

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

REVISTA
DA
FACULDADE DE CIÊNCIAS

VOL. III — N.º 1

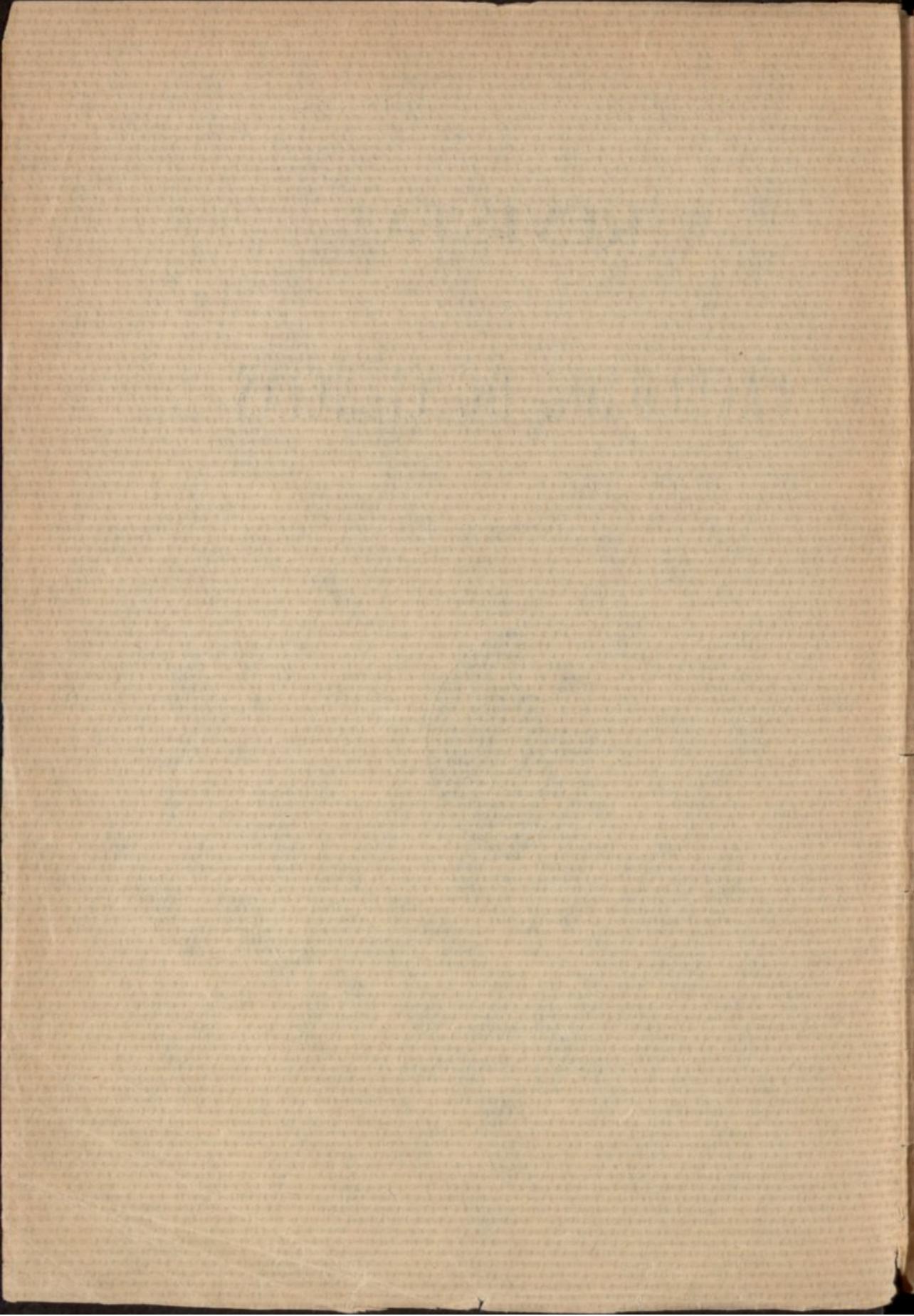


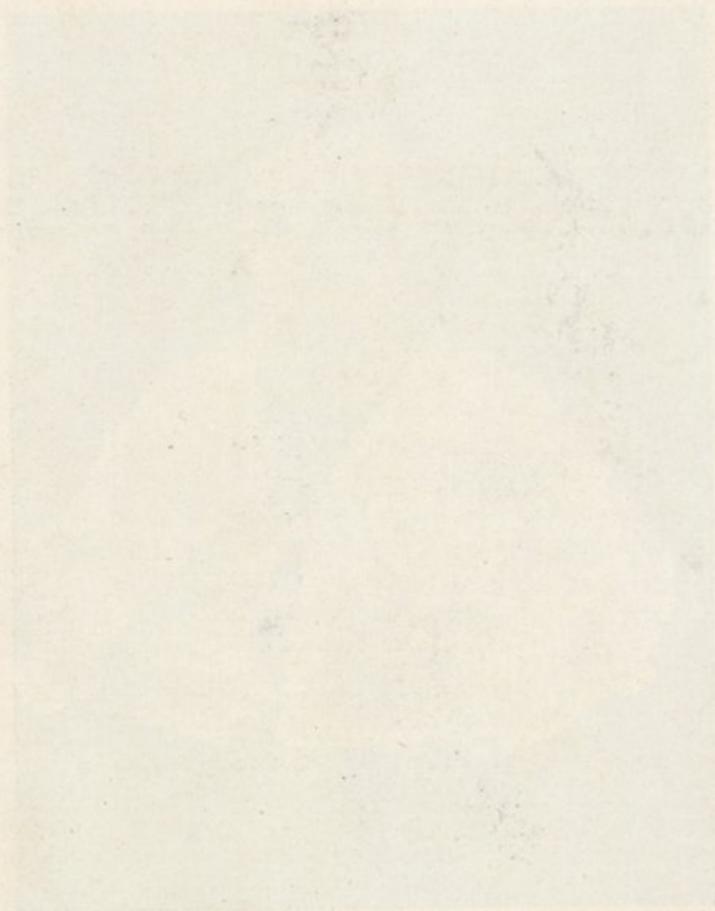
COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1933

A
9
13





THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS



PROF. VÍTOR HUGO DE AZEVEDO COUTINHO

Doutoramento do lente da Escola Naval e professor catedrático contratado da Universidade de Coimbra Vítor Hugo de Azevedo Coutinho

Quando foi criado o curso de Engenheiros Geógrafos junto da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, entendeu o Conselho Escolar desta Faculdade que o bom êxito dessa iniciativa dependia essencialmente do mérito de quem viesse a exercer a regência das duas disciplinas fundamentais do novo curso — Topografia e Geodésia.

Como se perdesse de há muito a tradição destes estudos na Universidade de Coimbra, procurou a Faculdade contratar para êsse fim, dentro das escolas superiores do País, um professor de reconhecida idoneidade e com longa prática do ensino daquella ramo de ciência.

A Faculdade encontrou no Lente da Escola Naval, capitão de mar e guerra sr. Vítor Hugo de Azevedo Coutinho, o colaborador que desejava. Contratado a partir do ano lectivo de 1926-1927, êste professor, pelo seu saber e pelas suas invulgares qualidades docentes, incutiu desde logo notório prestígio ao novo curso, atraindo para êste muitos alunos da Faculdade, que, depois de diplomados, têm merecido os melhores louvores pela perfeição dos trabalhos por êles executados em serviços do Estado ou por encargo de empresas particulares.

Perante os resultados de tão valiosa colaboração, a Faculdade de Ciências de Coimbra, reunida em Congregação do dia 7 de Julho de 1931, procurou premiar os altos serviços prestados à Nação e à Ciência pelo sr. Vítor Hugo de Azevedo Coutinho, conferindo-lhe o grau de Doutor *honoris causa* — a mais elevada dignidade académica que às Universidades é dado outorgar.

A imposição das insígnias doutorais realizou-se, com o antigo

cerimonial universitário, no dia 12 de Junho de 1932, na Sala dos Actos Grandes, em sessão solene presidida pelo venerando Reitor e com a presença do corpo docente da Universidade. Proferiu o elogio académico do Doutorando o professor Dr. Mário Silva. Assistiram o capitão de mar e guerra sr. Fontoura da Costa, delegado da Escola Naval; o Reitor honorário da Universidade do Pôrto sr. Dr. Gomes Teixeira, que expressamente veio a Coimbra para se associar, neste acto festivo, à Faculdade em que foi mestre eminente; o tenente coronel sr. Belisário Pimenta, que representava a *Revista Militar*; representantes das autoridades civis e militares de Coimbra; professores de diversas escolas; estudantes; e muitas outras pessoas, que enchiam por completo a Sala.

A noite o Ex.^{mo} Reitor ofereceu nos Paços das Escolas um banquete em honra do novo Doutor, ao qual assistiram os professores da Faculdade de Ciências de Coimbra, os Ex.^{mos} Directores das outras Faculdades, o representante da Escola Naval sr. Comandante Fontoura da Costa, o sr. Dr. Gomes Teixeira e o Ex.^{mo} Secretário Geral da Universidade.

Reproduz-se, a seguir, o elogio académico pronunciado no acto solene:

+ Ex.^{mo} SENHOR REITOR DA UNIVERSIDADE,
ILUSTRES COLEGAS E DOUTORES,
SENHORES ESTUDANTES,
MINHAS SENHORAS E MEUS SENHORES:

Os trabalhos geodésicos em Portugal têm uma história digna do melhor aprêço e ilustram duas grandes e antigas escolas portuguesas: a Universidade de Coimbra, onde a geodesia se ensina desde a reforma pombalina de 1772, e a Escola Naval que, a-pesar-de ter sido criada apenas em 1845, é no entanto a herdeira das tradições da Academia Real de Marinha, estabelecida no Colégio dos Nobres, em 1779, e da Academia Real dos Guardas Marinhas, fundada em 1796.

Analisando essa história, verificamos, com efeito, que os estudos geodésicos e os respectivos trabalhos de campo, em Portugal, tendo sido iniciados na época afastada — fins do século XVIII — em que elles começavam a desenvolver-se por toda

a parte, puderam acompanhar, entre nós, sem grande atraso, pelo menos na parte que ao nosso país mais interessava, os trabalhos do mesmo género que nos principais países europeus se iam realizando; por outro lado, verificamos também que nesses trabalhos — e vem a propósito recordá-lo neste acto solene — colaboraram e distinguiram-se, por forma notável, professores e doutores da Universidade de Coimbra e professores da Escola Naval.

