboles, cujos focos são B e B' , e cujos eixos maiores tem 2 ou 4, ou 6, etc., semi-undulações.

Franjas interiores. Vimos, que, além do ponto P , não haverá franjas interiores; mas, aquem, ha franjas brilhantes obscuras. Com effeito; todos os pontos O, O', O'', O''' , do eixo FP , para os quaes $OB - OM$ ou $OB' - OM, O^1B - O^1M$ ou $O^1B' - O^1M$, etc., são, successiva-

mente, eguaes a 2, a 4... semi-undulações, serão o meio das franjas obscuras, visto que, os abalos, que recebem de cada parte BM ou $B'M$, são destruidos. Os pontos b, b', b'' , para os quaes $bB - bM$ ou $bB' - bM, b'B - b'M$ ou $b'B' - bM...$ forem 3, 5, ... semi-undulações, corresponderão ao meio das franjas brilhantes.

Franjas exteriores e franjas interiores. Estas franjas se produzirão, simultaneamente, quando a abertura for bastante larga, para dar origem a franjas interiores, e assaz estreita, para que a porção da onda, que passa rente com os bordos, tenha acção sensível na sombra do outro bordo.

§ VIII

EFFEITOS PRODUZIDOS PELAS REDES

A transmissão da luz através das redes, formadas, quer por fios parallellos muito finos, separados por intervallos muito pequenos, quer por uma lamina diaphana, sulcada por traços muito finos, dá origem a muito bellos phenomenos, cuja explicação entra na theoria geral, que acabámos de expor, e cuja observação foi feita por Fraunhofer.

Quando não pretendemos conhecer este phenomeno senão d'um modo geral, recebemos em uma camara escura, por uma fenda estreita, um raio solar, e o observámos sobre um cartão, depois de sua passagem através da rede. No cen-

tro está uma imagem branca da fenda, *fig. 170*, de cada lado tudo é necessariamente symmetrico. Depois do espaço negro *A* está um espectro com a côr roxa para dentro e a vermelha para fora; a este espectro corado succede um espaço negro, etc.

Mas, se queremos observar as riscas dos diferentes espectros, é preciso fazer uso d'um bom oculo. Assim, obtemos o intervallo d'uma risca ao eixo do feixe.

Babinet propoz um meio muito simples, que dispensa o oculo. Emprega duas aberturas, para esclarecer a mesma rede. Faz variar a distancia da rede ás aberturas, ou o intervallo d'estas, até obter a coincidencia das mesmas riscas de espectros da mesma ordem, produzidos um á direita da abertura da esquerda, outro á esquerda da abertura da direita. Conhecida a distancia da rede ás aberturas e o intervallo d'estas, determina, facilmente, o angulo do raio da risca com o eixo do feixe.

Frauenhofer descobriu: 1.º que o desvio das mesmas côres está na razão da somma da largura, que comprehende na rede um intervallo obscuro e um intervallo transparente. 2.º que o desvio d'uma côr em qualquer espectro é proporcional á ordem do espectro.

Eis-aqui a explicação d'estes phenomenos, segundo Babinet. Seja *S*, *fig. 171*, um poncto luminoso, *ab*, *cd*, *ef*, etc., as partes opacas, *cb*, *de*, *fg*, etc., as partes transparentes da rede *RR'*, sobre que a luz cae, *C* a posição do

observador. O phenomeno depende da grandeza dos intervallos eguaes ac , ce , etc., compostos d'uma parte opaca e d'uma parte transparente. Tomemos um d'estes intervallos hk , de maneira que a differença das linhas hC e kC seja igual a uma undulação l da luz homogenea, que o poncto S derrama. Descrevamos do poncto S um círculo com o raio hC , kz exprimirá o atrazo de kC sobre hC . Se o intervallo hk fosse livre, é visivel, que nenhum raio d'este espaço chegaria ao olho: com effeito, dividindo hk em duas partes eguaes, e suppondo, que u é o poncto medio, todos os raios da parte uk , chegando ao poncto, estarão atrazados meia undulação a respeito dos da parte hu , e serão destruidos por estes. Se restabelecemos a parte opaca ik , só os raios da parte hi chegarão a C , onde trarão uma luz tanto mais viva, quanto mais igual a hi for ki . Para determinar o angulo, que o raio hC faz com o raio directo, basta advertir, que os triangulos dCk e hkz são semelhantes; o que dá

$$\frac{dk}{Ck} = \frac{kz}{hk} = \text{sen } dCk = \text{sen } d$$

d'onde $\text{sen } d = \frac{l}{c}$;

sendo c igual a hk . Para um espectro da ordem m , teriamos

$$\text{sen } d = \frac{ml}{c}$$

Vê-se, que os raios, para que l é o maior, isto é, os menos refrangíveis, serão os mais desviados: é o que a experiencia indica.

Estas experiencias são muito proprias para fazer conhecer o comprimento l para cada côr, visto que podemos determinar d e c com grande precisão. Com effeito, conhecemos o número das riscas e o intervallo total, que as comprehende, mesmo pela operação, que serviu para traçal-as.

Já indicámos um meio para determinar d ; eis-aqui outro muito facil de executar. Seja uma pequena abertura S , *fig.* 172, vertical em uma placa MN de metal, esteja em R uma rede vertical, que lançará o primeiro espectro da direita sobre um pequeno alvo V (uma agulha ou um fio vertical), isto é, afastaremos ou aproximaremos a rede, até que esta coincidência se dê. Poderemos repetir a experiencia sobre o alvo V' á esquerda, ou medir as distancias VS ou VV' e RS ; o que fornece RV , e, por consequen-

cia, *sen. d.* Supporemos $c = \frac{1^{\text{mm}}}{50}$, e assim temos l .

CAPITULO XXIX

ANNEIS CORADOS

§ I

EXPOSIÇÃO EXPERIMENTAL DOS PHENOMENOS, CONHECIDOS PELO NOME DE ANNEIS CORADOS

Recebendo um feixe elementar em uma camera escura, e dirigindo-o sobre uma lente, posta sobre um vidro plano, observaremos os seguintes factos, *fig. 172.*

O órgão visual, estando situado de modo que não receba senão a luz transmittida pela reflexão, verá uma mancha negra no ponto de contacto dos dous vidros; á roda d'esta mancha está um anel corado; segue-se um anel escuro, ao qual succede um anel corado, e assim por diante. Qualquer que seja a côr do feixe submettido a esta experiencia, observaremos a successão dos aneis corados e obscuros.

Se nos collocâmos, de modo que recebamos a luz por transmissão, a côr observada no ponto de contacto, será a do feixe elementar; seguir-se-á um anel obscuro, depois um anel corado, etc., *fig. 174.*

Para obter um feixe elementar, recebe-se um feixe solar sobre um prisma, e com um cartão

se interceptão todas as côres menos uma: ou, o que é mais simples, faz-se passar a luz solar através d'um vidro corado.

Seria quasi impossivel medir, directamente, as espessuras das laminas de ar, que fornecem os differentes anneis, tanto obscuros como corados; mas, felizmente, basta o conhecimento do diametro para achar as espessuras. Com effeito, seja *MCN*, *fig. 175*, o vidro plano, *ECA* a base inferior do vidro convexo, cujo diametro é *CD*. Se considerâmos dous anneis, cujos raios sejam *BA* e *FG*, as espessuras correspondentes das laminas de ar serão *CB* e *CF*. Ora, por uma propriedade conhecida do circulo, temos

$$BD \times BC = BA^2; \quad FD \times FC = FG^2;$$

d'onde $CB : CF :: BA^2 : FG^2;$

porque as linhas *BD* e *DF*, differindo pouco entre si e sendo factores, podem supprimir-se sem alterar a relação. Resulta d'este cálculo, que as espessuras das laminas de ar estão entre si como os quadrados dos diametros dos anneis. Newton mediu os dos anneis corados reflexos, e achou, que os seus quadrados estavam entre si como os numeros 1, 3, 5, 7, etc.

Os quadrados dos diametros dos anneis corados transmittidos forão achados na razão dos numeros 2, 4, 6, 8, etc. D'aqui se segue, que as espessuras das laminas de ar, proprias para deixarem reflectir uma mesma côr, estão entre

si como os numeros 1, 3, 5, 7, 9, etc.; e que as espessuras das que são proprias para transmittil-as, estão como os numeros 2, 4, 6, 8, 10, etc., serie, em que é preciso comprehender a espessura nulla do centro, sendo a côr sempre transmittida ao poncto de contacto dos vidros. Todos estes numeros são relativos aos ponctos mais brilhantes ou mais obscuros.

As relações são as mesmas para todas as côres e para todas as substancias; mas, para cada côr e cada substancia, o valor absoluto d'uma espessura d'uma ordem determinada se exprime por um número particular. Assim, os aneis formados pela côr vermelha tem os diâmetros sensivelmente maiores que os formados pela côr róxa.

§ II

DETERMINAÇÃO DO VALOR ABSOLUTO DA ESPESSURA DOS ANEIS CORADOS

Pelo cálculo acima exposto e pelo conhecimento do diâmetro da esphera, a que o vidro convexo pertence, determina-se o valor absoluto d'uma espessura para uma côr sujeita à exper-

riencia. Com effeito, uma espessura $CB = \frac{BA^2}{BD}$,

BA é o semi-diâmetro do anel, que se mede directamente, e BD é muito pouco differente do diâmetro da esphera, a que a lente pertence. É assim, que Newton achou, que para um vidro

convexo pertencente a uma esphera de 182 pollegadas de diametro, o primeiro annel obscuro corresponde a uma espessura de $\frac{1}{88739}$ de pollegada.

§ III

EXPLICAÇÃO DOS ANNEIS CORADOS PELA THEORIA
DAS UNDULAÇÕES

É sabido, que, quando um feixe de luz *Si* cae sobre uma lamina transparente, soffre uma reflexão parcial na primeira superficie, outra na segunda, e, finalmente, uma terceira porção atravessa a lamina. Os dous raios, *iC* e *Ci'*, reflectidos um pela primeira superficie, outro pela segunda, são, evidentemente, parallelos. As intensidades d'estas duas luzes reflexas são pouco differentes por causa da fraca espessura da lamina atravessada. Se os dous systemas de undulações coincidem, haverá augmento de luz; se se atrazão um número impar de semi-undulações, haverá obscuridade. Não se considere, para mais simplicidade, senão uma côr elementar, por exemplo, a luz roxa. O feixe reflectido na segunda superficie se atraza uma quantidade proporcional ao dôbro da espessura, que elle atravessou duas vezes.

Designando *e* a espessura, *2e* será o caminho percorrido pelo raio reflectido na segunda superficie; se *l* é o comprimento d'uma undu-

lação no ar, ha obscuridade para $2e = \frac{l}{2}$, isto

é, para uma espessura $e = \frac{l}{4}$; do mesmo modo para

$$2e = \frac{3l}{2} \quad \text{ou} \quad e = \frac{3l}{4};$$

e assim por diante; de sorte que todas as espessuras, para que haverá obscuridade, são

$$\frac{l}{4}, \quad \frac{3l}{4}, \quad \frac{5l}{4}, \quad \frac{7l}{4},$$

e, em geral, para uma espessura igual a um multiplo impar de $\frac{l}{4}$. Haverá luz para

$$2e = 2 \times \frac{1}{2} l \quad \text{ou} \quad e = \frac{2}{4} l,$$

do mesmo modo para

$$2e = 4 \times \frac{1}{2} l \quad \text{ou} \quad e = \frac{4}{4} l$$

e, em geral, para uma espessura igual a um multiplo par de $\frac{l}{4}$.

Do que acabámos de dizer, resulta, que as espessuras, correspondentes a aneis luminosos pela reflexão, estarão entre si como os numeros 0, 2, 4, 6, e que as que correspondem aos aneis escuros, estarão entre si como os numeros 1, 3, 5, 7. Do mesmo modo se acha a explicação dos aneis transmittidos: com effeito, uma porção, que incide sobre uma lamina transparente, a atravessa directamente, outra porção a atravessa depois de duas reflexões em seo interior. Estes dous feixes são parallellos, junctar-se-ão ou se destruirão, segundo houver concordancia ou discordancia entre as ondas, que os produzem.

E' claro, que a obscuridade não deve ser completa, porque os raios reflectidos na segunda superficie soffrem uma perda. O mesmo acontece aos raios transmittidos depois de duas reflexões no interior, comparativamente com os que são immediatamente transmittidos: nunca ha, pela mesma razão, perfeita concordancia. Eis-ahi porque se observão, não aneis sem espessura, mas superficies annulares.

Agora, se examinámos os numeros dados pela theoria para as espessuras das laminas, vemos, que são o inverso dos que a experiencia fornece. Assim, achámos 1, 3, 5, 7, etc., para as espessuras, que dão aneis escuros pela re-

flexão; é o contrário da experiencia: estas espessuras correspondem aos aneis luminosos. Do mesmo modo 2, 4, 6, etc., segundo a theoria, correspondem aos aneis esclarecidos: a experiencia mostra, que são as espessuras dos aneis obscuros.

Young venceu esta difficuldade, como se segue. Quando uma bola em movimento encontra uma bola igual em repouso, communica-lhe todo o seo movimento e fica em repouso. Se a segunda bola tem menos massa, a primeira se move sempre no mesmo sentido, mas com menos velocidade; se a segunda tem mais massa, a primeira toma um movimento em sentido contrário. Assim, as velocidades da primeira bola, depois do choque, são de signaes contrarios nos dous ultimos casos. Appliquemos estas noções à propagação do ether.

Em um meio de densidade uniforme, uma camada de ether põe a camada seguinte em movimento e toma o estado de repouso.