São conhecidas, minhas senhoras e meus senhores, as circunstâncias a que nós devemos a rápida introdução no nosso país da ciência de medir a terra e os propósitos que animaram os iniciadores dos nossos trabalhos geodésicos. Numa memória notável apresentada em 1841 à nossa Academia das Ciências descrevem-se, por forma sugestiva, estas circunstâncias e estes propósitos. Diz a memória: «o belo resultado das operações de Cassini, imprimindo na Geographia hum gráo de precisão que nunca se pensou obter, suscitou-lhe a idéa de as estender por toda a Europa; e formando o vasto projecto de continuar a sua triangulação por todos os Estados vizinhos da França, dirigio ás diversas Potencias huma memória relativa a este objecto; mas desgraçadamente o amor das sciencias applicadas, estando ainda pouco generalizado, aconteceu ser esta proposta mui diversamente recebida pelos diferentes Governos; huns recusarão-se; outros não responderam; somente o Governo Inglez, logo que conheceo a grandeza do objecto, e as suas muitas utilidades, não teve a mais pequena dúvida em mandá-la pôr em execução, com aquella efficacia, e abundancia de meios, que esta nação esclarecida emprega em tudo que hé applicação de sciencias. Imediatamente ordena, que se forme a triangulação de Londres até Douvres, para ser depois ligada à costa de França; começão-se effectivamente estes trabalhos em 1784... Por esse tempo, achando-se em Inglaterra Luiz Pinto de Sousa Balsemão, encarregado de objectos diplomáticos, homem instruído, e sincero amigo das sciencias, vendo a maneira brilhante como o Governo Inglez recebeu a proposta de Cassini, regressando a Portugal, e sendo nomeado Ministro de Estado, ou porque encontrasse entre nós a mencionada memoria, ou por huma nobre emulação com o Governo Inglez, ou finalmente por zelo e amor das sciencias, que por gosto cultivava, o certo he, que foi ele o primeiro que se lembrou de mandar executar no seu paíz operações geo-

désicas propriamente ditas. Para este fim, chama o Doutor Francisco António Ciera, homem de bastante merecimento, e o encarrega de formar a Triangulação Geral do Reino, de modo que se tirasse dela a duplicada vantagem, de fornecer não só novas bases à theoria da figura da terra, mas principalmente para servir de sólido, unico, e incontestavel fundamento à perfeita construção da Carta Geographica do Reino; nomeou-lhe depois dous Ajudantes, Carlos Friderico de Caula e Pedro Folque; encomendou-se para Inglaterra hum bom Circulo Repetidor de Adams, hum Paralatico do mesmo autor, huma Pendula, e hum Chronómetro; e para França hum Circulo Repetidor de Lenoir, e vários outros instrumentos; e o sábio astrónomo, o Doutor Jose Monteiro da Rocha, se encarregou da invenção das Regoas para a medição das Bases. Estes trabalhos começaram em 1788 e foram consideravelmente aumentados pela decidida protecção e infatigavel zelo de D. Rodrigo de Souza Coutinho».

Nesta descrição com que o autor abre o seu relatório sobre os trabalhos geodésicos effectuados em Portugal até à sua época, indicam-se quatro nomes illustres de sábios portugueses e entre eles sobressaem os de José Monteiro da Rocha e de Francisco António Ciera.

O primeiro, doutor em Matemática, foi professor da Universidade de Coimbra; o segundo, doutor também em matemática, e o primeiro que em Portugal executou trabalhos de campo, foi professor da cadeira de Astronomia na Academia Real de Marinha. Juntamos a estes o próprio autor da memória que acabei de ler a V. Ex.^{as} e que foi sem dúvida um dos melhores organizadores dos nossos serviços geodésicos: Filipe Folque, filho de Pedro Folque, o colaborador do Doutor Ciera. Filipe Folque foi também doutor em Matemática pela Universidade de Coimbra e professor da Academia Real dos Guardas Marinhas.

Mas, minhas senhoras e meus senhores, porque razão, porque motivo uma tão longa digressão pela história dos estudos geodésicos em Portugal? É que eu quis, e muito intencionalmente, frizar aqui, dando-lhe justo e merecido relêvo, a útil colaboração, nos altos estudos geodésicos, desde os seus primeiros tempos, da Universidade de Coimbra com a Escola Naval, para poder agora chamar a atenção de V. Ex.^{as} para esta circunstância extremamente feliz, de mais uma vez podermos ver afirmada uma tal colaboração; devemo-la agora à alta individualidade do

senhor Capitão de mar e guerra Vitor Hugo de Azevedo Coutinho.

Sua Excelência que é lente da Escola Naval, é também hoje professor catedrático contratado da Universidade de Coimbra, onde rege com elevada competência as cadeiras de Geodesia e Topografia que fazem parte do curso de Engenheiros Geógrafos. A Faculdade de Ciências de Coimbra dedica especial atenção ao funcionamento deste curso que se destina a preparar profissionais capazes de desempenharem quaisquer trabalhos geográficos e geodésicos, e que por isso mesmo apresenta, segundo a própria letra do decreto que o criou, as maiores vantagens para um país colonial como o nosso.

Na organização e funcionamento deste curso, tem sido preciosíssima, para a nossa Faculdade, a colaboração do senhor Comandante Azevedo Coutinho. Bastaria a excelência desta colaboração para tornar justa a homenagem que hoje lhe presta a nossa Faculdade de Ciências, entregando-lhe, como outrora a Francisco António Ciera, a Filipe Folque, os dois grandes nomes da Geodesia portuguesa, as insígnias de Doutor em Matemática pela Universidade de Coimbra. Mas, outras razões e outros motivos impõem ainda uma tal homenagem. Em primeiro lugar, dentro da sua especialidade, como homem de ciência, o senhor Comandante Vitor Hugo de Azevedo Coutinho, tem prestado ao seu país assinalados serviços, quer na regência da sua cadeira na Escola Naval, quer no desempenho de honrosas missões: entre estas, devemos citar a que desempenhou como representante do Governo Português numa conferência hidrográfica internacional convocada pelo Almirantado Britânico, em Junho de 1919; e ainda a que desempenhou, como membro duma comissão nomeada para estudar e propor a organização dos serviços hidrográficos do país, promover a execução das resoluções tomadas na citada Conferência Internacional de Hidrografia e dar parecer sobre as propostas que o Comité provisório eleito, na mesma conferência, apresentou relativas à criação dum Bureau Internacional Hidrográfico.

Ainda dentro da sua especialidade, o senhor Comandante Vitor Hugo de Azevedo Coutinho tem dirigido com a maior proficiência trabalhos hidrográficos dos aspirantes de Marinha, tendo feito publicar planos de várias regiões da costa de Portugal. São ainda notáveis os seus trabalhos hidrográficos no Incomati

e Maputo, e de tal maneira notáveis que êles mereceram a distinção dum louvor. Como professor, publicou S. Ex.^a em 1906, um curso excelente de hidrografia e em 1907 umas Tábuas náuticas. Há pouco tempo publicou a notável oração que proferiu por ocasião da abertura dos cursos da Escola Naval, no último ano lectivo, e que é um documento de vasta erudição sôbre o esforço português na cartografia marítima; prepara agora a publicação das suas lições de *Geodésia e Topografia da Universidade de Coimbra*. Como official da nossa marinha de guerra, a sua fôlha de serviços é digna da nossa melhor admiração: fez a campanha de Lourenço Marques de 1894-1895, contra o régulo Gungunhana, tendo obtido a medalha de prata comemorativa da expedição, e a campanha de Gaza, em 1897, tendo sido louvado pela forma como compriu sempre o seu dever.

Em 1919, foi condecorado com o grau de comendador da Ordem Militar de Aviz; no mesmo ano recebeu a Medalha Militar de ouro da classe de comportamento exemplar; em 1923 foi-lhe concedido o grau de Gran-Cruz da Ordem Militar de Cristo e a medalha de ouro de Filantropia e Caridade; neste mesmo ano foi-lhe deferido o requerimento em que pedia para aceitar e usar as insígnias do grau de grande official da Legião de Honra, com que tinha sido agraciado pelo Govérno Francês.

A êste brilhante conjunto de merecimentos e altos serviços prestados ao país, pelo senhor Comandante Vítor Hugo de Azevedo Coutinho, devemos agora acrescentar a sua acção como homem público. Esta acção marca uma forte individualidade, e impõe-se-nos pelo que nela há de elevação moral, de patriótica isenção, de dedicada vontade de bem servir o país. O senhor Comandante Vítor Hugo de Azevedo Coutinho é por isso uma prestigiosa figura da República que merece o respeito e a estima de todos nós. A sua carreira de homem público começa com a sua eleição de deputado às Constituintes de 1911. Em 1914, sendo Presidente da Câmara dos deputados, é nomeado Presidente do Ministério e Ministro da Marinha. Neste tempo estava já declarada a guerra entre a França e a Alemanha, mas Portugal conservava-se ainda neutral. O ministério do senhor Comandante Azevedo Coutinho foi um dos que contribuiu para a nossa participação na Grande Guerra.

Tendo, em virtude de certos acontecimentos políticos, pedido a sua demissão de Presidente do Ministério em 1915, sobraçou

depois, em vários governos a pasta da Marinha e tornou a ser eleito Presidente da Câmara dos Deputados na sessão legislativa que teve o seu início em 24 de Junho de 1915.

Não me pertence a mim, e muito menos neste lugar, fazer a análise da sua acção como Ministro da Marinha ou como parlamentar. Há no entanto um facto que eu não posso deixar esquecido, porque êle permite-nos apreciar, na forte personalidade do senhor Comandante Azevedo Coutinho, o que nela há de mais característico: a sua visão esclarecida dos acontecimentos, dominada por uma superior vontade que sabe impor-se no momento oportuno. Se não fôra uma e outra, talvez que o senhor Comandante de Azevedo Coutinho não tivesse contribuído, como poderosamente contribuiu, na sua qualidade de Ministro da Marinha, para a realização completa da viagem aérea Lisboa-Rio de Janeiro, efectuada por Gago Coutinho e Sacadura Cabral.

Sua Excelência, com a nítida compreensão do que poderia representar para o nosso país a realização duma tal viagem, tudo fez para que ela prosseguisse até final. Sacadura Cabral, no seu relatório sobre a viagem, conta desta maneira a acção do senhor Comandante Azevedo Coutinho: *«Apresentei-me no Ministério da Marinha e S. Ex.^a o Ministro Vítor Hugo de Azevedo Coutinho, sem quasi me deixar expor-lhe o que se passára na viagem aérea em que acabara de tomar parte, perguntou-me o que havia relativamente ao projecto de viagem ao Brazil. Fiz um rápido resumo do assunto, terminando por lhe dizer que o hidro-avião estava em Lisboa, mas que ainda não tinha sido experimentado; que haveria necessidade de efectuar alguns vôos de ensaio e que a viagem, a realizar-se, deveria ser iniciada em época que permitisse estar em Cabo Verde na lua de Abril, visto que o projecto Praia-Noronha teria de ser feito de noite. Passada esta época já o ulisado de SE estaria muito ao norte do Equador, as chuvas teriam começado no hemisfério sul e assim a travessia seria muito mais arriscada. S. Ex.^a mostrou o maior empenho em que a viagem se realizasse e disse-me que me facultaria todos os elementos de que podia dispor. Os factos não vieram desmentir estas palavras e hoje pode dizer-se que, se a viagem se realizou, em grande parte se deve ao Ministro Azevedo Coutinho, pois, a-pesar-de vários contratempos que surgiram, a sua grande vontade de que ela se effectuasse nunca esmoreceu e de todos os meios lançou mão para que ela se completasse»*. Assim fala Sacadura

Cabral. O nome do senhor Vitor Hugo de Azevedo Coutinho está pois ligado a um dos acontecimentos de maior valor da história dos nossos últimos tempos. Foi por este motivo que em Janeiro de 1923 lhe foi concedido o grau da Gran-Cruz da Ordem Militar de Cristo. Não posso terminar a enumeração dos serviços prestados ao país por S. Ex.^a, sem lembrar ainda que de 1923 a 1926 desempenhou um lugar de alta responsabilidade e de confiança do Governó Português: o de Alto Comissário da República na província de Moçambique, onde mais uma vez S. Ex.^a teve ocasião de demonstrar as suas qualidades de eminente homem público.

Tantos merecimentos na pessoa do senhor Comandante Azevedo Coutinho justificam a homenagem que neste momento lhe presta a Faculdade de Ciências, que se sente orgulhosa de o poder contar, de hoje em diante, no número dos seus doutores.

A esta homenagem associa-se na qualidade de Padrinho, o ilustre professor desta Universidade, o senhor Dr. João Pereira da Silva Dias, que é hoje um nome consagrado no nosso professorado de ensino superior.

É-me extremamente grato lembrar, neste momento, que o senhor Dr. Pereira Dias é um dos professores desta Universidade que maior e mais dedicada atenção tem prestado ao curso de Engenheiros Geógrafos que nos trouxe a útil colaboração do senhor Comandante Azevedo Coutinho.

Quando outros motivos não existissem, bastaria êste, para sentir o maior prazer em testemunhar ao seu senhor Dr. Pereira Dias a minha maior estima e dirigir-lhe as minhas cordiais saudações.

SENHOR DIRECTOR DA FACULDADE DE CIÊNCIAS:

Em atenção aos altos merecimentos do insigne doutorando e à consideração que nos merece o padrinho ilustre que o recomenda, tenho a honra de pedir a V. Ex.^a se digne conceder ao senhor Capitão de mar e guerra Vitor Hugo de Azevedo Coutinho o grau de Doutor em Ciências Matemáticas e ordene que lhe sejam entregues as respectivas insígnias.

Disse.

«Les valeurs absolues de la mobilité des ions gazeux dans le gaz purs»

(SUR UNE ARTICLE DE M. BRADBURY)

Dans un article récent ayant pour titre : «*The absolute values of the mobility of gaseous ions in pure gases*» et paru dans la revue américaine de physique *The Physical Review* n.° 4, vol. 40, M. Norris Bradbury prétend expliquer le désaccord qui existe entre certains de ses résultats et ceux que j'ai obtenus concernant l'ionisation de l'azote très pur; il conclut : «*these results and those to follow show in reality that the N_2 was impure and that the Cu was apparently not removing all the oxygen. Similar conditions apply to Luhr's work in argon and probably explain the results of Mario da Silva who believed that attachment might take place between electrons and activated atoms of N and molecules of N_2 . Since the attachment experiments of Cravath had shown that under ordinary conditions electron attachment should not take place in pure nitrogen, the existence of negative ions of a mobility 2,21 gave definite evidence that some impurity was present which could attach electrons*».

Je dois faire remarquer tout d'abord que le travail de M. Norris Bradbury représente, sans conteste, un effort très considérable en vue de mesurer les mobilités des ions gazeux dans des conditions bien définies de pression, de température et de pureté des gaz. Il développe une méthode très précise qui a sûrement l'avantage, sur d'autres méthodes, de posséder un pouvoir de résolution très grand, permettant ainsi de décider s'il existe ou non, dans un gaz pur, la répartition de mobilités qui a été trouvée par M. Laporte pour les gaz non soumis à des purifications spéciales.

Malgré cela, il existe dans le travail de M. Bradbury certains points faibles qui n'ont pas été signalés par lui. Il en résulte

que les considérations développées par l'auteur et les conclusions auxquelles il prétend arriver, méritent une critique assez sévère. J'en profiterai pour montrer qu'on ne peut pas accepter, sans restrictions, certains de ses résultats et en particulier ceux qui sont relatifs à l'azote pur.

M. Norris Bradbury utilise, comme je l'avais moi-même déjà proposé en 1929, une chambre d'ionisation en verre avec un minimum de parties métalliques. L'auteur représente cette chambre par un schéma (fig. 1 a) qui est un peu trop *shématique*. En effet, on ne voit pas très bien comment l'auteur fait la mesure exacte de la pression et maintient cette pression constante pendant les mesures, en même temps qu'il est sûr que le gaz renfermé dans la chambre reste pur, sans contact, par exemple, avec la graisse d'un robinet. Il est vrai que M. Bradbury dit à propos de l'oxygène: «*frozen alcohol was maintained on the trap during the time the gas was in the chamber*». Mais alors, comment fait-il pour mesurer et maintenir la pression constante?

On ne peut accepter les résultats de M. Bradbury et ses nombres, réduits tous à la pression normale et qui sont présentés comme donnant les valeurs absolues des mobilités, qu'à condition d'être assuré sur la précision de toutes ses mesures.

Un autre point qui demanderait à être éclairci, c'est la précision de ses mesures électrométriques. Je doute que le plateau de la chambre d'ionisation relié à l'électromètre et soudé au verre de la chambre, soit suffisamment isolé pour permettre de bonnes mesures électrométriques, le verre n'étant pas, d'ordinaire, un bon isolant.

M. Norris Bradbury utilise sa méthode soit pour les ions positifs, soit pour les ions négatifs, même dans le cas où il y a des électrons libres. Il dit: «*in the case of gases in which free electrons exist, a change in the cycle had to be made shown by the dotted lines in fig. 2. Otherwise, during the time of application δT of the retarding phase for positive ions, the free electrons having an approximate mobility of 10000 cm per sec., would be entirely swept across the field to the upper plate and completely mask the following positive current. Hence it was necessary to insert a small positive potential before the application of δT . This is sufficient to sweep the electrons entirely from the field to the lower plate*».

C'est très bien en ce qui concerne la mesure de la mobi-

lité des ions positifs. Mais pour les ions négatifs la méthode ne peut rien donner lorsque l'affinité électronique du gaz est très petite, comme c'est précisément le cas pour l'azote. En effet, la méthode exige l'application d'un champ de sens contraire au champ favorable, pendant le temps δT et qui est appliqué aussi tôt après l'ionisation du gaz. Or, ce champ entraîne vers le plateau inférieure tous les électrons produits qui n'ont pas le temps de se fixer sur les molécules du gaz.

Cette fixation n'aura lieu, dans la méthode de l'auteur, que dans les gaz à grande affinité électronique. Comment peut donc M. Bradbury conclure de ses expériences que l'azote, par exemple, n'as pas d'affinité électronique? Il le dit pourtant croyant ainsi pouvoir confirmer un résultat analogue de M. Cravath. C'est, peut-on dire, cette croyance qui l'amène à dire que mes résultats s'expliquent par un défaut de purification de l'azote.

Il est curieux de remarquer, d'autre part, que si l'on adopte, ainsi que le fait M. Bradbury, comme critérium de pureté du gaz, l'augmentation de la mobilité de l'ion positif, égal à 1,62 dans un cas et à 2,09 dans un échantillon soumis à une meilleure purification, on est amené à penser que l'azote que j'ai utilisé était plus pur que celui employé par M. Bradbury; en effet, j'ai été conduit par la méthode que je décris dans mon travail, à une valeur de 3,1 pour cette mobilité. Je n'attache pas une grande précision à ce résultat; il indique cependant que l'azote dont je me suis servi, était, du moins, aussi pur que celui purifié par M. Bradbury.

Il est à faire remarquer d'ailleurs que les résultats qui m'ont permis de conclure à une affinité non nulle de l'azote pour les électrons, ont été obtenus dans les mêmes conditions expérimentales que ceux relatifs à l'argon et qui ont montré que pour ce gaz l'affinité était vraiment nulle.

Je ne crois donc pas que le travail de M. Bradbury soit à ce point décisif. J'espère qu'il puisse bientôt arriver, avec les ressources de son excellent laboratoire, à des conclusions plus sûres que celles présentées jusqu'ici.

MÁRIO A. DA SILVA.

(Subsidiado pela Junta de Educação Nacional).

Sur la théorie quantique de l'interaction entre le rayonnement et la matière (1)

La théorie quantique de la structure des atomes a été développée tout à fait du côté de la mécanique: dans la théorie de DE BROGLIE-SCHROEDINGER à l'aide d'une analogie avec l'optique, dans celle de BOHR-HEISENBERG par formulation et perfectionnement du principe de correspondance. Dans tous les deux cas il fallait faire une hypothèse supplémentaire pour avoir information sur les manifestations électriques des atomes; c'est que la *probabilité de transition* était proportionnelle au carré du moment de dipole. Même avec ce complément il y avait un certain nombre de problèmes inaccessibles au traitement théorique, à savoir la largeur naturelle des raies spectrales et les phénomènes y liés.