Se a luz vai d'um para o outro meio, as cousas se passam como entre bolas de massas deseguaes; de sorte que a camada, infinitamente delgada, do primeiro meio, que toca no segundo, e que podemos assimilar à primeira bola em movimento, não fica em repouso, depois de ter posto em movimento a camada contigua do segundo meio, por causa da differença de suas massas; se é menos densa do que a camada, que a segue, toma, immediatamente, um movimento retrógrado, que se communica às cama-

das precedentes; haverá reflexão. Se, pelo contrário, é mais denso, conservará um movimento progressivo, que será seguido d'um movimento retrógrado, de sorte que só no fim de meia undulação é que obrará sobre as camadas precedentes, como obrava, immediatamente, no outro caso; haveria, pois, ainda, reflexão; mas as mesmas oscillações no raio reflexo terão lugar nos dous casos em epochas, que differirão meia oscillação.

Estas considerações, applicadas á reflexão da luz, ensinão, que, segundo uma onda luminosa é reflectida para dentro ou para fora d'um meio mais denso, haverá meia undulação de differença nos dous raios reflexos. Poisson foi, depois, levado pela analyse á mesma consequencia.

Nos aneis corados, os dous systemas de ondas, que produzem os phenomenos, serão reflectidos, o primeiro para dentro do vidro superior, e o segundo para fora do vidro inferior; haverá, pois, pelo principio precedente, uma undulação de differença entre estes dous raios. D'aqui se segue, que raios, que concordarão em virtude da differença dos caminhos percorridos independentemente d'esta consideração, estarão, attendendo a ella, em opposição. Portanto, onde deveria haver luz, haverá obscuridade, e reciprocamente; o que se conforma com a observação.

§ IV

EXPLICAÇÃO DOS ANEIS CORADOS PELA THEORIA
DAS EMANAÇÕES

Depois de ter estabelecido as leis experimentaes de todos os phenomenos, que as laminas delgadas apresentam, Newton imaginou uma theoria, que se tornou célebre debaixo do nome de *theoria dos accessos*. Hoje, seria superfluo expor, circumstanciadamente, esta theoria, por estar intimamente ligada com o systema das emanações; mas, parece-nos necessario, fazer conhecer os seus principios, para mostrar, quanto é difficil generalizar ou mesmo exprimir os factos, sem lhe junctar alguma cousa de hypothetico, e para mostrar tãobem, que um systema pode conduzir a resultados importantes, mesmo no caso de ser falso ou incompleto.

Considerando, que, em uma bolha de sabão, em uma lamina de ar comprehendida entre dous vidros, ou em qualquer lamina delgada, esclarecida pela luz homogenea, se vêem, periodicamente, pela reflexão, espaços negros, correspondentes ás espessuras, 0, 2, 4, 6, etc., e espaços brilhantes, correspondentes ás espessuras, 1, 3, 5, 7, etc., Newton havia exprimido este facto, dizendo: a luz tem *accessos de facil reflexão*, porque se reflecte, quando tem atravessado espessuras, 1, 3, 5, 7, etc.; tem tãobem *accessos de facil transmissão*, porque se transmite, quando tem atravessado espessuras, 0, 2, 4,

6, etc.; e estas duas especies de accessos tem o mesmo comprimento ou a mesma duração no mesmo lugar, visto que se succedem, periodicamente, com intervallos eguaes. Assim, seguindo, pelo pensamento, um raio de luz simples ax , *fig. 176*, que acaba de atravessar a primeira superficie ss' d'um meio para se propagar em seo interior de a para x , é preciso conceber, que se toma á entrada um accesso de facil transmissão, este accesso irá crescendo de a para m , em que attinge seo maximo, depois descera de m para b ; então, começará o accesso de facil reflexão, que attingirá seo maximo em n , e que descera de n para c ; depois virá outro accesso de transmissão, passando, successivamente, pelas mesmas phases ou periodos de c para d , e, em seguida, um accesso de facil reflexão de d para e , etc., etc. O espaço, que o raio percorre durante um accesso, é o *comprimento do accesso*; todos estes comprimentos ab , bc , etc., são eguaes.

Posto isto, se o meio, cuja primeira superficie é ss' , tem uma espessura menor que ab , o raio poderá passar alem, por estar em um accesso de facil transmissão, no instante, em que toca na segunda superficie, e passará tanto mais facilmente, quanto mais perto estiver do meio de seo accesso de transmissão. O que acontece, para uma espessura menor que ab , acontece, similhantemente, e pela mesma razão, para as espessuras, comprehendidas entre ac e ad , ae e af , etc. Eis-aquí, porque uma lamina delgada

é negra na incidencia perpendicular, quando sua espessura é menor do que o comprimento d'um accesso, ou quando sua espessura é igual a duas, quatro, seis vezes este comprimento, etc. Pelo contrario, se a espessura da lamina é igual a uma, tres, cinco, etc., vezes o comprimento do accesso, parecerá vivamente corada, porque no momento, em que o raio toca na segunda superficie, está em um accesso de facil reflexão, e se acha, portanto, reflectido.

Na mesma substancia, o comprimento dos accessos augmenta com a obliquidade; e, nas diversas substancias, é na razão inversa dos indices de refracção.

Tal é a theoria, ou antes a ingenhosa hypothese, com que Newton encadeou, com surpreendente rigor, todos os phenomenos, que as laminas delgadas apresentam.

Durante muito tempo, se considerou esta hypothese como uma verdade physica incontestavel. Não é ella — perguntava-se — a expressão geral d'um facto? não é certo, que a luz é, alternativamente, transmittida e reflectida? E' verdade; mas, affirmando, que a luz é, alternativamente, transmittida e reflectida, fazem-se, explicitamente, duas hypotheses; a saber; que a luz é, alternativamente, transmittida em certas espessuras, e que é, alternativamente, reflectida em outras espessuras; e, demais, faz-se, ainda, implicitamente, uma terceira hypothese, a saber, que a primeira superficie não tem nenhuma parte no phenomeno. Ora, vemos, que não ha, com effeito, nem trans-

missão, nem reflexão alternativas, e que os aneis são produzidos pelo concurso de duas reflexões uniformes, que se dão na primeira e na segunda superficie das laminas delgadas.

CAPITULO XXX

POLARIZAÇÃO

§ I

PHENOMENO DA POLARIZAÇÃO

Até aqui, temos visto os raios luminosos conservarem as mesmas propriedades á roda do eixo do feixe: assim, quando representâmos uma superficie plana, obliquamente a um raio de luz, e fazemos gyrar esta superficie em tórno do eixo do feixe, de maneira que fique sempre, igualmente, inclinada sobre elle, as quantidades de luz, reflexa e refracta, são constantes. Em certas circumstancias, porém, os raios de luz adquirem a singular propriedade de deixarem de ser igualmente reflectidos, debaixo do mesmo angulo de incidencia, pelo mesmo corpo; até acontece, que, para certas incidencias, os raios perdem, completamente, a propriedade de se reflectirem; e, quando, perpendicularmente, atravessão crystaes, dotados de dupla refração, em certas posições deixão de fornecer duas imagens.

A luz adquire esta propriedade pela reflexão,

pela refração, e pela dupla refração. Diz-se que a luz tem a propriedade de *se polarizar*.

Malus, que, em 1808, descobriu esta singular propriedade da luz, designou-a pelo nome de *polarização*, em conformidade com uma hypothese, que Newton imaginára, para explicar a refração dupla. Este grande geometra suppunha, que as moléculas luminosas tinham duas especies de polos ou antes faces, com propriedades physicas diferentes; que, na luz ordinaria, as faces da mesma especie das diversas moléculas estavam voltadas em todos os sentidos; mas, que, pela acção do crystal, umas se dispunhão parallelamente á secção principal, outras perpendicularmente, e que o genero de refração, que as moléculas experimentavão, dependia do sentido, em que as moléculas estavam voltadas, relativamente a esta mesma secção.

§ II

POLARIZAÇÃO PELA REFLEXÃO

Se recebemos sobre um espelho *CD*, *fig. 477*, um feixe luminoso, já reflectido por um primeiro espelho *AB* com o angulo de $35^{\circ} 25'$ contado da superficie, e dispomos o segundo de maneira que a incidencia se faça com o mesmo angulo, eis-aqui, o que observãmos, fazendo gyrar o espelho *CD*, de sorte que sempre receba o feixe luminoso com o angulo de $35^{\circ} 25'$: quando as duas reflexões se fazem no mes-

mo plano, a intensidade da luz reflexa chega ao maximo; quando o segundo plano de reflexão é perpendicular ao primeiro, não ha luz reflexa. Ha, pois, duas posições, em que a luz reflexa está no seo maximo, e outras duas, em que desaparece totalmente. Chama-se plano de polarização o plano de reflexão, em que a luz *se polariza*.

O raio polarizado, passando através d'um rhomboide de espatho de Islandia, cuja secção é parallela ou perpendicular ao plano de reflexão, não dá senão uma imagem.

Este raio, recebido, perpendicularmente, sobre uma placa de tormalina, não se transmite, se o eixo d'esta placa é parallelo ao plano de reflexão. Pelo contrario, transmite-se em quantidade tanto maior, quanto mais este eixo se aproxima da perpendicularidade ao plano, de que se tracta.

Um raio de luz, que viesse, directamente, do sol, daria duas imagens através do rhomboide, passaria através da tormalina, e se reflectiria sobre a lamina de vidro.

Assim, tres propriedades principaes caracterizão a luz polarizada pela reflexão.

O apparelho, representado na *fig. 178*, é commo para experiencias d'este genero. Consta d'um tubo de cobre movel sobre uma charneira, e tendo em cada extremidade um vidro despolido com uma das faces enegrecida; circulos graduados, *m* e *n*, indicão o angulo dos dous espelhos; outros dous circulos *A* e *B* fazem conhecer o angulo de cada espelho com o eixo do

tubo, e, conseguintemente, com o feixe luminoso, que lhe é paralelo.

Os effeitos, que obtemos, successivamente, fazendo gyrar o segundo espelho, podem obter-se, simultaneamente, por meio d'uma disposição muito engenhosa, imaginada por Guerard. O feixe, reflectido pelo primeiro espelho, é reflectido sobre um cartão branco, sobre o qual está um cone recto de vidro negro, cujo angulo no vertice é egual a 70° , e cujo eixo coincide com o do tubo; os raios, que chegam ao cone, se reflectem todos com um angulo de 35° , e, por conseguinte, vemos sobre o cartão dous sectores negros, perpendiculares ao plano de reflexão do primeiro espelho, dous sectores brancos, perpendiculares aos primeiros, e, no intervallo, sectores, cuja luz se degrada d'um modo continuo.

§ III

LEI DE BREWSTER SOBRE O ANGULO DE POLARIZAÇÃO

Brewster descobriu uma relação muito importante entre o angulo de polarização e o indice de refração, relação, que permite achar o primeiro, quando o último é conhecido. Esta lei consiste em que, na incidencia correspondente à polarização completa, o raio reflexo é perpendicular ao raio refracto: partindo, pois, da relação $\text{sen } i = n \text{ sen } r$, e designando por θ o angulo de polarização, a contar da normal, teremos, *fig.*

$$179 \quad i = \theta \quad r = 90 - i;$$

$$\text{logo,} \quad \text{sen } \theta = n \cos \theta;$$

$$\text{logo,} \quad \text{tg } \theta = n;$$

ou, contando o angulo a partir da superficie,

$$\text{tg } \theta = 1 : n.$$

Segundo esta lei, o angulo de $35^{\circ} 25'$, dado por Malus para o angulo de polarização do vidro ordinario, é um pouco forte de mais; seria pouco mais ou menos $33^{\circ} 15'$; e $33^{\circ} 26'$ e $33^{\circ} 5'$ para os raios vermelhos e roxos.

A lei de Brewster não é applicavel, quando a reflexão tem lugar na superficie de crystaes, que possuem a dupla refração: para estes corpos ha, provavelmente, uma lei correspondente; mas não é conhecida.

§ IV

POLARIZAÇÃO PELA REFRACÇÃO SIMPLES

Um raio de luz, que atravessa uma lamina de vidro de faces parallelas com a incidencia de $35^{\circ} 25'$, é, parcialmente, polarizado.

A luz transmittida é polarizada em um plano perpendicular ao de incidencia. Reflecte-se sobre uma lamina de vidro com a incidencia de $35^{\circ} 25'$, quando o plano de reflexão é perpen-

dicular ao plano de incidencia, e se transmite, quando estes planos são parallellos; apaga-se em uma placa de tormalina, cujo eixo é perpendicular ao plano de incidencia, e se transmite, quando lhe é parallello.

Com a incidencia perpendicular não ha nenhuma porção de luz polarizada por transmissão.

Arago reconheceu, que a quantidade de luz, polarizada pela reflexão sobre a superficie d'um corpo diaphano, é igual á que se polariza pela refração. O enunciado d'este importante principio pode generalizar-se assim: todas as vezes que a luz se divide em dous feixes (sem que haja absorpção) *a mesma quantidade de luz, que é polarizada em um, se acha polarizada no outro, segundo uma direcção perpendicular.* Verifica-se, fazendo ver, que a reunião do raio transmittido ao raio reflexo dá luz neutra.

Esta lei faz conceber, que, com qualquer angulo de incidencia, deve haver luz polarizada pela refração, visto que a ha pela reflexão. Como para todos os meios submettidos á experiencia, a luz polarizada por uma simples transmissão é sempre mais fraca do que a metade do raio incidente, segue-se, que a polarização não pode nunca ser completa neste caso.

Tãobem resulta das experiencias de Arago, que a luz, que vem dos corpos incandescentes, solidos ou liquidos, é, parcialmente, polarizada pela refração, quando os raios observados formão com a superficie de saida um angulo de

poucos graus. Quanto á luz, que parte dos gazes inflammados, não apresenta, em nenhuma inclinação, vestigios sensiveis de polarização. Arago concluiu d'este facto, que uma porção notavel da luz, que nos faz ver os corpos incandescentes, parte do seo interior. Mostrou, que o mesmo meio de observação se podia applicar ao estudo da constituição physica do sol; e os resultados obtidos vierão confirmar as conjecturas de Bode, de Schöter, de Herschel, sobre a existencia d'uma photosphera gazosa envolvendo o globo solar.