Dans la théorie classique la largeur naturelle provient, comme on sait, de l'amortissement dû à la radiation. L'énergie émise dans l'espace est retranchée à l'atome, faisant naître un freinage des électrons explicable par une force de friction; cette force introduite dans les équations de mouvement fournit l'amortissement. Un tel procédé est impossible dans la théorie quantique fondée entièrement sur le théorème de l'énergie et applicable seulement aux systèmes conservatifs.

DIRAC (2) dans sa théorie de la dispersion a réussi à trouver la solution par principe: il faut conjoindre l'atome et le champ de rayonnement dans un système commun. Vu que l'énergie émise par l'atome se retrouve dans la radiation, le système total est conservatif et accessible à la quantification. On suppose

(1) Résumé des trois communications de l'auteur *ZS. f. Phys.*, 67, 54, 1931; 72, 68, 1931; 76, 337, 1932, citées dans ce qui suit comme I, II, III.

(2) P. A. M. DIRAC, *Proc. Roy. Soc. (A)* 114, 243, 710, 1927.

pour cela l'atome mis dans une enceinte réfléchissante (év. infinie) et les amplitudes de toutes les oscillations propres de l'enceinte introduites comme variables à côté des coordonnées de l'électron. En admettant alors une interaction appropriée entre les oscillations de l'enceinte et les électrons de l'atome on peut décrire la transition de l'énergie radiante de l'atome à l'enceinte (émission) et le procès inverse (absorption) aux moyens de la mécanique des systèmes conservatifs. La fonction hamiltonienne du système entier est composée simplement de la somme des fonctions hamiltoniennes de l'atome imperturbé, des oscillations de l'enceinte et de l'énergie d'interaction. A l'aide de cette idée DIRAC pouvait fonder systématiquement les formules pour la probabilité de transition spontanée et forcée et traiter le problème de la dispersion dans pleine généralité. On trouve une exécution de ce schéma par moyens élémentaires dans FERMI (1).

Le problème principal dans ces considérations est la découverte de la fonction juste d'action mutuelle, qui règle l'accouplement entre l'atome et le champ de rayonnement. Dans la formulation originaire on calculait comme si l'oscillation du champ électromagnétique se faisait en même phase à tous les points de l'espace. Les électrons se trouvent alors exposés à un champ de variation temporelle harmonique et la description de son interaction peut être déduite de la théorie classique. Il n'y a pas de difficultés pour tenir compte de la variabilité spatiale du champ: on substitue simplement la phase ωt par $\omega \left(t - \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{r}}{c} \right)$. [Le vecteur unitaire \mathbf{s} , ici et dans ce qui suit, signifie la direction de propagation d'une onde; les autres lettres ont le sens usuel]. La considération de la variabilité spatiale devient nécessaire des qu'elle ait une période si courte que le champ ait une fluctuation sensible dans le domaine orbital d'un électron. En effet on peut traiter ainsi la dissipation des rayons X, son effet photoélectrique dans les couches basses de l'atome etc., de bon accord avec l'expérience.

Or d'après l'introduction de la phase spatiale la vitesse de la lumière doit être considérée comme essentiellement finie. Si l'on veut construire une théorie conséquente aussi dans les approximations plus élevées, il faut corriger aussi ses autres

(1) E. FERMI, *Annales Inst. Poincaré*, 1, 53, 1920.

éléments pour un c fini. Le principe conducteur est celui de la relativité, auquel on fait obéir les équations. Ce problème fut résolu dans la plus grande généralité, pour des champs arbitraires et pour un nombre quelconque de particules, par HEISENBERG et PAULI (1) et dans une étendue un peu restreinte par FERMI (2) et par l'auteur. Pourtant à l'intégration des équations de HEISENBERG et PAULI par OPPENHEIMER (3) il s'ensuivit que dans la forme proposée la théorie était inexécutable, ayant pour conséquence un déplacement infini des termes d'énergie. Il en est de même dans la théorie de FERMI et dans la première forme de la nôtre, et WALLER (4) pouvait montrer que la calamité arrive déjà dans la théorie non-relativiste. Il fut remarqué par OPPENHEIMER que cette insuffisance correspond en partie à la difficulté classique de réunir sans contradiction la théorie des électrons et l'électrodynamique des charges continues. La physique des champs fournit, comme on sait, pour l'énergie électrostatique d'une répartition spatiale ρ de charges la formule (en unités de HEAVISIDE)

$$U = \frac{1}{2} \int d\tau \int d\tau' \frac{\rho \rho'}{r}$$

avec (1)

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$

$d\tau = dx dy dz$ etc. Si l'on a affaire à un nombre de charges séparées, dont chacune remplit une partie de l'espace petite envers les distances mutuelles, la fonction U se divise dans les deux sommes

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i \neq k} \frac{e_i e_k}{r_{ik}} + \frac{1}{2} \sum_i \int d\tau \int d\tau' \frac{\rho_i \rho'_i}{r}$$
(2)

dont la première, dans laquelle on a posé $\int d\rho_i = e_i$, signifie

(1) W. HEISENBERG und W. PAULI, *ZS. f. Phys.*, 56, 1, 1929; 59, 168, 1930. — Voir aussi le rapport de L. ROSENFELD, *Annales Inst. Poincaré*, 2, 24, 1932.

(2) E. FERMI, *Rend. Acc. Lincei* (6) 9, 881, 1929; 12, 431, 1930. Voir aussi *Rev. Modern Phys.*, 4, 87, 1932.

(3) R. OPPENHEIMER, *Phys. Rev.*, 35, 461, 1930.

(4) I. WALLER, *ZS. f. Phys.*, 62, 673, 1930.

l'énergie mutuelle des différentes charges séparées, la deuxième l'énergie propre de ces charges, c'est-à-dire le travail qu'il faut employer pour porter les charges p. e. à la surface d'un nombre de boules métalliques. Ces énergies deviennent infinies, si l'on s' imagine les charges concentrées dans un point; pour cette raison des électrons ponctuels sont impossibles dans l'électrodynamique classique. Or l'expression (2) apparaît sous la même forme dans le traitement quantique. De plus il y a encore d'autres membres infinis, même si l'on raye le terme de l'énergie propre électrostatique.

Dans l'électrodynamique ancienne on a essayé longtemps obtenir une énergie propre finie par l'introduction d'un «rayon» de l'électron ou d'autres modifications de la loi de COULOMB. Mais ces dispositions n'ont abouti jamais à un résultat réel et doivent être refusées aussi par principe, si toutefois il n'y a pas de charges moindres que l'électron. Même si l'on trouverait au choc de deux électrons des écarts avec la loi de COULOMB — comme on en a trouvé au choc de deux particules α — cela modifierait seulement le terme premier en (2); car pour déterminer la marche de ρ dans l'intérieur de l'électron il faudrait des charges plus petites que l'électron même. Donc le deuxième terme ne devrait pas entrer dans une théorie raisonnable.

Mais tandis qu'il faut exclure une réaction électrostatique des électrons sur eux-mêmes, il faut absolument à l'autre côté admettre une réaction électrodynamique, c'est à dire une influence sur les électrons du champ d'ondes émis par eux-mêmes, vu c'est elle qui provoque l'amortissement. Brièvement dit les électrons doivent exister, vis-à-vis d'eux-mêmes, non pas comme des charges, mais *si* comme des charges en mouvement.

Il y a jusqu'à présent seulement un essai de résolution de ce problème, indiqué par l'auteur dans les deux derniers des trois travaux précités. D'une proposition plus récente de DIRAC (1) on a, en attendant, déjà prouvé (2) l'équivalence à la théorie de HEISENBERG et PAULI. Pour introduire notre disposition il faut brièvement exposer l'appareil formel de la théorie des champs. Soit donné un champ électrique ondulatoire \mathbf{E} dans une enceinte du volume V très grand comme fonction des coordonnées

(1) P. A. M. DIRAC, *Proc. Roy. Soc. (A)* 136, 453, 1932.

(2) L. ROSENFELD, *ZS. f. Phys.*, 76, 729, 1932.

\mathbf{r} ($= x, y, z$) et du temps t sous la forme d'un intégral de FOURIER

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \int d\tau' \int dK' \mathbf{E}(\mathbf{r}', t) e^{i\mathbf{k}(\mathbf{r}-\mathbf{r}')} \quad (3)$$

($\mathbf{k} = k_1, k_2, k_3$; $d\tau = dx dy dz$; $dK = dk_1 dk_2 dk_3 / 8\pi$). Nous écrivons

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = V \int dK_s \mathbf{E}_s(t) e^{i\mathbf{k}_s \mathbf{r}}, \quad (4)$$

introduisant la grandeur

$$\mathbf{E}_s(t) = \frac{1}{V} \int d\tau' \mathbf{E}(\mathbf{r}', t) e^{-i\mathbf{k}_s \mathbf{r}'}. \quad (5)$$

Evidemment elle est complexe, la même expression avec $e^{+i\mathbf{k}_s \mathbf{r}'}$ étant sa conjuguée \mathbf{E}_s^* . Avec cela nous pouvons écrire l'énergie électromagnétique du champ

$$E_F = \frac{V^2}{2} \int dK_s (\mathbf{E}_s^* \mathbf{E}_s + \mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s). \quad (6)$$

En effet, en substituant \mathbf{E}_s et \mathbf{E}_s^* d'après (5) et de la même manière \mathbf{H}_s et \mathbf{H}_s^* en (6), nous trouvons suivant le théorème de FOURIER

$$E_F = \frac{1}{2} \int (\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2) d\tau$$

d'accord avec une formule bien connue (en unités de HEAVISIDE). Les \mathbf{E}_s , \mathbf{E}_s^* et \mathbf{H}_s , \mathbf{H}_s^* , comme on voit, déterminent le champ et son énergie par des intégraux sur «l'espace K_s ». La signification de \mathbf{k} est celle d'un vecteur d'onde, sa valeur absolue étant, à un facteur 2π près, celle d'une longueur d'onde réciproque et sa direction celle de la propagation de l'onde. L'expression (4) représente la somme d'un ensemble de faisceaux radiants, dont chacun remplit un élément ΔK_s de directions et de longueurs d'onde et dont les amplitudes sont $V \mathbf{E}_s \Delta K_s$. Comme on sait, un tel faisceau, quand il remplit un certain volume ΔV , a un nombre déterminé de degrés de liberté, à savoir $\Delta K_s \Delta V$; en particulier on a affaire à un faisceau d'un

degré de liberté, si

$$\Delta K_s \Delta V = 1. \quad (7)$$

Si ΔK_s est très petit, ΔV doit être très grand, et on peut avec une certaine extrapolation égaler même ΔV à V . Le nombre des degrés de liberté correspond au nombre des données physiques de l'ensemble; par conséquent on peut considérer (6) comme une somme

$$\frac{V^2}{2} \sum_s \Delta K_s (\mathbf{E}_s^* \mathbf{E}_s + \mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s),$$

dont chaque membre correspond à un déterminant physique. Posant $\Delta V = V$, nous avons d'après (7)

$$E_F = \frac{1}{2} \sum_s \frac{1}{\Delta K_s} (\mathbf{E}_s^* \mathbf{E}_s + \mathbf{H}_s^* \mathbf{H}_s). \quad (8)$$