§ V

POLARIZAÇÃO PELA REFRACCÃO DUPLA

A luz, atravessando um crystal dotado de refração dupla, soffre mudança em sua natureza. Com effeito, 1.º se os dous feixes, provenientes d'um primeiro crystal, caem, perpendicularmente, sobre segundo crystal, cujas faces sejam todas parallelas ás do primeiro, assim como as secções principaes, não se observa nova divisão. O feixe, que provém da refração ordinaria do primeiro crystal, se refrange, *ordinariamente*, no segundo, do mesmo modo o feixe extraordinario no primeiro fica extraordinario no segundo.

2.º Quando as secções principaes fazem entre si angulo recto, o feixe, que provém da refração ordinaria do primeiro crystal, é refrangido, *extraordinariamente*, pelo segundo, e re-

ciprocamente. Neste caso, como no precedente, não ha senão duas imagens. Mas, em todas as posições intermedias ás duas precedentes, cada feixe se divide em outros dous no segundo crystal. Faz-se esta experiencia com muito bom effeito, olhando, através dos dous crystaes, para um ponto negro, traçado sobre um papel branco, e fazendo gyrar um dos crystaes, por exemplo, o que está mais perto do olho.

3.º Os dous feixes, produzidos pela transmissão do feixe ordinario através do segundo crystal, não são de igual intensidade senão quando a secção principal do primeiro faz um angulo de 45° com a do segundo: para todas as outras posições, os dous feixes, ou as duas imagens, que elles dão, tem intensidades deseguaes, e até uma d'ellas chega a desvanecer-se inteiramente, quando a secção principal do segundo crystal é parallelá á do primeiro; é a imagem extraordinaria: a imagem ordinaria chega então ao seo maximo brilho. Quando as duas secções principaes fazem angulo recto, a imagem ordinaria desaparece, e a extraordinaria adquire o maximo brilho. E' o inverso para o feixe extraordinario.

Se recebemos, sobre um rhomboide de espatho de Islandia e, perpendicularmente, á sua superficie, um feixe reflectido, por um vidro polido não estanhado, com o angulo de $35^\circ 25'$ contado da superficie, veremos, que ha duas posições, em que este feixe não soffre nenhuma divisão por sua passagem pelo crystal; são as, em

que a secção principal é parallela ou perpendicular ao plano de reflexão. O feixe, transmittido no caso do parallelismo, goza das propriedades do feixe, que chamámos ordinario; o raio, transmittido no caso da perpendicularidade, tem todas as propriedades do feixe extraordinario.

Se fazemos girar o crystal, notámos, que as duas imagens, fornecidas pelo feixe, são de igual intensidade, quando o plano de reflexão faz um angulo de 45° com a secção principal do crystal; que, para as outras posições, as intensidades são deseguaes, e que a desigualdade é tanto maior, quanto mais se afasta de 45° o plano de reflexão. D'estas experiencias resulta, que a luz, reflectida com o angulo de 35° 25° sobre um vidro polido, se comporta, precisamente, como o feixe ordinario saído d'um crystal, cuja secção principal coincidisse com o plano de reflexão. Se o feixe se polarizasse, parcialmente, poderíamos consideral-o como luz natural e luz polarizada. A primeira se dividiria sempre em dous feixes eguaes; a segunda se comportaria, como acabámos de dizer.

As diversas experiencias precedentes mostram, que a luz, modificada pela reflexão debaixo d'uma incidencia particular, ou por sua passagem através d'uma lamina dotada ou não dotada de dupla refração, manifesta propriedades muito differentes, conforme se apresenta uma superficie reflectidora a tal ou tal lado de seus raios. É o que fez dar a estes phenomenos o nome de polarização: assim, um raio polarizado apresenta,

ao longo de cada uma de suas faces, propriedades particulares; entretanto que todas as faces d'um raio ordinario gozão de propriedades exactamente semelhantes. Por isto se suppoz, que um raio de luz ordinaria se compõe, em uma extensão finita, d'uma infinidade de porções infinitamente pequenas, cada uma das quaes está polarizada em um sentido particular, de modo que este raio, por qualquer lado que se considere, apresenta, em um comprimento finito. um número egual de porções infinitamente pequenas. similhantemente polarizadas.

Tem-se convencionado dizer, que o feixe, reflectido pelo vidro com um angulo de $35^{\circ} 25'$, se polariza no plano de reflexão, e que um feixe ordinario, saído d'um rhomboide de espatho de Islandia, se polariza no plano da secção principal.

Por consequência, devemos dizer, que o feixe extraordinario se polariza, perpendicularmente á secção principal; porque vimos, que apresenta neste sentido as mesmas propriedades que o feixe ordinario no plano da secção principal; e que o raio transmittido na primeira experiencia se polariza, perpendicularmente ao plano de reflexão.

Para achar o plano de polarização d'um feixe completa ou parcialmente polarizado, bastará receber este feixe em um rhomboide inclinado de maneira que produza duas imagens eguaes. O plano da polarização será inclinado 45° sobre a secção principal do rhomboide.

Podemos recebê-lo, perpendicularmente a uma lamina de crystal de rocha, talhada parallelamente ao eixo. Faz-se girar, até que a luz se despolarize. O plano da despolarização do feixe se acha a 45° da direcção do eixo da lamina.

§ VI

LEI DE FRESNEL SOBRE A INTENSIDADE DA LUZ REFLECTIDA

Fresnel estabeleceu uma fórmula geral para representar a intensidade da luz reflexa. Esta fórmula é

$$T = \frac{\text{sen}^2(i - r)}{\text{sen}^2(i + r)} \cos^2 A + \frac{\text{tg}^2(i - r)}{\text{tg}^2(i + r)} \text{sen}^2 A \dots (1)$$

A unidade representa a intensidade da luz incidente, T a da luz reflexa, i o angulo de incidencia, r o de refração, A o do plano da polarização da luz incidente com o plano de incidencia ou de reflexão.

A discussão d'esta fórmula é facil.

Em primeiro lugar, suppondo a luz completamente polarizada no plano de incidencia, é $A = 0$; logo, temos

$$T = \frac{\text{sen}^2(i - r)}{\text{sen}^2(i + r)} \dots \dots \dots (2)$$

Se $A = 90^\circ$, e i é o angulo da polarização completa, temos

$$T = 0$$

Se a incidencia i não é a da polarização completa, já não teremos $i + r = 90$; e a fórmula será

$$T = \frac{tg^2(i - r)}{tg^2(i + r)} \dots\dots\dots(3)$$

Sendo $A = 45^\circ$, temos

$$T = \frac{1}{2} \frac{sen^2(i - r)}{sen^2(i + r)} + \frac{1}{2} \frac{tg^2(i - r)}{tg^2(i + r)} \dots\dots\dots(4)$$

Chegamos á mesma fórmula, considerando dous feixes de igual intensidade $\frac{1}{2}$, e polarizados, um no plano de incidencia, outro em um plano perpendicular; porque os dous feixes, caindo com o mesmo angulo, se reflectem com o mesmo angulo, e a intensidade do feixe reflexo seria igual á somma dos segundos membros das equações (2) e (3), multiplicados por $\frac{1}{2}$. Se o feixe incidente não fosse formado senão de luz natural, poderíamos sempre consideral-o como composto de dous feixes polarizados em quaesquer dous planos rectangulares.

Finalmente, supponhamos, na luz incidente, luz polarizada e luz natural (1).

Seja q a quantidade de luz polarizada, $1 - q$

será a quantidade de luz natural. Acabámos de ver, que esta última é a equivalente de dous feixes polarizados em planos rectangulares e

eguaes a $\frac{1-q}{2}$: um d'estes planos pode ser o

plano de incidencia. A fórmula (1) dá a quantidade de luz reflexa polarizada, depois, todavia, da substituição de q a 1.

As fórmulas (2) e (3) dão as quantidades reflexas, de sorte que a somma é igual a

$$T = \frac{1 + q \cos^2 A}{2} \cdot \frac{\text{sen}^2(i-r)}{\text{sen}^2(i+r)} + \frac{1 - q \cos^2 A}{2} \cdot \frac{\text{tg}^2(i-r)}{\text{tg}^2(i+r)}$$

Se fazemos $q=1$, devemos achar e achámos a fórmula (1) relativa á luz completamente polarizada, suppondo, que se tracta d'uma substância, quando polariza completamente a luz. Se $q=0$, achámos a fórmula, dada para a luz polarizada com 45° , ou para a luz natural.

Se a incidencia fosse perpendicular, chegaríamos a

$$T = \left(\frac{1-i}{1+i} \right)^2$$

pela substituição de $i=lr$ por $\text{sen } i = l \text{ sen } r$.

Assim, com a incidencia perpendicular, a quantidade de luz reflexa é a mesma, qualquer que seja o estado da luz.

§ VII

MOVIMENTO DO PLANO POLARIZADO PELA REFLEXÃO

Acontece, que, em geral, o plano da polarização d'um feixe luminoso é mudado pela reflexão.

A fórmula, dada, primeiramente, por Fresnel para o caso, em que o plano da polarização do feixe incidente fosse inclinado 45° sobre o angulo de incidencia, foi generalizado por Brewster. Esta fórmula é

$$A' = \operatorname{tg} A \frac{\cos (i + r)}{\cos (i - r)}$$

designando A o angulo do plano de polarização do feixe incidente com o plano de incidencia, A' o angulo do novo plano, i o angulo de incidencia, r o de refração.

A inspecção da fórmula mostra, que A' é sempre menor que A . Assim, a reflexão aproxima o plano de polarização do plano de incidencia.

Se $i + r = 90^\circ$, achamos $A' = 0$. Assim, com a incidencia da polarização completa, o plano

não muda, qualquer que seja o azimuth do plano da polarização do feixe incidente.

Se supponmos $A' = A$, virá

$$\cos(i + r) = \cos(i - r):$$

esta última egualdade não pode ser satisfeita se não sendo $i = 0$, d'onde

$$r = 0 \quad \text{ou} \quad i = 90^\circ$$

d'onde $\text{sen } r = \frac{1}{n}$

Assim, a reflexão, com a incidencia perpendicular ou parallela, é a unica, que não faz mudar o azimuth do plano de polarização, qualquer que seja o seu valor.

Se $A = 45^\circ$, temos

$$\text{Tg } A' = \frac{\cos(i + r)}{\cos(i - r)}$$

Esta fórmula foi verificada pelas experiencias de Fresnel.

§ VIII

POLARIZAÇÃO POR SUCCESSIVAS REFLEXÕES

Quando um feixe de luz natural se reflecte

com uma incidencia differente da da polarização completa, acha-se, que o feixe reflexo é, parcialmente, polarizado, visto que a imagem, que elle dá, por sua passagem através d'uma tormalina, muda de intensidade com a rotação da placa em seo plano.

De suas experiencias sobre o vidro e sobre a agua, Arago tirou esta consequencia, que, em incidencias egualmente afastadas da incidencia propria á polarização completa, se polarizão quantidades eguaes de luz.

Brewster não admitte luz natural em um feixe reflexo, tudo ahi está polarizado. Considera um feixe de luz d'uma intensidade egual á unidade, como um systema de dous feixes eguaes a $\frac{1}{2}$, polarizados cada um em um plano, fazendo 45° com o plano de incidencia, um á direita, outro á esquerda. Na reflexão, cada um dos planos se aproxima do plano de incidencia: estes tres planos devem coincidir, depois de certo numero de reflexões. Assim, a polarização da luz natural parece completa, depois de cinco reflexões sobre o vidro com a incidencia de 70° .

§ IX

MOVIMENTO DO PLANO DE POLARIZAÇÃO PELA REFRAÇÃO

O plano de polarização pode mudar pela refração como pela reflexão, mas com a differença de se afastar do plano de incidencia ou de

refracção, e de tender a ser-lhe perpendicular: então, a luz transmittida contém luz polarizada, perpendicularmente ao plano de refracção, em quantidade tanto maior, quanto mais consideravel é a incidencia. O effeito observado nestas experiencias é devido á acção das duas faces.

Para estimar a influencia de cada face, é preciso fazer escolha d'um prisma, disposto de maneira que a luz atravesse, perpendicularmente, a face de emergencia. Nesta disposição, a acção da última face é nulla. Brewster deu a fórmula

$$\cot A' = \cot A \cos (i - r).$$

A notação é a mesma que nas equações acima.

Supponhamos, que a luz cae sobre uma lamina de faces parallelas, e que o plano de polarização se inclina 45°: é o caso da luz natural, se esta luz pode ser representada por duas partes eguaes polarizadas em dous planos rectangulares, teremos

$$\cot A = 1,$$

$$\cot A' = \cos (i - r)$$

O feixe cairá sobre a segunda face com este azimuth A' e com a incidencia r ; mas

$$\cos (i - r) = \cos (r - i);$$

assim, teremos

$$\cot A' = \cot A' \cos(i - r) = \cos^2(i - r)$$

Brewster verificou esta fórmula por muitas experiencias sobre o vidro, desde a incidencia 40° até á incidencia 86°, conservando-se constante o plano de incidencia: demais, verificou-a para uma incidencia constante e para um azimuth variavel.