Les amplitudes \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s ne sont pas absolument arbitraires, mais doivent satisfaire à un nombre de conditions accessoires. Premièrement on a les équations de MAXWELL, qui en forme tensorielle s'écrivent dans le vide

$$\frac{\partial F_{ik}}{\partial x_i} = 0 \quad \frac{\partial \tilde{F}_{ik}}{\partial x_i} = 0 \quad (9)$$

($F_{12} = H_3$, $F_{41} = iE_1$, $\tilde{F}_{12} = F_{34}$ etc.; sommer sur l'indice muet). Quand on a affaire à des ondes de la forme $F_{ik} = F_{ik}^s e^{ik_1 x_1} + F_{ik}^{s*} e^{-ik_1 x_1}$ ($k_1^2 x_1 = \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + k_4^2 x_4$, $k_4 = i|k|$, $x_4 = ict$), les relations (9) se réduisent aux conditions algébriques

$$k_i^s F_{ik}^s = k_i^s F_{ik}^{s*} = 0 \quad k_i^s \tilde{F}_{ik}^s = k_i^s \tilde{F}_{ik}^{s*} = 0. \quad (10)$$

La valeur de k_s signifie

$$k_s = \frac{2\pi}{c} \nu_s \quad (11)$$

où ν_s est la fréquence des ondes. Nous prescrivons ces conditions à nos \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s , \mathbf{E}_s^* , \mathbf{H}_s^* qui, comme nous avons vu, sont les amplitudes des ondes élémentaires composant le champ. Avec

cela nous considérons seulement un champ libre de charges et de courants. L'interaction du champ avec les électrons sera décrite plus tard d'une manière mécanique par le terme d'interaction déjà mentionné dans la fonction de HAMILTON.

De plus il faut *quantifier* le champ, pour obtenir les quanta de lumière exigés, aussi pour le vide, par l'hypothèse de PLANCK et les théorèmes de fluctuation d'EINSTEIN. Nous prescrivons pour cela les relations

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_i^* \mathbf{H}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{H}_i^* &= \mathbf{E}_i^* \mathbf{E}_k - \mathbf{E}_k \mathbf{E}_i^* = \gamma (k_i k_k - k^2 \delta_{ik}) \\ \mathbf{H}_i^* \mathbf{E}_i - \mathbf{E}_i \mathbf{H}_i^* &= 0 \quad \mathbf{H}_1^* \mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_2 \mathbf{H}_1^* = \gamma k k_3 \end{aligned} \quad (12)$$

etc.

$$\gamma_s = \frac{h c}{2 \pi} \frac{\Delta K_s}{k_s}$$

indiquées premièrement par JORDAN et PAULI (1) (dans la forme originale pour des amplitudes réelles). Avec cela les \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s obtiennent le caractère de variables canoniques; en effet on peut déduire par considération d'expériences possibles des relations d'incertitude pour les composantes de \mathbf{E} et \mathbf{H} . Les équations de MAXWELL à l'espace vide sont résolues, comme on sait, par des ondes transversales; par conséquence on satisfait en même temps à toutes les équations (10), quand à l'aide d'un triple orthogonal de vecteurs unitaires \mathbf{m}_s , \mathbf{n}_s , \mathbf{s}_s pour chaque faisceau s — dont \mathbf{s}_s est parallèle à \mathbf{k}_s — on pose

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_s &= \mathbf{m}_s a_{s1} + \mathbf{n}_s a_{s2} & \mathbf{H}_s &= \mathbf{n}_s a_{s1} - \mathbf{m}_s a_{s2} \\ \mathbf{E}_s^* &= \mathbf{m}_s a_{s1}^* + \mathbf{n}_s a_{s2}^* & \mathbf{H}_s^* &= \mathbf{n}_s a_{s1}^* - \mathbf{m}_s a_{s2}^* \end{aligned} \quad (13)$$

Avec cela on obtient de (8)

$$\mathbf{E}_F = \sum_{\lambda=1,2} \frac{1}{\Delta K_s} a_{s\lambda}^* a_{s\lambda} \quad (14)$$

(1) P. JORDAN und W. PAULI jr., *ZS. f. Phys.*, 47, 151, 1928.

Les relations (12) se réduisent d'après (13) à

$$\begin{aligned} a_{s1}^* a_{s1} - a_{s1} a_{s1}^* &= a_{s2}^* a_{s2} - a_{s2} a_{s2}^* = \gamma_s k_s^2 \\ a_{s1}^* a_{t2} - a_{t2} a_{s1}^* &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

($a_{s1}^* a_{t1} - a_{t1} a_{s1}^* = 0$, $s \neq t$, etc.). L'expression (14), considérée comme fonction de HAMILTON, est quasi celle d'un oscillateur harmonique. Dans la mécanique ondulatoire on résoud ce problème en substituant pour $a_{s\lambda}^*$ un opérateur différentiel agissant sur une fonction de $a_{s\lambda}$ qui mesure d'une manière connue la probabilité d'encontrer une valeur déterminée de cette variable, cela veut dire: du champ. En vérité on ne s'intéresse pas pour les valeurs instantanées de \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s , mais seulement pour le nombre $M_{s\lambda}$ des quanta de lumière, qui occupent dans un certain moment le faisceau avec la polarisation λ . Pour cela il est plus convenable d'introduire tout d'abord les $M_{s\lambda}$ comme variables du problème. La fonction propre du système atome + rayonnement est représentée alors d'une expression $\phi(\mathbf{r}; M_{11}, M_{12}, \dots, M_{s\lambda}, \dots)$ qui dépend d'une manière continue des coordonnées \mathbf{r} de l'électron, tandis que les $M_{s\lambda}$ sont des nombres entiers. Par conséquence les opérateurs qui agitent sur les $M_{s\lambda}$ doivent être discontinus. On vérifie aisément que les relations (15) sont satisfaites par les grandeurs suivantes

$$a_{s\lambda} = \gamma_s^{1/2} k_s e^{-i w_s \lambda} M_{s\lambda}^{1/2} \quad a_{s\lambda}^* = \gamma_s^{1/2} k_s M_{s\lambda}^{1/2} e^{i w_s \lambda} \quad (16)$$

où $e^{i w_s \lambda}$ et $e^{-i w_s \lambda}$ transforment une fonction $f(M_{s\lambda})$ en $f(M_{s\lambda} - 1)$ resp. $f(M_{s\lambda} + 1)$. Les désignations proviennent de DIRAC, auquel on doit ce procédé (1). La substitution en (14) donne directement

$$\left\{ E_F - \sum_{s\lambda} \frac{\gamma_s}{\Delta K_s} k_s^2 M_{s\lambda} \right\} \phi(\mathbf{r}, \dots, M_{s\lambda}, \dots) = 0,$$

ou avec la signification (12) des γ_s

$$E_F = \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} h \nu_s. \quad (\lambda = 1, 2) \quad (17)$$

(1) P. A. M. DIRAC, Die Prinzipien der Quanten mechanik, Leipzig 1930; Kap. VII, § 42.

Cela signifie: l'énergie totale du champ est composée des énergies des faisceaux différents, dont chacune est un multiple entier de $h\nu_s$, comme il faut. La somme est finie, comme seulement un nombre limité des $M_{s\lambda}$ est différent de zéro. Par le choix des \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s complexes nous avons évité un terme $\sum_s \frac{3}{2} h\nu_s$ qui serait infini.

Il s'agit maintenant de la liaison entre la fonction hamiltonienne (17) et celle de l'atome. La dernière, pour un électron libre, est de la forme

$$H = E_M = -c(\mathbf{a} \mathbf{p}) - m c^2 \rho_3 \quad (18)$$

où \mathbf{p} signifie l'impulsion et les \mathbf{a} , ρ_3 les matrices du «spin» introduites par DIRAC, qui satisfont à la relation

$$\mathbf{a} \rho_3 + \rho_3 \mathbf{a} = 0. \quad (19)$$

On passe de la fonction (18) à celle d'un électron dans un champ \mathbf{E} , \mathbf{H} en complétant le quadrivecteur \mathbf{p} , $\frac{E_M}{c}$ par l'autre quadrivecteur $-\frac{e}{c} \mathbf{A}$, $-\frac{e}{c} V$ du potentiel vecteur (\mathbf{A}) et scalaire (V):

$$H = E_M = -c(\mathbf{a}, \mathbf{p} + \frac{e}{c} \mathbf{A}) - eV - m c^2 \rho_3. \quad (20)$$

De même nous compléterons l'énergie (14) par l'impulsion appartenante, c'est-à-dire par

$$I_F = \frac{1}{c} \sum_{s\lambda} \frac{\mathbf{s}_s}{\Delta K_s} a_{s\lambda}^* a_{s\lambda},$$

comme à un faisceau \mathbf{s}_s de l'énergie E_s , direction \mathbf{s}_s , appartient l'impulsion $\frac{1}{c} E_s \mathbf{s}_s$, et nous ajouterons ces termes à \mathbf{p} , $\frac{E_M}{c}$ dans

la même manière comme $-\frac{e}{c} \mathbf{A}$, $-\frac{e}{c} V$. Le résultat est

$$H = E_M + E_F = -c \left(\mathbf{a}, \mathbf{p} + \frac{e}{c} \mathbf{A} - \frac{1}{c} \sum_{s\lambda} \frac{\mathbf{s}_s}{\Delta K_s} a_{s\lambda}^* a_{s\lambda} \right) - eV + \sum_{s\lambda} \frac{1}{\Delta K_s} a_{s\lambda}^* a_{s\lambda} - mc^2 \rho_3. \quad (21)$$

L'équation de SCHROEDINGER est maintenant

$$(H - E)\phi = 0, \quad (22)$$

étant ϕ , dans la manière déjà indiquée, fonction des coordonnées x, y, z , de l'électron, du temps et des «nombres d'occupation» $M_{s\lambda}$, et \mathbf{p} substitué par $\frac{\hbar}{2\pi i} \nabla$ (*), E par $-\frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t}$.