§ X

POLARIZAÇÃO PRODUZIDA POR SUCCESSIVAS REFRACÇÕES

A precedente lei nos ensina, como um feixe de luz natural pode ser polarizado por successivas refracções. Com effeito, visto que um feixe natural d'uma intensidade igual a 1 pode reputar-se composto de dous feixes de intensidade igual a $\frac{1}{2}$ polarizados com angulo recto, um, tendo seo plano de polarização a 45° á direita do plano de refracção, e o outro a 45° á esquerda, é evidente, que, depois das duas refracções através d'uma lamina paralela de vidro, com uma incidencia de 60°, por exemplo. *fig.* 180, o feixe emergente poderá ser considerado como composto de dous feixes polarizados com 50° 7', um á direita e outro á esquerda do plano de refracção. E' este feixe, assim modificado, que vem cair sobre a segunda lamina; e, depois de sua segunda emergencia, cada um de seus planos de polarização terá ainda descripto um certo angulo no mesmo sentido; do mesmo

modo, depois de terceira emergencia, etc., até que, finalmente, seos dous planos sejam exactamente oppostos e coincidentes. Neste termo, não ha mais do que um plano de polarização, e o feixe parece, completamente, polarizado em um plano, perpendicular ao plano de refração. Mas aqui, como na reflexão, bastará, que os planos oppostos de polarização fação, entre si, um angulo bem pequeno, para que a polarização completa pareça, sensivelmente, exacta, ao olho do observador.

Brewster achou, por exemplo, que a luz d'uma vela, a 10 ou 12 pés de distancia, é, completamente, polarizada:

por 8 placas de vidro ou 16 superficies refrangentes, com uma incidencia de	78° 52'
por 24	ou 48 com 61
por 47	ou 94 43 34

A fórmula indica também, que os planos de polarização são, então, sensivelmente, perpendiculares ao plano de refração.

Similhantermente se acha, que cinco placas de vidro ou dez superficies polarizão, completamente, um feixe natural, que as atravessa com a maior obliquidade possivel, etc.

Estes resultados dão uma explicação completa dos phenomenos das pilhas de placas.

§ XI

ACÇÃO MUTUA DOS RAIOS POLARIZADOS

Os raios polarizados deixão de exercer influencia, uns sobre outros, quando são perpendiculares, entre si, seos planos de polarização, quer dizer, deixão de formar franjas, ainda que todas as condições, necessarias para a sua appareção no caso ordinario, estejam escrupulosamente preenchidas. Este facto importante foi estabelecido por experiencias de Fresnel e Arago.

1.^a *experiencia*. Dous feixes de luz, partindo do mesmo puncto luminoso, e passando, cada um d'elles, por uma fenda parallelá á, pela qual o outro passa, atravessem duas pilhas eguaes de laminas transparentes muito delgadas de mica, inclinadas de modo que tornem a polarização quasi completa. Quando os planos, segundo os quaes se inclinão as pilhas, são parallelas, vêem-se as franjas; as quaes se enfraquecem, á medida que estes planos se apartão do parallelismo, e, finalmente, desaparecem, quando são perpendiculares, por maior cuidado que se tenha em compensar a differença de caminho.

2.^a *exp.* Divide-se em duas partes eguaes uma lamina de sulphato de cal ou de crystal de rocha, talhada, parallelamente, ao eixo, e d'uma espessura uniforme. Põe-se cada metade sobre uma das fendas d'um alvo. Em primeiro lugar,

dispõem-se as duas laminas de maneira que os bordos, que erão contiguos, fiquem parallellos; de sorte que os eixos o sejam tãobem. Se fazemos gyrar uma das laminas, vemos o grupo central das franjas enfraquecer-se; e desaparece de todo, quando os eixos das duas laminas são perpendiculares; mas nascem outros dous. Devemos concluir, que os raios, que produzem o grupo central por sua interferencia, não são já capazes de se influenciarem mutuamente. Ora, aqui, como as duas laminas são de igual espessura, e ambas são perpendiculares aos raios incidentes, as franjas centraes devem ser produzidas pelos raios, que experimentarão o mesmo modo de refracção nas duas laminas, visto que, havendo-as percorrido com velocidades eguaes, devem chegar, simultaneamente, ao meio do espaço esclarecido. Assim, estas franjas resultão da interferencia dos raios ordinarios da lamina da esquerda com os raios ordinarios da lamina da direita. Do mesmo modo, para os raios extraordinarios, os primeiros se polarizão segundo a secção principal, os outros em um sentido perpendicular.

3.^a *exp.* Põem-se duas faces parallelas d'um rhomboide de espatho de Islandia; divide-se este crystal em duas partes por um plano, perpendicular ás faces polidas. Se pomos estes rhomboides, um sobre o outro, de maneira que duas faces polidas estejam em contacto, e as secções principaes fação, entre si, um angulo recto, se sobre um d'elles recebemos um raio, perpendi-

cularmente á face polida, é sabido, que não haverá senão duas imagens. A imagem ordinaria do primeiro crystal torna-se extraordinaria, por sua passagem através do segundo crystal, e reciprocamente. Assim, as diferenças de trajecto se achão compensadas nos dous feixes emergentes; os quaes se cruzão com um angulo muito pequeno, e, consequentemente, são proprios para produzir franjas: todavia, Fresnel não as poudé perceber.

Assim, está demonstrado, que dous raios polarizados com angulo recto não podem exercer nenhuma influencia sensivel, um sobre outro, isto é, sua reunião produz sempre a mesma intensidade de luz, qualquer que seja a differença de trajecto dos dous systemas de ondas, que interferem. Se, nestas experiencias, dispomos as cousas, de modo que afastemos os planos de polarização da perpendicularidade, conseguimos sempre fazer desaparecer as franjas.

§ XII

POLARISCOPIOS

Dá-se o nome de polariscopios ou analysadores a instrumentos, destinados a reconhecer, quando a luz está polarizada, e a determinar seo plano de polarização. Descreveremos os principaes.

1.^o *Vidro negro.* No apparelho, representado na *fig.* 181, o vidro negro *m* faz reconhecer, se a

luz está polarizada, recusando reflectil-a debaixo do angulo de polarização, quando o plano de incidencia sobre este vidro é perpendicular ao plano de polarização. O vidro *m* é, pois, um analysador.

Tormalina. O analysador mais simples é uma lamina de tormalina escura, cortada, parallelamente ao seo eixo de crystallização. Este mineral, que é bi-refrangente, tem a propriedade de não deixar passar senão a luz natural, e a luz polarizada, em um plano perpendicular ao seo eixo; mas comporta-se como um corpo opaco a respeito da luz polarizada, cujo plano de polarização seja parallello a este eixo. Para usarmos d'este analysador, interpomol-o ao olho e ao feixe luminoso, que queremos observar, depois fazemos gyrrar, lentamente, a tormalina em seo proprio plano: se, então, o feixe apresenta sempre a mesma intensidade, não contém luz polarizada; mas, se o brilho decresce e cresce successivamente, o feixe contém tanto mais luz polarizada, quanto mais consideraveis são as variações de intensidade, que elle experimenta. No momento do minimo, o plano de polarização é determinado pelo eixo da tormalina e pelo raio visual. E' o raio extraordinario, que passa por uma tormalina, cortada parallelamente ao eixo: o raio ordinario é, completamente, observado, pelo menos, se a tormalina é, sufficientemente, corada.

Prisma bi-refrangente. Com o espatho de Islandia se fazem prismas bi-refrangentes, que

se empregão como analysadores em muitos instrumentos de optica. E' necessario, que estes prismas sejam achromatizados; porque, quando a luz, que os atravessa, não é simples, é decomposta pela refração. Para isso, ajusta-se, ao prisma de espatho, um segundo prisma de vidro, de tal angulo, que, refrangendo a luz em sentido contrario, destrua, pouco mais ou menos completamente, o effeito da dispersão. Obtem-se o maximo de desvio, cortando o prisma bi-refrangente, de modo que suas arestas sejam parallelas ou perpendiculares ao eixo optico do crystal.

Fixado o prisma bi-refrangente á extremidade d'um tubo de cobre, *fig. 182*, reconhece-se, que um feixe luminoso, que se faz passar por este tubo, é, completamente, polarizado, quando, fazendo gyrar o tubo sobre si mesmo, se achão, durante uma revolução completa, quatro posições rectangulares, em que se não devisa senão uma imagem. E' a imagem ordinaria, que desaparece, quando o plano da secção principal é perpendicular ao plano de polarização, e é a imagem extraordinaria, que se apaga, todas as vezes que o plano de polarização coincide com a secção principal. Em todas as outras posições do prisma bi-refrangente, a intensidade relativa das imagens varia. Vê-se, ao mesmo tempo, que o prisma refrangente pode servir, para determinar a direcção do plano de polarização, visto que basta procurar a posição da secção principal do prisma, para a qual, sendo

normal o feixe incidente, a imagem extraordinaria se apaga.

Prisma de Nicol. Nicol imaginou outra disposição, que dá muito mais luz emergente. Corta-se um rhomboide de espatho de Islandia, segundo um plano, que passe por um dos angulos obtusos, dirigido perpendicularmente á secção principal do crystal e á sua face superior, e, com balsamo de Canadá, se unem as duas partes na mesma posição, que tinham antes. Quando se olha, longitudinalmente, através do rhomboide assim preparado, não se vê senão uma imagem; quando se collocão dousapparelhos um diante do outro, se suas secções principaes coincidem, lê-se, facilmente, através, um livro impresso; mas, se suas secções principaes fazem angulo recto, ha completa obscuridade. Este aparelho é preferivel ás tormalinas, por causa da perfeita brancura da luz transmittida, que a côr das tormalinas sempre altera.

A explicação do facto singular, apresentado por um rhomboide de cal carbonatada, disposto, como acabâmos de dizer, resulta de que o indice de refração do balsamo de Canadá 1,549 se comprehende entre os indices 1,654 e 1,483 dos raios ordinarios e extraordinarios, e de que os raios se apresentãc, sobre a camada de balsamo, com um angulo muito grande. Com effeito, quando um raio tende a sair d'um corpo, para passar para um meio menos refrangente, ha um limite do angulo de incidencia, alem do qual a emergencia é impossivel; então, a refle-

xão torna-se total: é o que tem lugar para o raio extraordinario. O seno do angulo limite é igual a $1,483 : 1,549 = 0,9575$; corresponde a um angulo de $73^{\circ} 14'$. Não tendo nunca lugar a reflexão total para o raio ordinario, este raio será o unico transmittido, quando o angulo da face de junção dos dous prismas fizer, com o eixo do prisma total, direcção dos raios incidentes, um angulo menor que $90^{\circ} - 74^{\circ} = 16^{\circ}$.

§ XIII

APPARELHO DE NOREMBERG

NoreMBERG imaginou um aparelho simples, a favor do qual podemos repetir a maior parte das experiencias, attinentes á luz polarizada. Este aparelho consta de duas columnas *b, d*, *fig. 183*, de cobre, que sustentão um vidro não estanhado *n*, movel á roda d'um eixo horizontal. Um pequeno circulo graduado *c* indica o angulo d'este vidro com a vertical. Entre os pés das duas columnas, está um vidro estanhado *p*, fixo e horizontal. Em sua extremidade superior, estas mesmas columnas sustentão um prato graduado *i*, em que pode gyrar um disco circular *o*. Este, em cujo centro ha uma abertura quadrangular, sustenta um vidro negro *m*, fazendo com a vertical um angulo igual ao angulo de polarização. Finalmente, um disco annular *k* pode fixar-se, por meio d'um parafuso de pressão, em diferentes alturas das columnas. Um

segundo anel *a*, sustentado pelo primeiro, pode tomar diferentes inclinações, e sustenta um alvo negro *e* com uma abertura circular no centro.

Fazendo o vidro *n*, com a vertical, um angulo de $35^{\circ} 25'$, isto é, egual ao angulo de polarização do vidro, os raios luminosos *Sn*, que encontram o vidro com este angulo, se polarizam, reflectindo-se na direcção *np* para o lado do vidro *p*, que os reenvia na direcção *pnr*. Depois de ter atravessado o vidro *n*, o feixe polarizado cae sobre o vidro negro *m* com um angulo de $35^{\circ} 25'$, porque este vidro faz, precisamente, o mesmo angulo com a vertical. Ora, se movemos, horizontalmente, o disco *o*, a que está fixo o vidro *m*, este se desloca, ficando sempre com a mesma inclinação; e achão-se duas posições, em que não reflecte o feixe incidente *nr*: é quando o plano de incidencia sobre este vidro é perpendicular ao plano de incidencia *Snp* sobre o vidro *n*. Tal é a posição representada na figura. Em qualquer outra posição, o feixe polarizado é reflectido pelo vidro *m* em quantidade variavel, e o maximo de luz reflectida tem logar, quando os planos de incidencia sobre os vidros *m* e *n* são parallellos entre si. Se o vidro *m* faz com a vertical um angulo maior ou menor que $35^{\circ} 25'$, o feixe polarizado é sempre reflectido em todas as posições do plano de incidencia.

Quando em logar de receber a luz polarizada sobre o vidro negro *m*, se recebe sobre um

prisma bi-refrangente, collocado sobre um tubo *g*, *fig. 184*, não se obtem senão uma imagem, todas as vezes que o plano da secção principal do prisma coincide com o plano de polarização sobre o vidro *n*, e é, então, o raio ordinario, que é transmittido. Também se não vê senão uma imagem, quando o plano da secção principal é perpendicular ao plano de polarização, e é, então, o raio extraordinario, que passa. Em qualquer outra posição do prisma bi-refrangente, vêem-se duas imagens, cuja intensidade varia com a posição da secção principal.

Finalmente, se substituímos uma tormalina ao prisma bi-refrangente, e a fazemos gyrar sobre si mesma, o feixe polarizado se apaga completamente, quando o eixo da tormalina é paralelo ao plano de incidencia *Snp*.

§ XIV

EXPLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO NA THEORIA DAS UNDULAÇÕES

A existencia de raios com propriedades diferentes, em seos diferentes lados, parecia, a Newton, ser uma objecção decisiva contra o systema das undulações; «porque, dizia elle, pressões ou movimentos, propagados d'um corpo luminoso, devem ser eguaes de todos os lados: mas parece, por experiencias feitas sobre dous crystaes, que os diferentes lados dos raios luminosos não têm as mesmas propriedades;» e Huygens

viu-se obrigado a convir em que não podia dar conta d'este facto no systema das undulações. E' que, naquelle tempo, não se concebia no ether outro modo de vibrações senão aquelle, em que os movimentos oscillatorios se executão na direcção da linha de propagação; mas, depois, experiencias concludentes, e os progressos da mechanica analytica, levárão a admittir movimentos vibratorios, perpendiculares a esta linha. Então, tudo se simplifica, e a polarização se liga, naturalmente, com a existencia das ondas luminosas. Um raio natural é um raio, em que os movimentos vibratorios, se fazem na superficie da onda, successivamente, em todas as direcções; e um raio polarizado é aquelle, em que estas vibrações se succedem todas, em um só e mesmo plano, d'onde depende a posição do plano de polarização. Tal é o poncto de partida da theoria de Fresnel.

O que se passa, quando um raio polarizado atravessa um crystal d'um eixo, levou Fresnel a descobrir, que as vibrações do ether se fazem, parallelamente, á superficie da onda. Resulta d'uma lei de Malus, que as velocidades de vibração das particulas de ether, no raio ordinario, são proporcionaes a $\cos \alpha$, e, no raio extraordinario, a $\sen \alpha$, sendo α o angulo do plano de polarização com a secção principal do crystal. A velocidade de vibração do raio incidente parece, pois, decompor-se em outras duas, pela regra do parallelogrammo, como se cada velocidade de oscillação, supposta perpendicular ao

raio, se decompozesse em outras duas perpendiculares entre si, uma, na seccão principal, outra, perpendicularmente a este plano. Parecia, pois, que os movimentos oscillatorios se fazem no sentido perpendicular ao raio. Fresnel e Arago apoiarão com experiencias este modo de ver.

§ XV

EXPLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO PELA REFLEXÃO

O deslocamento do plano de polarização pela reflexão pode servir para explicar a polarização pela reflexão. A experiencia, bem como a theoria, mostra, que o plano de polarização se aproxima do plano de reflexão. A reflexão tem, pois, por effeito aproximar as direcções dos movimentos vibratorios da perpendicular a este plano. Ora, esta influencia deve fazer-se sentir sobre cada vibração, individualmente; actuará, pois, assim, sobre a direcção de cada uma das vibrações, differentemente orientadas, que se succedem num raio natural, e esta direcção se achará para todas aproximada da perpendicular ao plano de reflexão. O raio componente polarizado neste plano exederá, pois, o outro em intensidade. Se, todavia, o raio cae com o angulo de polarização, cada uma das vibrações virá a ser, exactamente, perpendicular ao plano de reflexão; porquanto vimos, que neste caso o raio reflexo se acha polarizado no plano de reflexão, e o raio natural se achará, assim, de todo polarizado.

§ XVI

EXPLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO PELA REFRAÇÃO

Se considerámos um feixe de luz natural, como composto de dous feixes de igual intensidade, polarizada em angulo recto, e se nos referimos ao que se disse no caso da reflexão, teremos, para a intensidade do raio refracto,

$$t = 1 - \frac{1}{2} (a^2 + b^2)$$

Esta fórmula poderia achar-se, como no caso da reflexão, partindo das intensidades calculadas, quando o raio é polarizado no primeiro e no segundo azimuth; mas seria mais complicado.

O feixe parcial, polarizado perpendicularmente ao plano de incidencia, dá um feixe $(1 - b^2)$ mais intenso que o $(1 - a^2)$ que é polarizado neste plano, visto que temos $a^2 > b^2$. As vibrações neste último plano são, pois, mais numerosas que no plano perpendicular; d'ahi a polarização parcial do raio refracto.

O movimento do plano de polarização pode também servir para explicar a polarização pela refração, por meio d'um raciocinio synthetico, semelhante ao que empregámos para a reflexão. Vê-se, que a polarização não poderá ser senão parcial, porque um movimento vibratorio não pode levar-se a ser, exactamente, perpendicular.

lar ao plano de refração, senão quando já se acha perpendicular a este plano no raio incidente.

Podemos, finalmente, calcular os azimuths do plano de polarização dos dous raios parciais, que compõem um raio natural, suppondo, que formão angulos de 45° com o plano de incidencia. Bastará fazer $\alpha = 45^\circ$ na fórmula

$$\cot \alpha = \cos(i - r) \cot \alpha,$$

e virá $\cot \alpha' = \cos(i - r);$

fórmula, que mostra, que α' é sempre maior que $\alpha = 45^\circ$, mas que nunca pode vir a ser egual a 90° . Os planos de polarização dos dous raios serão, pois, simplesmente, aproximados do azimuth de 90° .

§ XVII

POLARIZAÇÃO CHROMATICA

Quando um feixe de luz polarizada atravessa, sob certas condições, uma lamina de substancia bi-refrangente, cortada parallelamente ao eixo, apresenta as mais variadas e vivas côres. Os phenomenos da polarização chromatica forão descobertos por Arago e, especialmente, estudados por Biot. Se, por exemplo, fazemos passar um feixe de raios parallelos e polarizados através d'um rhomboide de espatho calcareo,

cuja secção principal seja parallelá ao plano de polarização, a imagem extraordinária se desvanece; e reaparece, quando pomos diante do rhomboide uma placa crystallizada, dotada de dupla refração, e cuja secção principal não seja nem parallelá nem perpendicular ao plano primitivo de polarização: sua intensidade faz-se mesmo egual á da imagem ordinaria, quando esta secção principal faz um angulo de 45° com o plano primitivo. Neste, como nos outros casos, as duas imagens são brancas, se a placa interposta é assaz espessa; se ella tem, por exemplo, pelo menos, meio millimetro, para o crystal de rocha. Mas quando é mais delgada, as duas imagens apresentam côres complementares, que mudão de natureza com a espessura da lamina, e varião, sómente, de intensidade, quando a fazemos gyrar em seo plano, deixando-a sempre perpendicular aos raios incidentes. As duas imagens complementares tomão seo maior brilho, quando a secção principal da lamina faz um angulo de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, ou $\frac{7}{2}$ quadrantes com a secção principal do prisma. Quando a secção principal da lamina coincide com a secção principal do prisma, ou lhe é perpendicular, não ha senão uma imagem, que é branca: no primeiro caso, é a imagem ordinaria, e, no segundo, é a imagem extraordinária.

Se a secção principal do prisma é perpendicular ao plano primitivo de polarização, observão-se phenomenos analogos, só com a differença, que a imagem ordinaria toma o logar da ima-

gem extraordinaria, e vice versa. Quando a secção principal do prisma não é nem parallela nem perpendicular ao plano de polarização primitiva, ainda se observão os mesmos phenomenos, a saber: uma imagem nulla e outra branca, quando as duas secções principaes do prisma e da lamina são parallelas ou perpendiculares entre si; maximo de brilho nas côres, quando as secções fazem um angulo, medido por um número impar de semi-quadrantes; e sempre as mesmas côres, mais ou menos enfraquecidas, em todas as posições intermedias. Estudando as côres das laminas crystallizadas da mesma substancia e de espessura variavel, Biot reconheceu, que, graduando convenientemente as espessuras, se pode formar uma serie de laminas, que dão, a primeira, o vermelho da primeira ordem; a segunda, o vermelho da segunda ordem; a terceira, o vermelho da terceira ordem; etc.; e comparando estas espessuras diversas, Biot se certificou de que ellas seguem a serie dos numeros naturaes, 1, 2, 3, 4, etc. Por meio d'esta lei simples e notavel, basta, pois, conhecer, em que espessura absoluta se forma, em uma substancia crystallina, uma côr bem definida, para assignar a côr, que será produzida por qualquer outra espessura, ou a espessura, que seria necessaria para produzir uma outra côr dada. Os crystaes d'um eixo podem a este respeito offerrecer muito grandes differenças; porquanto, Biot achou, por exemplo, que uma lamina de cal carbonatada, parallela ao eixo, devia ser dez-

oito vezes mais delgada do que uma lamina de crystal de rocha, tãobem parallela ao eixo, para dar a mesma côr.

Nestas experiencias, faz-se uso de laminas de crystal de rocha ou de cal carbonatada, ou melhor ainda, de laminas de crystaes de dous eixos. Nestes crystaes, a secção principal, analoga à secção principal dos crystaes d'um eixo, passa pela linha intermedia, perpendicularmente às faces da lamina.

§ XVIII

ANNEIS CORADOS DAS LAMINAS CRYSTALLIZADAS

Se dispomos, entre duas laminas de tormalina, uma placa de espatho de Islandia, perpendicular ao eixo, tendo de 1 a 20 ou 30 millimetros de espessura, e olhâmos para ella através da tormalina, observâmos os mais brilhantes phenomenos de coloração. Se, por exemplo, as tormalinas se cruzão, vemos uma cruz negra e uma bella serie de anneis vivamente corados. Se as tormalinas são parallelas, vêmos uma cruz branca e anneis corados complementares dos precedentes; finalmente, se as tormalinas são obliquas, a cruz negra se altera, e os anneis corados se deslôcão. Quando se esclarecem as tormalinas com as diversas côres do espectro, ou quando diante do ôlho se põem vidros, que não deixem passar senão o vermelho, o azul, o verde ou o roxo, todas as outras

côres desaparecem, e então não se divisa mais do que uma serie de anneis, alternativamente, negros e corados com a luz simples incidente, depois uma cruz negra no caso do encruzamento das tormalinas, e uma cruz corada do mesmo modo em seo parallelismo. Os diametros dos anneis crescem com a refrangibilidade da luz, que os produz. A grandeza absoluta dos anneis diminue, á medida que a espessura da placa augmenta; acabão de desaparecer, quando a placa é demaziadamente espessa; comtudo, quando cessâmos de vel-os com a luz branca, podemos ainda descobri-los com a lampada monochromatica, só com a differença de serem mais pequenos e mais apertados. Phenomenos analogos se observão em todos os crystaes d'um eixo; mas o espatho de Islandia é, talvez, o que dá as apparencias mais regulares e mais simples. Egualmente se observa o phenomeno dos anneis corados nos crystaes de dous eixos.

§ XIX

EXPLICACÃO DA POLARIZACÃO CHROMATICA PELA THEORIA DAS EMANAÇÕES

Logo depois da descoberta da polarização chromatica, Biot tractou de explical-a, no systema das emanações, por meio da hypothese da polarização movel, cujas consequencias elle seguiu todas com rara sagacidade. Esta hypothe-

se consiste em admittir, que as particulas de luz simples, cujos polos estão orientados do mesmo modo no raio polarizado incidente, penetrão, primeiramente, na lamnia crystallizada, até certa profundidade e , conservando esta orientação, depois entrão a oscillar d'uma e d'outra parte da secção principal, de modo que executão uma oscillação inteira, emquanto percorrem um espaço igual a $2e$. Se, pois, a espessura da lamina é e , a luz se comporta, como se esta lamina fosse homogenea; se esta espessura é $2e$, o plano de polarização na emergencia se desviará uma quantidade, igual à semi-amplitude das oscillações das particulas; se a espessura é $3e$, o desvio será nullo. D'ahi as differenças de intensidade segundo a espessura, quando se recebem os raios simples sobre um analysador fixo. Os valores de e são differentes para as diversas côres simples; d'onde resulta a coloração da luz branca, sendo differentemente modificada a intensidade de cada um dos raios simples, que a compõem. Esta theoria não dá conta senão, difficultosamente, de grande número de phenomenos, e até falha em muitos casos importantes.

§ XX

EXPLICAÇÃO DA POLARIZAÇÃO CHROMATICA PELA THEORIA DAS UNDULAÇÕES

Young, tendo notado, que os dous feixes polarizados possuião, ao sairem da lamina crystalli-

zada, as mesmas diferenças de caminho que os raios reflectidos na primeira e na segunda superfície das laminas delgadas dando a côr da mesma ordem, procurou ligar os phenomenos da polarização chromatica ao principio das interferencias; mas deixou esta explicação apenas esboçada. Fresnel, adoptando o poncto de partida de Young, conseguiu achar todas as circumstancias dos phenomenos, e apresentou uma theoria plenamente satisfactoria.

Theoria de Fresnel. Eis-aqui, em primeiro lugar, o principio d'esta theoria: um feixe polarizado, que atravessa, normalmente, uma lamina crystallizada, se decompõe em outros dous de intensidade geralmente diversa, que seguem o mesmo caminho, sendo insensivel sua separação por causa da fraca espessura da lamina. Estes feixes possuem velocidades diferentes, de maneira que, á sua saida, as undulações não estão já de acôrdo; as dos raios, que vão mais lentamente, se atrazão a respeito das dos outros raios. Estes dous grupos de raios não podem todavia interferir, porque estão polarizados em angulo recto. Mas, se os levâmos a um mesmo plano de polarização por meio d'um polariscopio, poderão interferir, e o feixe emergente apresentará uma intensidade, que dependerá da differença de caminho dos dous raios á saida da lamina. Quando se opera com a luz branca, sendo deseguaes os comprimentos de undulação dos diversos raios simples, e, por conseguinte, as differenças de caminho, que lhes correspondem,

suas intensidades na emergencia se acharão modificadas em proporções diferentes, e a côr dos que tiverem sido menos enfraquecidos, dominará.