À l'état présent il n'y a aucune interaction entre l'électron et le rayonnement. En effet, si l'on substitue les valeurs (16) pour les $a_{s\lambda}^*$, $a_{s\lambda}$ on a

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t} \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) = & \left\{ \left(\mathbf{a}, \frac{\hbar c}{2\pi i} \nabla + e\mathbf{A} - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar \nu_s \mathbf{s}_s \right) \right. \\ & + eV - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar \nu_s + \\ & \left. + mc^2 \rho_3 \right\} \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) \end{aligned} \quad (23)$$

et ici les $M_{s\lambda}$ gardent leurs valeurs initiales, comme il n'y a plus d'opérateurs qui agissaient sur cette variable. Cette interaction est provoquée par la charge de l'électron, qui jusqu'à présent n'apparaît qu'en connexion avec les forces extérieures. Son introduction juste est le problème central.

(*) $\nabla = \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$.

Dans l'électrodynamique classique l'introduction des charges est faite par les équations de MAXWELL

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} \dot{\mathbf{E}} - \text{rot } \mathbf{H} &= \mathbf{i} \\ \text{div } \mathbf{E} &= \rho \end{aligned} \quad (24)$$

où les \mathbf{i} , ρ désignent la densité du courant et de la charge, formant un quadrivecteur. Le schéma conçu ci-devant est lié à la décomposition du champ électromagnétique en ondes. Sans \mathbf{i} et ρ elle aboutit aux relations (10). Dans le cas de présence d'une charge la décomposition peut se faire pareillement, la modification étant en substance l'apparition d'une *composante longitudinale de E*. La transversalité de la lumière à l'espace vide provient de

$$\text{div } \mathbf{E} = \text{div } \mathbf{H} = 0. \quad (25)$$

Pour une onde $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$, $\mathbf{H} = \mathbf{H}_0 \dots$ il s'ensuit, en effet,

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{E}_0 = \mathbf{k} \cdot \mathbf{H}_0 = 0, \quad \mathbf{E} \perp \mathbf{s}, \quad \mathbf{H} \perp \mathbf{s}. \quad (26)$$

Mais dans le domaine $\rho \neq 0$ le produit $\mathbf{k} \cdot \mathbf{E}_0$ ne disparaît pas. On doit à FERMI une électrodynamique quantique qui, d'ailleurs revêtue dans la forme ici employée, complète le schème dans ce sens là. Malgré sa conséquence ce procédé est fatal; il en résulte immédiatement une énergie propre infinie pour un électron ponctuel. Dans la théorie non-relativiste on pouvait, par un artifice (1), s'en débarrasser, mais dans la théorie relativiste il n'y en a pas de pareil. Il semble que dans la théorie quantique il faut introduire la charge d'une autre manière.

Dans l'équation des ondes matérielles (20) la charge apparaît en connexion avec le potentiel. Les \mathbf{A} , V signifient dans cette équation des champs «extérieurs», c'est-à-dire de condensateurs, d'aimants et même de noyaux atomiques, sous la condition qu'ils ne soient pas variés par l'influence, l'induction etc.

(1) P. JORDAN und O. KLEIN, *ZS. f. Phys.*, 45, 571, 1927.

de l'électron. Peut on y ajouter aussi des forces optiques? Probablement *non*, comme elles sont modifiées par la réaction de l'électron, mais peut-être *si*, en tant que l'on peut négliger la réaction de la modification sur celui-là. Dans la théorie originale de DIRAC on fait ainsi, et quant à tous les phénomènes de l'émission spontanée et forcée le succès est aussi bien que complet. Mais le résultat n'est pas décisif dans le sens de l'alternative indiquée tout à l'heure. Il y a seulement l'atome à l'une côté, le champ électromagnétique, représenté par l'ensemble des faisceaux oscillants, à l'autre. Entre eux l'échange de l'énergie se fait en sauts; on ne peut pas distinguer un champ produit par l'électron d'un champ extérieur, excepté les forces fixes. Dans son développement relativiste de la théorie de DIRAC l'auteur procédait dans la même manière comme là haut à l'introduction de $\mathbf{I}_F, \mathbf{E}_F$; c'est-à-dire on ajoutait aux \mathbf{A}, \mathbf{V} les $\mathbf{A}_s, \mathbf{V}_s$ correspondant aux $\mathbf{E}_s, \mathbf{H}_s, \mathbf{E}_s^*, \mathbf{H}_s^*$ sans modification des équations du champ, à l'attente que l'interaction champ-électron ainsi établie donnait en même temps la description juste de l'inverse. Dans la conception de l'électrodynamique cette manière d'agir était contestable; il aurait fallu faire l'accouplement réactif au moyen des équations (24). Toutefois cette supposition était recommandée par la tendance de mécaniser le procès. Du reste au cours de l'élaboration nous sommes conduits à une modification du mécanisme présumé d'accouplement, qui entraîne une certaine justification de la méthode aussi du point de vue électromagnétique (voir III, § 4). Dans son esquisse d'une mécanique quantique relativiste, DIRAC, par des considérations plus générales, est amené à la même conclusion; il exige « a field composed of waves passing undisturbed through the electron and satisfying everywhere MAXWELLS equations for empty space ». Il nous semble qu'il faut tenir ferme cette idée, bien qu'elle ne résoud pas encore le problème. L'écart du champ électromagnétique de la transversalité à l'intérieur d'un électron est certainement une grandeur non-observable et doit disparaître de la théorie.

La formulation mathématique se fait ainsi (1). A l'électrody-

(1) L'exposition de l'auteur dans II est modifiée, dans ce qui suit, au sens de la note III.

namique les \mathbf{A} , V satisfont aux équations

$$\begin{aligned}\Delta \mathbf{A} - \frac{1}{c^2} \ddot{\mathbf{A}} &= -\frac{\mathbf{i}}{e} \\ \Delta V - \frac{1}{c^2} \ddot{V} &= -\rho \\ \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c} \frac{\partial V}{\partial t} &= 0.\end{aligned}\quad (27)$$

Selon l'hypothèse il faut *annuler* la côté droite pour des électrons isolés. Les solutions sont alors des ondes

$$\mathbf{A}_s = \mathbf{A}_0^s e^{i(\omega_s t - \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r})} \quad \mathbf{A}_s^* = \mathbf{A}_0^{s*} e^{-i(\omega_s t - \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r})} \quad (28)$$

$V = \text{etc.}$; la troisième relation spécifie $\mathbf{k}_s \cdot \mathbf{A}_s - k_s V_s = \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{A}_s^* - k_s V_s^* = 0$ resp.

$$V_s = \mathbf{s}_s \cdot \mathbf{A}_s, \quad V_s^* = \mathbf{s}_s \cdot \mathbf{A}_s^*. \quad (29)$$

Donc le potentiel scalaire est la composante longitudinale du vecteur potentiel. Les \mathbf{E} , \mathbf{H} se dérivent, comme l'on sait, des \mathbf{A} , V par

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} V - \frac{1}{c} \dot{\mathbf{A}} \quad \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}.$$

Cela donne

$$\mathbf{H}_s = \frac{1}{i} \mathbf{k}_s \times \mathbf{A}_s \quad \mathbf{E}_s = \frac{1}{i} \mathbf{s}_s \times (\mathbf{k}_s \times \mathbf{A}_s) \quad (30)$$

par égard pour (29). L'expression (6) est transformée par un calcul facile en

$$E_F = V^2 \int dK_s k_s^2 (\mathbf{A}_s^* \cdot \mathbf{A}_s - \mathbf{s}_s \cdot \mathbf{A}_s^* \cdot \mathbf{s}_s \cdot \mathbf{A}_s).$$

Elle est simplifiée par l'introduction des composantes du vecteur potentiel ξ_s, η_s, ζ_s le long des vecteurs unitaires $\mathbf{m}_s, \mathbf{n}_s, \mathbf{s}_s$ de

chaque faisceau s données par

$$\mathbf{A}_s = \mathbf{m}_s \xi_s + \mathbf{n}_s \eta_s + \mathbf{s}_s \zeta_s \quad (31)$$

$$\mathbf{A}_s^* = \mathbf{m}_s \xi_s^* + \mathbf{n}_s \eta_s^* + \mathbf{s}_s \zeta_s^*$$

en

$$E_F = V^2 \int dK_s k_s^2 (\xi_s^* \xi_s + \eta_s^* \eta_s). \quad (32)$$

Aux relations (12) correspondent pour les ξ_s, η_s

$$\xi_s^* \xi_s - \xi_s \xi_s^* = \eta_s^* \eta_s - \eta_s \eta_s^* = -\gamma_s \quad (33)$$

$$\xi_s^* \eta_s - \eta_s \xi_s^* = 0,$$

relations que l'on obtient par application des règles (12) aux grandeurs (30), exprimant les ξ_s, η_s, ζ_s par eux. Avec la disposition

$$\xi_s = \gamma_s^{1/2} e^{-i\nu_s t} M_{s1}^{1/2} \quad \xi_s^* = \gamma_s^{1/2} M_{s1}^{1/2} e^{i\nu_s t} \quad (34)$$

$\eta_s = \dots M_{s2}$ etc. tout se passe comme auparavant. *A présent, toutefois, nous n'ajouterons pas seulement les I_F, E_F aux \mathbf{p}, E_M , mais aussi la somme des \mathbf{A}_s, V_s aux \mathbf{A}, V . Pour cela il faut bien observer que par l'analyse de FOURIER (3) et l'introduction des $\mathbf{E}_s, \mathbf{E}_s^*$ etc. comme variables canoniques le problème électrodynamique est réduit à un problème mécanique, à tel point que l'on n'a plus affaire à l'interaction entre l'atome et un champ d'ondes, mais entre l'atome et un ensemble d'oscillateurs harmoniques. Par suite le mécanisme d'interaction ne dépendra pas explicitement du temps et de la position accidentelle de l'électron, mais seulement des variables qui caractérisent son état de mouvement, donc de \mathbf{a} , de \mathbf{p} et peut-être des dérivations plus élevées. Nous supposerons premièrement en analogie avec $\mathbf{a}, \mathbf{A}, V$ [formule (20)] un terme d'interaction*

$$\sum_s \mathbf{a} (\mathbf{A}_s^* + \mathbf{A}_s) \quad (35)$$

$$\sum_s (V_s^* + V_s) = \sum_s \mathbf{s}_s (\mathbf{A}_s^* + \mathbf{A}_s)$$

[pour (29); voir aussi la note pag. 32]. On verra plus tard que cela ne suffit pas et qu'il faut admettre aussi \mathbf{p} , même dans la forme d'un opérateur intégral, qui correspond à une série suivant puissances de \mathbf{p} .

Puis il faut remarquer que la composante longitudinale ζ_s du vecteur potentiel n'entre pas dans l'énergie (32). Aussi on n'obtient pas de règles de permutation pour elle, comme les \mathbf{E}_s , \mathbf{H}_s n'y dépendent pas. Elle joue le rôle d'une constante qui peut être enfermée aux constantes additives de \mathbf{A} et \mathbf{V} . Par suite l'équation (23) est complétée seulement par le premier terme (35):

$$\sum_s \mathbf{a} (\mathbf{A}_s^* + \mathbf{A}_s) = \sum_s \mathbf{a} | \mathbf{m}_s (\xi_s^* + \xi_s) + \mathbf{n}_s (\eta_s^* + \eta_s) |,$$

où les ξ_s , η_s ont la forme (34):

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t} \phi(\mathbf{r}, t; M_{11}, \dots) = & \left(\mathbf{a}, \frac{\hbar c}{2\pi i} \nabla + e\mathbf{A} - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar v_s \mathbf{s}_s \right) \\ & + e\mathbf{V} - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar v_s + m c^2 \rho_3 \\ & + e \sum_s \gamma_s^{1/2} (\mathbf{a} \mathbf{m}_s) (M_{s1}^{1/2} e^{i w_s t} + e^{-i w_s t} M_{s1}^{1/2}) \\ & + e \sum_s \gamma_s^{1/2} (\mathbf{a} \mathbf{n}_s) (M_{s2}^{1/2} e^{i w_s t} + e^{-i w_s t} M_{s2}^{1/2}) \left\{ \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) \right\}. \end{aligned} \quad (36)$$

Les deux termes derniers maintenant font naître une *interaction* entre la matière et le rayonnement. On l'isole par une variation des constantes. Soit

$$\phi_n = \Psi_n(\mathbf{r}) e^{-\frac{2\pi i}{\hbar} E_n t} \quad (37)$$

une solution de l'équation non perturbée (20), appartenant au valeur propre E_n de \mathbf{H} . La solution générale sera

$$\phi = \sum_n \phi_n a_n, \quad (38)$$

les a_n étant constantes. En deuxième ligne nous considérons les termes $\frac{1}{c} \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} h \nu_s \mathbf{a} \mathbf{s}_s$ et $\sum_{s\lambda} M_{s\lambda} h \nu_s$, introduits par (23). L'équation avec eux est résolue par

$$\begin{aligned} \phi &= X \cdot \sum \phi_n a_n \\ X &= \exp \left[-2\pi i \sum_{l\mu} M_{l\mu} \nu_l \left(t - \frac{\mathbf{s}_l \mathbf{r}}{c} \right) \right]. \end{aligned} \quad (39)$$

Les a_n peuvent dépendre maintenant des $M_{s\lambda}$ aussi. Par l'influence des membres perturbatrices en (36) ils varieront, et cela par rapport au temps et aux $M_{s\lambda}$. La substitution en (36) donne, puisque (39) satisfait à (23), d'après une multiplication par $X^* = X^{-1}$:

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \sum_n \phi_n \dot{a}_n &= e \left\{ \sum_s \sum_n \gamma_s^{1/2} X^* (\mathbf{a} \mathbf{m}_s) (M_{s1}^{1/2} e^{i w_s t} + e^{-i w_s t} M_{s1}^{1/2}) X \right. \\ &\quad \left. + \sum_s \sum_n \gamma_s^{1/2} X^* (\mathbf{a} \mathbf{n}_s) (M_{s2}^{1/2} e^{i w_s t} + e^{-i w_s t} M_{s2}^{1/2}) X \right\} \phi_n a_n. \end{aligned} \quad (40)$$

Nous multiplions encore de la gauche par ϕ_m^* (= conjuguée de ϕ_m). Il faut remarquer pour cela que ϕ dépend du spin comme d'une quatrième variable de la nature d'un index τ capable des valeurs 1, 2, 3, 4. Multiplication «de la gauche» signifie l'opération

$$\phi_m^* \phi_n = \sum_{\tau=1}^4 \phi_m^{*\tau} \phi_n^\tau \quad (41)$$

respectivement

$$\phi_m^* \mathbf{a} \phi_n = \sum_{\tau=1}^4 \sum_{\sigma=1}^4 \phi_m^{*\tau} \mathbf{a}^{\tau\sigma} \phi_n^\sigma. \quad (42)$$

En outre les ϕ_n soient normalisés suivant

$$\int \phi_m^* \phi_n d\tau = \delta_{mn}. \quad (42')$$

Après cela nous intégrons sur tout l'espace. Il résulte

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \dot{a}_m(M_{11}, M_{12}, \dots) &= e \sum_s \sum_n \gamma_s^{1/2} \int d\tau \phi_m^* \mathbf{a}_m \phi_n X^* M_{s1} e^{i w_s t} X a_n (\dots M_{s\lambda} \dots) \\ &+ \dots + \dots + e \sum_s \sum_n \gamma_s^{1/2} \int d\tau \phi_m^* \mathbf{a}_n \phi_n X^* e^{-i w_s t} M_{s2} X a_n (\dots M_{s\lambda} \dots). \end{aligned}$$

A la fin il faut tenir compte de l'action des $e^{\pm i w_s \lambda}$. Nous avons suivant leur définition donnée sous (16) et par égard pour (39)

$$\begin{aligned} M_{s\lambda}^{1/2} e^{i w_s \lambda} X a_n (M_{11} \dots M_{s\lambda} \dots) &= M_{s\lambda}^{1/2} X e^{2\pi i \nu_s \left(t - \frac{\mathbf{s}_s \cdot \mathbf{r}}{c}\right)} a_n (M_{11} \dots M_{s\lambda} - 1 \dots) \\ e^{-i w_s \lambda} M_{s\lambda}^{1/2} X a_n (M_{11} \dots M_{s\lambda} \dots) &= (M_{s\lambda} + 1)^{1/2} X e^{-2\pi i \nu_s \left(t - \frac{\mathbf{s}_s \cdot \mathbf{r}}{c}\right)} a_n (M_{11} \dots M_{s\lambda} + 1 \dots), \end{aligned}$$

donc définitivement, pour $X^* X = 1$ et avec (37):

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \dot{a}_m(M_{11} \dots M_{s\lambda} \dots) &= e \sum_{s\lambda} \sum_n \gamma_s^{1/2} M_{s\lambda}^{1/2} e^{\frac{2\pi i}{\hbar} (E_m - E_n + \hbar \nu_s) t} A_{mn}^{-s\lambda} a_n (\dots M_{s\lambda} - 1 \dots) \\ &+ e \sum_{s\lambda} \sum_n \gamma_s^{1/2} (M_{s\lambda} + 1)^{1/2} e^{\frac{2\pi i}{\hbar} (E_m - E_n - \hbar \nu_s) t} A_{mn}^{s\lambda} a_n (\dots M_{s\lambda} + 1 \dots) \end{aligned} \quad (43)$$

où l'on a posé

$$\begin{aligned} A_{mn}^{\pm s1} &= \int d\tau \phi_m^* \mathbf{a}_m \phi_n e^{\pm i \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}} \\ A_{mn}^{\pm s2} &= \int d\tau \phi_m^* \mathbf{a}_n \phi_n e^{\pm i \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}}. \end{aligned} \quad (44)$$

Cette formule symétrique et relativement simple renferme tous les phénomènes à attendre suivant les conceptions faites. Elle est rigoureuse et sa dérivation satisfait partout aux exigences de la théorie restreinte de la relativité. La dernière affirmation est évidente quant à l'usage de l'électrodynamique classique et de l'équation de DIRAC, dont l'invariance relativiste est une de ses qualités saillantes; du reste aussi les relations de permutation valent dans tous les systèmes admissibles, s'il le font dans un d'eux. (Le fait est basé sur l'invariance de γ_i).

La formule (43) fut proposée pour la première fois, mais sans épreuve d'invariance, par I. WALLER (1); simultanément OPPENHEIMER (l. c.) dérivait la même de la théorie de HEISENBERG et PAULI, mais augmentée d'un terme infini du à l'admission des i, ρ en (27). Le point de départ de toutes ces considérations sont les deux travaux de DIRAC de l'année 1927, où une formule correspondante fut dérivée à la base de la mécanique non-relativiste. Il est remarquable — comme WALLER a fait ressortir — que la formule relativiste est plus simple que la non-relativiste à cause de l'absence de membres correspondant à des transitions de plus d'un quantum de lumière. En (43) chaque variation d'un état caractérisé par a_m est induite par d'autres états contenant un quantum de plus [$a_n (\dots M_{s\lambda} + 1 \dots)$] ou de moins [$a_n (\dots M_{s\lambda} - 1 \dots)$].

Pour le traitement et les applications de (43) nous renvoyons aux travaux précités de DIRAC et le rapport de FERMI; quant à l'usage de la formule rigoureuse surtout au travaux de WALLER. L'équation fournit une explication complète et satisfaisante de presque tous les phénomènes de la radiation, y compris, comme FERMI a montré, ceux de l'interférence et de la propagation de la lumière à vitesse finie. Particulièrement elle fournit la formule de KLEIN-NISHINA sur la dissipation de la radiation dure par les électrons libres, qui peut être considérée comme vérifiée jusqu'à une fréquence au delà de $h\nu = mc^2$. Dans ce domaine le traitement relativiste devient essentiel. A l'autre côté la validité de la formule de KLEIN et NISHINA pour la radiation pénétrante est douteuse (2), et l'applicabilité de (43) aux procès où l'électron atteint une vitesse près de c semble être réfutée par le fait que l'énergie totale malgré le retranchement du terme plus gênant devient infinie, si l'on l'approxime par un développement suivant puissances de $1/c$, déjà dans la première approximation qui renferme le terme d'interaction (OPPENHEIMER, WALLER, WESSEL, ROSENFELD (3)). Pour éviter cette calamité nous avons proposé une modification de ce terme. Etant trouvée d'abord d'une manière absolument formale, elle semble admettre une interprétation physique. Il

(1) I. WALLER, *ZS. f. Phys.*, 61, 837, 1930.