§ XXI

POLARIZAÇÃO ROTATORIA

Dá-se o nome de polarização rotatoria a um phenomeno observado, primeiramente, por Arago em placas de crystal de rocha. Este phenomeno foi, accuradamente, estudado por Biot, e de seu conhecimento se fazem importantissimas applicações. Eis-aqui em que elle consiste essencialmente. Se um raio de luz polarizada atravessa uma placa de crystal de rocha, perpendicularmente ao eixo, de espessura comprehendida entre 1 e 20 ou 30 millimetros, e se observámos este raios com um prisma bi-refrangente achromatizado, vemos, então, duas imagens vivamente coradas e de côres complementares; depois, fazendo gyrar o prisma, as côres mudão, caminhando para uma ou para outra extremidade do espectro, sem deixarem de ser complementares. Se a placa dá a côr verde, por exemplo, quando a secção principal do prisma está no plano primitivo de polarização, vel-emos passar do verde para o azul, para o anilado, etc., voltando o prisma para a direita, entretanto que, para outra placa verde, será preciso, voltar o prisma para a esquerda, a fim de

obter os mesmos resultados. Se, em vez de empregarmos a luz branca, empregámos a luz homogenea, reconhecemos, que o raio, depois de ter atravessado a placa, está ainda polarizado; mas, seo plano de polarização acha-se deslocado, gyrou certo número de graus para a direita ou para a esquerda. Assim, com a incidencia perpendicular, o crystal de rocha perpendicular ao eixo tem a propriedade de fazer gyrar o plano de polarização: umas amostras o fazem gyrar para a direita e outras para a esquerda. Estudando estes phenomenos, Biot estabeleceu as leis seguintes:

1.^a Para todas as placas tiradas d'um mesmo crystal, a rotação do plano de polarização é proporcional á espessura.

2.^a Quer o crystal gyre para a direita, quer para a esquerda, a mesma espessura dá, proxivamente, a mesma rotação.

3.^a Nas diversas côres, a rotação augmenta com a refrangibilidade: os angulos de rotação, para uma placa d'um millimetro, são os seguintes:

Vermelho extremo	17°	30'
Limite do alaranjado	20	29
do amarello	22	19
do verde	25	40
do azul	30	3
do anilado	34	34
do roxo	36	22
Roxo extremo	44	5

Quando muitas laminas de crystal de rocha

estão sobrepostas, o effeito total é egual á somma dos effeitos produzidos por cada uma d'ellas, se operão no mesmo sentido; ou á differença, se operão em sentido contrário: assim, duas laminas da mesma espessura, gyrando em sentido inverso, não produzem mudança nenhuma no plano de polarização. O quartzo perde seo poder rotatorio, quando é fundido pelo fogo, ou dissolvido por agentes chymicos: este poder depende, pois, do arranjo das particulas ou da crystallização. Devemos advertir, que, na mesma lamina, se achão, ás vezes, partes, em que a rotação é inversa, e outras, em que é nulla.

§ XXII

PODER ROTATORIO DOS LIQUIDOS E DOS GAZES.

APPARELHO DE BIOT

D'entre todas as substancias inorganicas, até hoje estudadas, só o crystal de rocha é capaz de fazer gyrar o plano de polarização; mas a mesma propriedade se encontra em grande número de substancias de origem organica; e são quasi sempre substancias liquidas. Biot reconheceu, que o deslocamento do plano de polarização pode fazer perceber differenças de composição em corpos, em que a analyse chymica não dá nenhuma. Por exemplo, o assucar de uva desloca para a esquerda o plano de polarização, e o assucar de canna o desloca para a direita, se

bem que a composição chymica d'estas duas especies de assucar seja a mesma.

Biot achou, que o poder rotatorio dos liquidos é muito menor que o do quartzo. No xarope concentrado de assucar de canna, por exemplo, que é um dos liquidos dotados de mais alto grau de poder rotatorio, este poder é trinta e seis vezes menor que o do quartzo; d'onde resulta, ser preciso operar sobre columnas liquidas de grande comprimento 20 centimetros pouco mais ou menos.

Apparelho de Biot. A *fig. 185* representa o apparelho, adoptado por Biot para avaliar o poder rotatorio dos liquidos. Em uma gotteira de cobre *g*, fixada a um apoio *r*, está um tubo *d* de vinte centimetros de comprimento, em que se deita o liquido, que se quer subjeitar á experiencia. Este tubo, que é de cobre, é estanhado interiormente, e fechado nas extremidades por vidros de faces parallelas, fixadas por duas virollas de parafusos. Em *m* ha um vidro negro, fazendo com o eixo dos tubos, *b*, *d*, *a*, que é o mesmo para todos tres, um angulo igual ao angulo de polarização, d'onde resulta, que a luz reflectida pelo vidro *m*, na direcção *bda*, está polarizada. No centro do circulo graduado *h*, no tubo *a* e, perpendicularmente, ao eixo *bda*, está um prisma bi-refrangente achromatizado, que se pode fazer gyrrar, á vontade, em tôrno do eixo do apparelho, por meio d'um botão *n*. Este é fixado a uma alidade *c*, que tem um vernier, e que marca o número de

graus andados. Finalmente, em virtude da posição do espelho *m*, o plano de polarização *Sod* do feixe é vertical, e o zero da graduação do circulo *h* está neste plano.

Antes de se pôr o tubo *d* na gotteira *d*, a imagem extraordinaria, fornecida pelo prisma bi-refrangente, se apaga, todas as vezes que a alidade *c* corresponde ao zero da graduação; porque, então, o prisma bi-refrangente está voltado de modo que sua secção principal coincide com o plano de polarização. O mesmo acontece, quando o tubo *d* está cheio de agua ou de qualquer outro liquido *inactivo*, como o alcool, o ether; o que mostra, que o plano de polarização se não voltou. Mas, se enchemos o tubo com uma solução de assucar de canna, ou de qualquer outro liquido *activo*, a imagem extraordinaria reaparece; e, para apagá-la, é preciso fazer andar a alidade um certo angulo para a direita ou para a esquerda do zero, segundo o liquido é dextrogyro ou levogyro; o que demonstra, que o plano de polarização descreveu o mesmo angulo. Com a solução de assucar de canna, a rotação tem logar para a direita; e se, com uma mesma solução, tomâmos tubos mais ou menos longos, achâmos, que a rotação cresce, proporcionalmente ao comprimento, o que é conforme com a segunda lei de Biot; finalmente, se, com um tubo de comprimento constante, tomâmos soluções cada vez mais ricas de assucar, observâmos, que a rotação cresce com a quantidade de assucar dissolvido; d'onde se

vê, que do angulo de desvio podemos deduzir a analyse quantitativa d'uma solução.

Na experiencia, que acabâmos de descrever, importa operar com a luz simples; porque, possuindo poderes rotatorios differentes as differentes côres do espectro, d'aqui resulta, que a luz branca se decompõe, ao atravessar um líquido activo, e que a imagem extraordinaria não desaparece, completamente, em nenhuma posição do prisma bi-refrangente; sómente muda de côr. Para obviar a este inconveniente, põe-se no tubo *a*, entre o orgão visual e o prisma refrangente, um vidro corado de vermelho pelo oxydo de cobre, que não deixa, sensivelmente, passar senão a luz vermelha. A imagem extraordinaria se apaga, pois, todas as vezes que a secção principal do prisma coincide com o plano de polarização do feixe vermelho.

Digamos ainda, que para observar bem, convem, absolutamente, que o tubo, que contém o raio reflexo, o prisma refrangente, que serve para analysal-o, e o experimentador, que o estuda, estejam encerrados em um pequeno gabinete perfeitamente escuro, d'onde não saia senão a extremidade anterior do tubo, a que está adaptado o espelho reflectidor, estando o mesmo orificio de saida, exactamente, fechado sobre todo o contôrno do tubo, pela applicação de muitas dobras de papel negro, de maneira que por alli não possa entrar nenhuma luz.

Recordemo-nos tãobem, que o poder rotatorio molecular d'uma substancia é o arco de des-

vio, que ella imprimiria ao plano de polarização do raio vermelho extremo do espectro, obrando, isoladamente, sobre elle com uma espessura, egual á unidade de comprimento, e uma densidade ideal 1. Biot chama $[\alpha]$ a este poder assim expresso. Concebâmos, que a substancia activa não é observada isoladamente, mas no estado de simples mistura com um liquido inactivo, de sorte que ϵ seja sua proporção ponderavel em cada unidade de massa da solução, seja λ o comprimento do tubo de observação, δ a densidade da mistura, α o arco de desvio impresso ao plano de polarização do raio vermelho, o poder molecular $[\alpha]$ da substancia activa, assim estudada, se obterá pela seguinte fórmula

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{\lambda \epsilon \delta}$$

Nas indagações sobre o poder rotatorio dos fluidos caracteriza-se o sentido dos desvios pela designação do sentido de movimento, que o observador é obrigado a imprimir á alidade movel, para tornar nulla a imagem extraordinaria E , e tornar assim a achar a nova direcção, para a qual o plano de polarização primitivo foi transportado, suppondo sempre, que o ponto O da polarização primitiva foi, previamente, conduzido ao vertice superior do círculo graduado. Dispostas, assim, as cousas, quando o movimento da alidade tem logar da esquerda para a di-

reita do observador, Biot o indicou pelo signal +, juncto ao character $\Rightarrow \rightarrow$; e quando se opera da direita para a esquerda, o designou pelo signal —, juncto ao character $\leftarrow \Leftarrow$.

§ XXIII

APPLICAÇÕES DA POLARIZAÇÃO ROTATORIA

A observação dos poderes rotatorios moleculares pode servir para esclarecer as questões mais abstractas da mechanica chymica. E, assim, que, em muitos casos, fornece characteres moleculares distinctivos entre substancias, que parecem, exactamente, isomericas, quando nos limitâmos a comparal-as segundo as analyses ponderaveis de suas massas sensiveis. Nada ha que seja mais bem definido do que, por exemplo, a distincção entre o acido tartrico e o acido paratartrico, o primeiro, obrando pela rotação sobre a luz polarizada, e communicando este poder a todas as combinações, em que o fazemos entrar; o segundo, quer isolado, quer combinado, mostrando-se absolutamente sem acção. Os oleos essenciaes e suas modificações chymicas offerecem uma multidão de casos semelhantes.

São, tãobem, os processos opticos, que derão as primeiras noções exactas sobre a natureza da substancia, que constitue as feculas extrahidas do tecido cellular de grande numero de vegetaes, e sobre o progresso das transformações chym-

cas, que se lhe podem fazer soffrer artificialmente.

Os phenomenos rotatorios derão á medicinal um meio seguro e facil para reconhecer a existencia e apreciar as diversas phases da diabetes saccharina, fazendo conhecer, em um só relance de olhos, por uma experiencia momentanea, a quantidade absoluta de assucar, actualmente nas urinas em todos os periodos da doença.

Outra observação, que será tãobem muito util, é aquella, pela qual Bouchardat descobriu, que todos os alcalis vegetaes são dotados de poderes rotatorios de diversos sentidos e intensidades; porque, não só, esta propriedade serve para caracterizal-os, visivelmente, e para reconhecer, com facilidade, todas as suas sophisticações, mas, alem d'isso, as modificações temporarias ou duradouras, que lhes fazem experimentar os outros alcalis e os acidos, assim como as diversas combinações, em que se podem fazer entrar, sem que se decomponhão, fornecem uma multidão de experiencias importantes, para esclarecer o mechanismo molecular das acções chymicas.

§ XXIV

SACCHARIMETRO DE SOLEIL.

O Soleil aproveitou a propriedade rotatoria dos liquidos, descoberta por Biot, para construir

um aparelho, destinado a analysar as substancias sacchariferas, d'onde o nome de *saccharimetro*, dado a este aparelho, *fig.* 186. Em *n*, *p*, *a*, *L*, está a secção de todas as peças que elle contém.

O tubo *F*, cheio da solução saccharina, está disposto entre dous diaphragmas furados, um, *D*, fixo, e o outro *D'*, podendo afastar-se do primeiro, para o lado do qual volta, obedecendo a uma mola, cuja secção se acha em *p*, de sorte que mantem o tubo e facilita sua installação. A luz incidente é polarizada por um prisma achromatizado *c*, sendo uma das imagens interceptada por um diaphragma. Em *p* está um bi-quartzo de rotações inversas, cuja linha de rotação é vertical; está representado de face em *bd*; a metade *d* é dextrogyra, e a metade *g* levogyra. A luz, depois de ter atravessado o bi-quartzo *p*, depois o tubo *T*, chega a uma placa de quartzo *q*, perpendicular ao eixo: atravessa, em seguida, um compensador *r*, é analysada pelo prisma bi-refrangente *a*, e é, finalmente, recebida em um pequeno oculo de Galileo *LL*.

Vê-se, em *RR'*, a secção horizontal do compensador; o qual se compõe de dous prismas de quartzo perpendiculares ao eixo, e de rotação contrária á lamina *q*. Estes prismas podem escorregar, um adiante do outro, no sentido horizontal e em sentido contrário, de maneira que modifique o trajecto da luz em seo interior. O movimento lhes é communicado por meio d'um

rodete dentado, que se faz gyrar pòr meio d'um botão *b*, e que obra sobre duas astes dentadas. Uma escala de marfim *e*, representada à parte em *E*, e um vernier, servem para medir os deslocamentos em sentido inverso dos dous prismas. Quando os zeros da regua e do vernier coincidem, os dous prismas estão fronteiros um ao outro, e a somma de suas espessuras é igual á espessura da placa *q*, cujo effeito rotatorio fica assim annullado. Podemos, então, por meio do parafuso sem fim *v*, dar ao analysador *a* tal posição, que as duas metades da placa de duas rotações *p* apresentem a côr sensível. Se, então, installámos o tubo *T*, as duas metades *g* e *d* apresentam côres muito differentes; e para as reduzir á egualidade, é preciso, por meio do compensador *r*, combinado com a placa *q*, produzir uma rotação inversa da do líquido situado em *T*, quer augmentando a espessura do prisma *r*, quer diminuindo-a, para deixar dominar o effeito da placa *q*. O sentido, em que é preciso fazer andar o vernier sobre a regua, que tem duas divisões em sentido contrário, a partir de zero, indica o sentido da rotação do líquido, e o deslocamento do vernier dá o angulo de desvio, quando se sabe a que espessura de quartzo corresponde uma divisão da regua. Ordinariamente, estas divisões correspondem a decimos de millimetro; o vernier dá ainda os decimos d'estes decimos; de sorte que se avalião os centesimos de millimetro. Basta metade d'esta quantidade para produzir uma differença

de côr apreciavel nas duas metades do bi-quartzizo.

Productor das côres sensiveis. Quando o liquido ou a luz, de que se faz uso, são corados, sua côr vem junctar-se á que é gerada pela polarização, modifica a côr sensivel e é nociva á observação. Para neutralizar esta côr, Soleil juncta á extremidade *k*, em um a peça, que pode gyrar sobre si mesmo por meio d'uma roda dentada *t* e do botão *b*, um prisma bi-refrangente *n* e uma lamina de quartzo *e'*. Esta lamina, achando-se entre dous prismas *n* e *c*, o segundo dos quaes faz o officio de analysador, dá uma côr, que se faz variar, fazendo gyrar o prisma *n*; e achar-se-á sempre uma posição d'este prisma, dando uma côr, que neutralizará, sensivelmente, a do liquido e da luz empregada.

É facil ver, que, exigindo o saccharimetro de Soleil a observação da côr sensivel, os resultados serão exactos, sómente, quando os liquidos empregados dispersarem a luz polarizada segundo a mesma lei. Ora, Biot reconheceu, que é o que, effectivamente, acontece com as soluções saccharinas, ás quaes o aparelho é especialmente destinado.

§ XXV

PHOTOMETRO POLARIZANTE

Babinet imaginou um photometro, fundado

na polarização da luz, que é de grande sensibilidade. Este aparelho é representado durante a experiencia na *fig. 187*, e em planta na *fig. 188*. É formado d'um longo tubo *ah*, *fig. 188*, ao qual está adaptado outro mais pequeno *c*, formando com o primeiro um angulo de $70^{\circ} 50'$, que é o dôbro do angulo de polarização do vidro. Na parte central do aparelho, ha uma pilha de vidros *P*, *fig. 188*, constante de doze laminas sobrepostas e dividindo, em duas partes eguaes, o angulo dos dous tubos. Nos dous tubos, estão laminas de vidro despolido *m* e *n*, destinadas a não deixar passar senão a luz diffusa. Em *cc'* está uma placa de quartzo de dupla rotação.

Finalmente, em *O* está um prisma bi-refrangente e achromatico, que serve para observar as imagens coradas, dadas pelos quartzos *c* e *c'*.

Disposto o aparelho, como a *fig. 187* mostra, o feixe luminoso, que parte de *B*, reflectindo-se na pilha com o angulo $35^{\circ} 25'$, dá um feixe de luz polarizada, que dá ás placas *c* e *c'* côres complementares, por exemplo, vermelho violacio a *c* e verde a *c'*, quando se olha através do prisma bi-refrangente *O*. O feixe luminoso, que parte de *L*, polariza-se pela refração, ao atravessar a pilha *P*. Ora, vimos, que os dous feixes polarizados, um pela reflexão, outro pela refração, tem seus planos de polarização perpendiculares. D'aqui resulta, que os dous quartzos *c* e *c'* são corados respectivamente pelo feixe polarizado, dioptricamente, de côres com

plementares das que são dadas pelo feixe polarizado catoptricamente. Por consequencia, se os feixes B e L , que chegam, separadamente, á pilha, são da mesma intensidade, as placas c e c' parecem brancas; mas, ao contrário, parecem ter as côres complementares, quando os dous feixes são de desigual intensidade.

Basta, pois, para fazer uso do photometro polarizante, aproximar ou distanciar uma das duas luzes, que queremos comparar, até que, olhando através do prisma bi-refrangente O , as duas placas c e c' pareçam brancas. Medindo depois a distancia dos dous lumes á pilha, achamos, que suas intensidades são proporcionaes aos quadrados d'estas distancias, absolutamente como já vimos no artigo photometria.

§ XXVI

ABSORÇÃO DA LUZ POLARIZADA PELOS CRYSTAES

Os crystaes corados gozão, quasi todos, da propriedade, de absorver, desigualmente, a luz homogenea, que os atravessa em diferentes direcções, e, por consequente, de ter na luz branca diferentes côres por transmissão: assim, o chlorureto de palladio, visto no sentido do eixo, é d'um vermelho carregado, e d'um verde brilhante na direcção transversal, o iolito ou dichroïte apresenta o mesmo phenomeno. Esta propriedade tem o nome de *dichroïsmo*. Podemos, facilmente, reconhecer esta desigual absor-

pção, tomando placas bem espessas, que se fação atravessar pela luz polarizada; olhando, directamente, através, as côres não são as mesmas, quando a secção principal é parallela ou perpendicular ao plano primitivo da polarização. A propriedade, que a tormalina, com certa espessura, tem, de absorver toda a luz, polarizada parallelamente à sua secção principal, entra, evidentemente, na classe dos phenomenos de dichroísmo.

FIM DO TOMO SEGUNDO.



INSTITUTO DE CIÊNCIAS VIVAS
INSTITUTO DE CARVALHO

INDICE

Parte segunda

Physica dos imponderaveis

PAG.

Preliminar 1

SECÇÃO I

Optica

Capítulo	I	História da optica	7
		§ I Até ao meado do seculo décimo sexto	»
		§ II Desde o meado do secu- lo décimo sexto até Newton	8
		§ III Desde Newton até aos nossos dias	10
»	II	Importancia do estudo da opti- ca	11
»	III	Hypotheses acerca da luz e sua apreciação	13
		§ I Duas hypotheses	»
		§ II Theoria das undulações	14
		§ III Theoria das emanções	16
		§ IV Appreciação geral das duas theorias	17
»	IV	Classificação dos corpos em relação á luz	18
		§ I Corpos e ponctos lumino- sos. Corpos não luminosos	»

	§ II	Origens ou fontes de luz	20
	§ III	Corpos transparentes e opacos	23
Cap.	V	Ideas geraes sobre a propagação da luz	26
	§ I	Raio, pincel, feixe de luz; foco	»
	§ II	Propagação da luz em meios homogeneos e meios heterogeneos	27
	§ III	Experiencia da camara escura	30
	§ IV	Sombra, umbra, penumbra; reflexo	32
	§ V	Velocidade da luz, medida pelos eclipses dos satelites de jupiter	34
	§ VI	Aberração da luz	36
	§ VII	Apparelho de Foucault para medir a velocidade da luz	38
	§ VIII	Fórmulas, que dão o desvio linear, D , por meio da velocidade da luz e da velocidade do espelho rotatorio	42
	§ IX	Demonstração directa do systema das undulações pelo apparelho de Foucault	44
»	VI	Photometria	45
	§ I	Intensidade da luz em geral	»
	§ II	Leis da intensidade da luz	47
	§ III	Influencia do meio	49
	§ IV	Photometros	50

§ V	Photometro de Rumford	51
§ VI	Photometro de Leslie	52
§ VII	Photometro de Wheatstone	53
§ VIII	Appllicações da photometria	54

Catoptrica

Cap.	VII	Reflexão irregular e reflexão especular. Espelhos. Leis da reflexão	57
	§ I	Reflexão irregular e reflexão especular	»
	§ II	Espelhos	58
	§ III	Leis da reflexão especular	59
»	VIII	Explicação do phenomeno da reflexão da luz	61
	§ I	Explicação da reflexão da luz pela theoria das undulações	»
	§ II	Explicação da reflexão da luz pela theoria das emanações	62
»	IX	Reflexão nos espelhos planos	63
	§ I	Reflexão em um só espelho	»
	§ II	Formação das imagens nos espelhos planos	64
	§ III	Heliostato	66
	§ IV	Goniometro de Charles	68
	§ V	Multiplieidade das ima-	

	gens, produzidas pelos espelhos de vidro	69
	§ VI Multiplicidade das ima- gens entre dous espelhos inclinados ou parallelos en- tre si	71
	§ VII Perspectiva magica	72
	§ VIII Caleidoscopio	73
	§ IX Sextante	74
	§ X Intensidade da luz refle- ctida	76
»	X Reflexão nos espelhos esphe- ricos	78
	§ I Espelhos concavos e con- vexos	»
	§ II Focos dos espelhos con- cavos	79
	§ III Formação das imagens nos espelhos concavos	81
	§ IV Focos dos espelhos con- vexos	83
	§ V Formação das imagens nos espelhos convexos	84
	§ VI Determinação experi- mental do foco principal dos espelhos esphericos	»
	§ VII Regra geral para a con- strucção das imagens nos espelhos esphericos	86
	§ VIII Fórmulas concernen- tes aos espelhos esphericos	37
	§ IX Aberração de espheri- cidade. Catacaustica	94
	§ X Espelhos cylindricos e conicos	97

§ XI Espelhos parabolicos	98
§ XII Pharoos de reflexão	100

Dioptrica

Cap.	XI	Refracção e suas leis	101
	§ I	Phenomeno da refração. Experiencias	»
	§ II	Leis de Descartes	104
	§ III	Indice de refração	106
	§ IV	Angulo limite, reflexão total	107
	§ V	Cálculo do angulo limite	109
	§ VI	A luz não se transmite toda pela refração	110
»	XII	Explicação do phenomeno da refração da luz	»
	§ I	Explicação da refração da luz pela theoria das un- dulações	»
	§ II	Explicação da refração da luz pela theoria das emanações	112
»	XIII	Phenomenos produzidos pela refração	114
	§ I	Refracção astronomica e terrestre	»
	§ II	Miragem	116
»	XIV	Transmissão da luz através de meios limitados por su- perficies planas	119
	§ I	Meios de faces parallelas	»
	§ II	Prismas	121

	§ III Condições de emergência nos prismas	122
	§ IV Condições de emergência no caso de qualquer plano de incidencia	125
	§ V Desvio do plano pelos prismas, desvio minimo	126
	§ VI Anamorphoses dioptricas	129
Capitulo XV	Determinação dos indices de refração	130
	§ I Indice de refração dos solidos	»
	§ II Medição do angulo refrangente do prisma	132
	§ III Indice de refração dos liquidos	133
	§ IV Methodos fundados na reflexão total	134
	§ V Potencia refractiva e poder refrangente	136
	§ VI Indice de refração dos gazes	138
	§ VII Tabella dos indices de refração dos solidos e dos liquidos. Observações	144
	§ VIII Tabella dos indices de refração e das potencias refractivas dos gazes. Observações	146
»	XVI Transmissão da luz através de meios limitados por superficies curvas	149
	§ I Differentes especies de lentes	»

281	§ II	Focos das lentes bi-convexas	151
281	§ III	Centro optico, eixos secundarios	153
281	§ IV	Formação das imagens nas lentes bi-convexas	155
281	§ V	Focos das lentes bi-concavas	158
281	§ VI	Formação das imagens nas lentes bi-concavas	»
281	§ VII	Determinação experimental do foco principal das lentes	159
281	§ VIII	Regra geral para a construcção das imagens nas lentes	160
281	§ IX	Fórmulas relativas ás lentes	161
281	§ X	Aberração de esphericidade. Diacaustica	170
281	§ XI	Uso das lentes; lentes de Fresnel. Pharoes de refração	172
281	» XVII	Refração dupla	173
281	§ I	Phenomeno da refração dupla	»
281	§ II	Phenomenos, que acompanhão a refração dupla	175
281	§ III	Refração dupla dos outros crystaes	179
281	§ IV	Experiencias dos rhomboides suprapostos	182
281	§ V	Experiencia da reflexão na segunda superficie dos corpos duplamente refran-	

	gentes. Prisma de Nicol, tormalina	183
§ VI	Dupla refração do vi- dro comprimido	185
§ VII	Oculo de Rochon	186
§ VIII	Explicação do pheno- meno da refração dupla	190

Chromatica

Cap. XVIII	Decomposição e recomposi- ção da luz	193
§ I	Dispersão, espectro solar	»
§ II	Explicação do espectro	195
§ III	Incompatibilidade do a- longamento do espectro com a igual refrangibilida- de dos raios	196
§ IV	Desigual refrangibilida- de dos raios corados	198
§ V	Recomposição da luz branca	200
§ VI	Homogeneidade das cô- res do espectro	201
§ VII	Precauções para formar um espectro, cujas côres se- jão homogêneas	202
» XIX	Theorias sobre a composição da luz. Côr dos corpos	205
§ I	Theoria de Newton, côres complementares	»
§ II	Regra empirica de New- ton para as côres com- postas	207

	§ III Côr dos corpos	209
	§ IV Côres dos corpos, vistos através dos prismas	211
	§ V Hypothese de Brewster	212
Cap. XX	Riscas do espectro	214
	§ I Descrição das riscas do espectro	»
	§ II Modo de observar as riscas do espectro	215
	§ III Distincção das diversas origens da luz por meio das riscas	216
	§ IV Explicação da producção das riscas do espectro solar	218
	§ V Indices de refração das riscas do espectro	220
	§ VI Espectros fornecidos pelas luzes artificiaes	221
	§ VII Analyse espectral	222
» XXI	Achromatismo	224
	§ I Coefficiente de dispersão, poder dispersivo	»
	§ II Aberração de refrangibilidade	226
	§ III Idea do achromatismo	227
	§ IV Prismas achromaticos	229
	§ V Determinação da relação dos angulos de dous prismas para obter o achromatismo	230
	§ VI Espectro secundario	235
	§ VII Lentes achromaticas	236
» XXII	Propriedades illuminantes,	

	calorificas e chymicas do espectro	238
	§ I Propriedades illuminantes	»
	§ II Propriedades calorificas	239
	§ III Identidade das irradiações calorificas e luminosas	241
Cap. XXIII	§ IV Propriedades chymicas	242
	Effeitos chymicos dos raios luminosos. Photographia	243
	§ I Accões chymicas da luz	»
	§ II Diferença de actividade chymica dos diversos raios luminosos	»
	§ III Identidade dos raios chymicos e dos raios luminosos	245
	§ IV Photographia	246
	§ V Photographia sobre metal ou daguerreotypia	247
	§ VI Substancias acceleratrizes	250
	§ VII Daguerreotypo	252
	§ VIII Photographia sobre papel	253
	§ IX Papel encerado e papel gelatinado	256
	§ X Photographia sobre vidro albuminado	257
	§ XI Photographia sobre colodion	258
	§ XII applicações da photographia	259
	§ XIII applicação da photo-	

	graphia ao levantamento das plantas	262
	§ XIV Registradores photographicos	263
Cap. XXIV	Meteoros dependentes da decomposição da luz	265
	§ I Arco iris	»
	§ II Coroas	269
	§ III Halos	270
	§ IV Parhelios	271
» XXV	Explicação do phenomeno da dispersão da luz	272
	§ I Explicação pela theoria das undulações	»
	§ II Explicação pela theoria das emanções	276
» XXVI	Instrumentos de optica	277
	§ I Fim geral dos instrumentos de optica	»
	§ II Camara escura	278
	§ III Camara clara	280
	§ IV Lanterna magica	282
	§ V Phantasmagoria	»
	§ VI Microscopio simples	284
	§ VII Differentes especies de microscopios simples	286
	§ VIII Microscopio solar	288
	§ IX Megascopio	290
	§ X Microscopio photo-electrico	291
	§ XI Microscopio composto	293
	§ XII Microscopio composto de Amici	295
	§ XIII Amplificação, micrometro	297

	§ XIV Oculares	299
	§ XV Uso do microscopio	301
	§ XVI Determinação dos índices de refração dos líquidos por meio do microscopio	302
	§ XVII História do microscopio	305
	§ XVIII Telescópios	306
	§ XIX Telescópio de Galileu	308
	§ XX Telescópio astronómico	309
	§ XXI Telescópio terrestre	311
	§ XXII Telescópio achromático	313
	§ XXIII Descrição dos telescópios catadioptricos	314
	§ XXIV Comparação das duas espécies de telescópios, dioptricos e catadioptricos	316
	§ XXV Invenção do telescópio	317
Cap. XXVII	Visão	318
	§ I Estructura do olho humano	"
	§ II Particularidades de estrutura do órgão visual nos diferentes animaes	321
	§ III Comparação do órgão visual com um instrumento de optica	323
	§ IV Trajecto da luz no olho	324
	§ V Invenção das imagens	325
	§ VI Distância da vista distincta. Campo da visão	326
	§ VII Adaptação do órgão vi-	

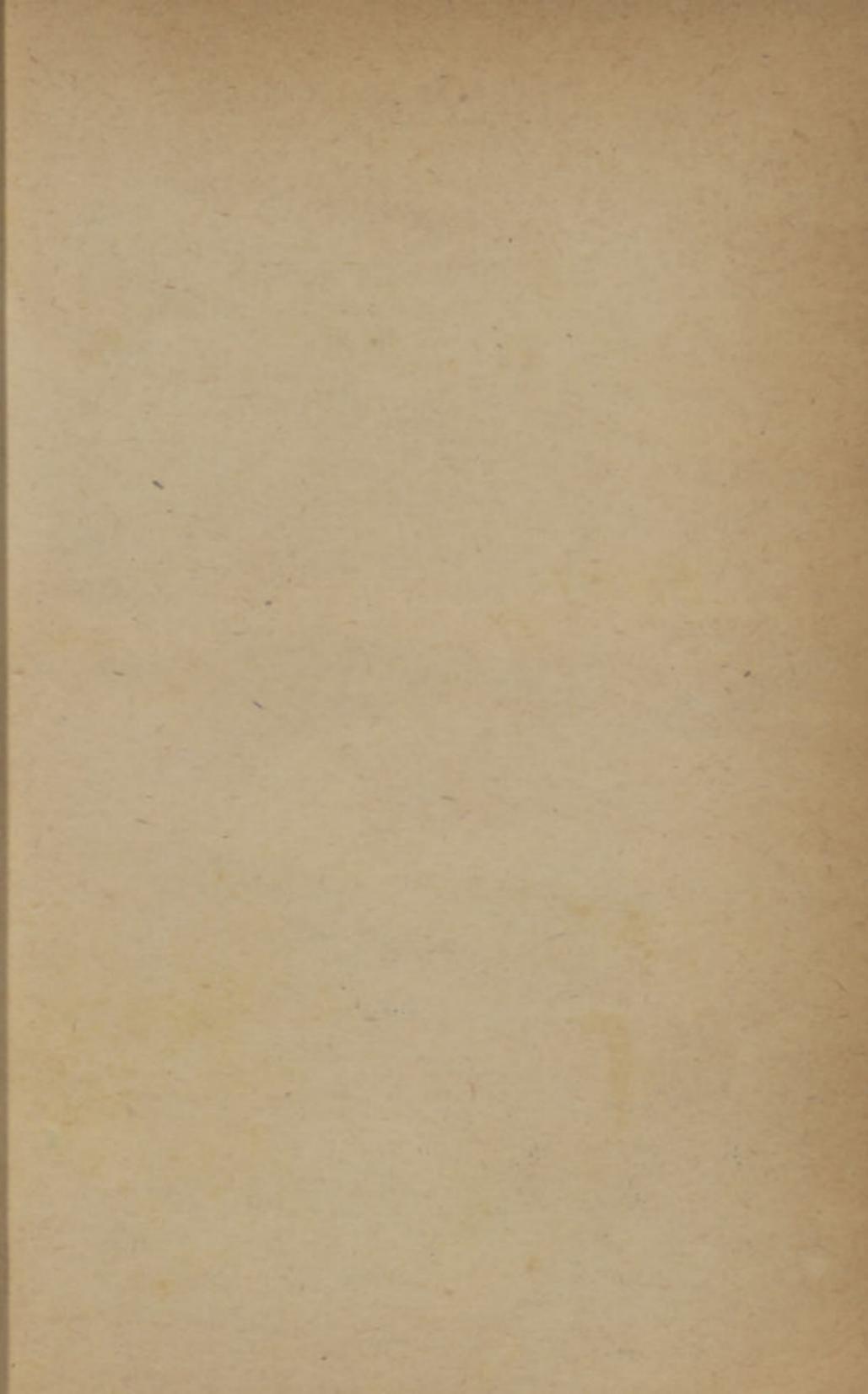
	sual a diferentes distancias	326
§	VIII O órgão visual não é absolutamente achromatico	330
§§	IX Defeitos da visão	332
§§	X Lentes periscopicas	335
§	XI Angulo visual, grandeza apparente	»
§	XII Angulo optico	337
§	XIII Visão simples com os dous olhos	338
§	XIV Influencia dos dous olhos na apreciação do relêvo	340
§	XV Estereoscopios	341
§	XVI Parte insensivel da retina	342
§	XVII Persistencia da sensação da luz	343
§	XVIII Duração da sensação da luz	344
§	XIX Imagens accidentaes	346
§	XX Aureolas accidentaes	348
§	XXI Contraste das côres	349
§	XXII Applicação do contraste das côres	350
§	XXIII Theoria das imagens accidentaes	351
§	XXIV Irradiação	352
»	XXVIII Franjas, interferencia, diffração	353
§	I Experiencia de Fresnel, relativa ás franjas produzidas pelo encontro dos raios reflexos	»
§	II Princípio das interferencias	355

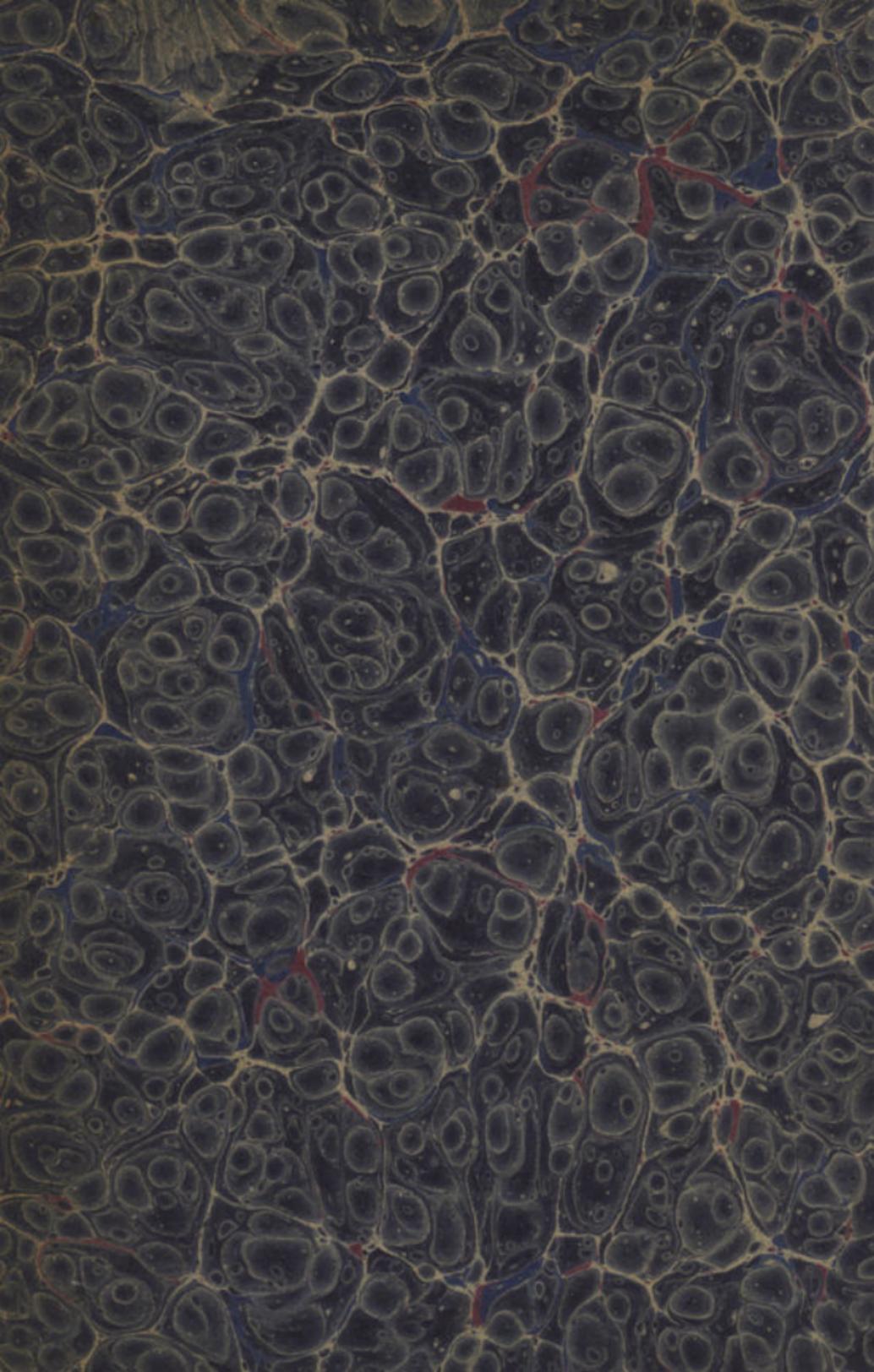
	§ III Explicação do principio das interferencias pela theoria das undulações	360
	§ IV Franjas produzidas pelas margens dos alvos, por corpos estreitos rectilineos e por aberturas estreitas	365
	§ V Explicação das franjas por Fresnel, segundo o principio de Huygens	367
	§ VI Franjas interiores produzidas por alvos muito estreitos (1 a 2 ^{mm})	370
	§ VII Franjas produzidas por pequenas aberturas	372
	§ VIII Effeitos produzidos pelas redes	374
»	XXIX Anéis corados	378
	§ I Exposição experimental dos phenomenos, conhecidos pelo nome de anéis corados	»
	§ II Determinação do valor absoluto da espessura dos anéis corados	380
	§ III Explicação dos anéis corados pela theoria das undulações	381
	§ IV Explicação dos anéis corados pela theoria das emanações	386
»	XXX Polarização	389
	§ I Phenomeno da polarização	»
	§ II Polarização pela reflexão	390

§ III Lei de Brewster sobre o angulo de polarização	392
§ IV Polarização pela refra- cção simples	393
§ V Polarização pela refração dupla	395
§ VI Lei de Fresnel sobre a intensidade da luz reflectida	399
§ VII Movimento do plano polarizado pela reflexão	402
§ VIII Polarização por suc- cessivas reflexões	403
§ IX Movimento do plano de polarização pela refração	404
§ X Polarização produzida por successivas refrações	406
§ XI Acção mutua dos raios polarizados	408
§ XII Polariscopios	410
§ XIII Apparelho de Norem- berg	414
§ XIV Explicação da polari- zação na theoria das undu- lações	416
§ XV Explicação da polariza- ção pela reflexão	418
§ XVI Explicação da polari- zação pela refração	419
§ XVII Polarização chroma- tica	420
§ XVIII Anneis corados das laminas crystallizadas	423
§ XIX Explicação da polari- zação chromatica pela theoria das emanações	424

§ XX Explicação da polarização chromatica pela theoria das undulações	425
§ XXI Polarização rotatoria	427
§ XXII Poder rotatorio dos liquidos e dos gazes. Apparelho de Biot	429
§ XXIII Applicaçào da polarização rotatoria	434
§ XXIV Saccharimetro de Soleil	435
§ XXV Photometro polarizante	439
§ XXVI Absorpção da luz polarizada pelos crystaes	440









RÓ
MU
LO



CENTRO CIÊNCIA VVA
UNIVERSIDADE COIMBRA

1329658173