(2) W. HEISENBERG, *Annalen d. Phys.*, (V) 13, 430, 1932.

(3) L. ROSENFELD, *ZS. f. Phys.*, 70, 454, 1931.

serait peut-être plus sur s'arrêter au point de vue formel; pourtant, sous le risque d'une méprise, nous partirons ici, pour son caractère intuitif, de cette interprétation, continuant la marche des idées de pag. 15.

On avait dit que les électrons devraient réagir sur le champ émis par eux-mêmes non pas comme des charges, mais comme des charges en mouvement; ils doivent représenter, quant à l'accouplement réactif, en quelque sorte un courant sans charge. De fait il y a de tels courants dans les courants de «déplacement» \mathbf{D} de la théorie de MAXWELL. Le courant total y est composé de $\mathbf{D} + \mathbf{i}$; sa divergence disparaît, et puisque dans le vide $\text{div } \mathbf{i} = 0$, il s'ensuit $\text{div } \mathbf{D} = \dot{\rho} = 0$. Or GORDON (1) a montré que l'on peut partager aussi le courant du spinning électron dans une partie du caractère d'un courant convectif et une autre de déplacement. Dans la conception corpusculaire cette dernière provient du moment de l'électron, et on est conduit à l'idée d'introduire le moment magnétique (et électrique, complémentaire) au lieu de la charge.

A premier coup d'oeil on refusera absolument cette proposition à cause, d'une part, de la petitesse de ce moment, qui devrait entraîner une interaction d'un ordre de grandeur complètement faux, d'autre part, de la modification profonde des équations de mouvement. On verra, comme cela se résoud. Nous accentuons tout d'abord, que l'interaction d'un électron en mouvement avec son propre moment est un phénomène observable et bien connu de la spectroscopie; en outre, que la substitution est proposée dans notre essai seulement par rapport aux forces réactives $\mathbf{E}_i, \mathbf{H}_i$, non pas aux forces extérieures. Celles-ci sont représentées fixement par les \mathbf{A}, \mathbf{V} .

Mr. GORDON montre que les grandeurs

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= \frac{ie h}{4 \pi m c} \phi^* \rho_3 i \sigma \phi \\ \mathbf{P} &= \frac{-ie h}{4 \pi m c} \phi^* \rho_3 \mathbf{a} \phi \end{aligned} \quad (45)$$

représentent la polarisation magnétique et électrique par unité

(1) W. GORDON, *ZS. f. Phys.*, 50, 630, 1928.

de volume, provoquée par un courant d'électrons de DIRAC dans le vide. Mettant à part la fonction de densité $\phi^* \phi$ on a dans

$$\mathbf{m} = \frac{i e h}{4 \pi m c} \rho_3 i \boldsymbol{\sigma} \quad \mathbf{p} = \frac{-i e h}{4 \pi m c} \rho_3 \mathbf{a} \quad (46)$$

le moment magnétique et électrique de l'électron (*). Dans le champ du potentiel V un électron de la charge $-e$ a l'énergie $-eV$; de plus dans le champ $\mathbf{E} = -\text{grad } V$ un dipole électrique du moment \mathbf{p} a l'énergie $-\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$; par suite une combinaison des deux aura l'énergie $-eV - \mathbf{p} \cdot \mathbf{E} = -e(V - \frac{i h}{4 \pi m c} \rho_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{E})$. Les \mathbf{M}, \mathbf{P} forment un tenseur et $\mathbf{P} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{M} \cdot \mathbf{H} = \frac{1}{2} M_{ik} F^{ik}$ est une invariante. Par suite l'expression

$$\mathbf{p} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{m} \cdot \mathbf{H} = \frac{-i e h}{4 \pi m c} \rho_3 (\mathbf{a} \cdot \mathbf{E} - i \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{H}), \quad (47)$$

agissant sur ϕ , représente un « spinor », et après avoir substitué dans (20) le potentiel V par

$$V - \frac{i h}{4 \pi m c} \rho_3 (\mathbf{a} \cdot \mathbf{E} - i \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{H})$$

nous avons de nouveau une équation qui depuis une transformation LORENTZ se peut mettre dans la forme antérieure. Les \mathbf{A}, V représentent alors les potentiels des champs extérieurs, les \mathbf{E}, \mathbf{H} les forces réactives $\mathbf{E}_s, \mathbf{H}_s$. Suivant notre hypothèse celles-ci ne peuvent pas entrer en \mathbf{A}, V ; d'autre part on pourrait demander, si les forces extérieures ne pouvaient pas paraître aussi dans les \mathbf{E}, \mathbf{H} du terme ajouté. Il nous semble que oui, et nous reviendrons peut-être à ce point. A l'instant nous nous contentons de substituer en (47) les \mathbf{E}, \mathbf{H} par les $\mathbf{E}_s, \mathbf{H}_s$. La formule devient par égard à (13) et pour $\rho_3 \boldsymbol{\sigma} = i \rho_1 \rho_2 \boldsymbol{\sigma} = i \rho_2 \mathbf{a} = -i \mathbf{a} \rho_2, \rho_3 \mathbf{a} = -\mathbf{a} \rho_3$:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{m} \cdot \mathbf{H} &= \frac{-i e h}{4 \pi m c} \sum_s \rho_3 \mathbf{a} (\mathbf{E}_s^* + \mathbf{E}_s) + \rho_2 \mathbf{a} (\mathbf{H}_s^* + \mathbf{H}_s) \{ \\ &= \frac{i e h}{4 \pi m c} \sqrt{2} \sum_{s\lambda} K_{s\lambda} (a_{s\lambda}^* + a_{s\lambda}) \} \end{aligned} \quad (48)$$

(*) La lettre $\boldsymbol{\sigma}$ indique un vecteur.

où l'on a posé pour abbreviation (1)

$$\begin{aligned} K_{s1} &= \frac{\mathbf{a} \mathbf{m}_s \rho_3 + \mathbf{a} \mathbf{n}_s \rho_2}{\sqrt{2}} \\ K_{s2} &= \frac{\mathbf{a} \mathbf{n}_s \rho_3 - \mathbf{a} \mathbf{m}_s \rho_2}{\sqrt{2}}. \end{aligned} \quad (49)$$

La formule (48) substituée dans (23) donne au lieu de (36)

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t} \phi(\mathbf{r}, t; M_{11}, \dots) &= \left\{ \left(\mathbf{a}, \frac{\hbar c}{2\pi i} \nabla + e \mathbf{A} - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar \nu_s \mathbf{s}_s \right) \right. \\ &\quad \left. + e V - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} \hbar \nu_s + m c^2 \rho_3 \right\} \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) \\ &+ i e \sum_{s\lambda} \frac{k_s \hbar}{4\pi m c} (2\gamma_s)^{1/2} K_{s\lambda} (M_{s\lambda}^{1/2} e^{i w_s \lambda} + e^{-i w_s \lambda} M_{s\lambda}^{1/2}) \left\{ \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) \right\}. \end{aligned} \quad (50)$$

Evidemment cette formule, malgré l'introduction tout à fait différente de la charge, est très semblable à (36). Elle n'en est distinguée que par la substitution de $\mathbf{a} \mathbf{m}_s$, $\mathbf{a} \mathbf{n}_s$ par les grandeurs (49), ou de \mathbf{m}_s , \mathbf{n}_s par

$$\begin{aligned} \mathbf{m}'_s &= \frac{\mathbf{m}_s \rho_3 + \mathbf{n}_s \rho_2}{\sqrt{2}} \\ \mathbf{n}'_s &= \frac{\mathbf{n}_s \rho_3 - \mathbf{m}_s \rho_2}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (51)$$

et par l'apparition d'un facteur

$$i \frac{k_s \hbar}{4\pi m c} \quad (52)$$

(1) Ces grandeurs sont distinguées des grandeurs correspondantes dans notre communication III (47) par un facteur $i \rho_1$, indifférent du point de vue relativiste, mais recommandé par l'accord avec GORDON. D'ailleurs on a écrit dans (48) $\sum_s (\mathbf{E}_s^* + \mathbf{E}_s)$ etc. au lieu de $\sum_s \frac{1}{2} (\mathbf{E}_s^* + \mathbf{E}_s)$, comme il s'agit d'un équivalent d'une analyse de FOURIER et non pas simplement de la partie réelle d'une fonction complexe. Ce point a échappé dans III.

sans dimension. C'est surtout en (51) que s'expriment les nouvelles équations de mouvement. Comme on voit, le changement consiste dans une variation des vecteurs de polarisation bien semblable à une rotation du système des coordonnées. Les nouvelles grandeurs $\mathbf{m}'_s, \mathbf{n}'_s$ se comportent quasi comme des vecteurs unitaires orthogonaux à \mathbf{s}_s : on a $\mathbf{m}'_s \mathbf{m}'_s = \mathbf{n}'_s \mathbf{n}'_s = 1, \mathbf{m}'_s \times \mathbf{n}'_s = \mathbf{s}_s$. Or la «rotation» (51) influence seulement les probabilités de transition, et on peut montrer (voir la fin du présent mémoire) que dans la première approximation rien n'est changé. Mais le terme (52), qui devrait être égal à 1 est inacceptable dans cette forme pour sa variabilité et sa petitesse dans le domaine ordinaire: on a $k_s = 10^5 \text{ cm}^{-1}$ dans le visible, $h/4\pi m c = 1,93 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$. Il s'exprime dans cette discrédance, naturellement, la petitesse du spin de l'électron.

Nous avons indiqué déjà dans la deuxième communication une solution de cette difficulté, qui malgré son caractère formel nous semble digne de réflexion. Elle aboutit à l'introduction d'une autre grandeur $1/k'_0$ au lieu de $h/4\pi m c$. Une telle grandeur doit satisfaire aux conditions: 1) être une invariante relativiste, 2) avoir la dimension d'une longueur, 3) être proportionnelle à $1/k_s$, pour compenser ce facteur dans (52), 4) être égal à $1/k_s$ dans le domaine non-relativiste. Si l'on ajoute l'exigence qu'elle dépende seulement des variables de l'électron et du champ de rayonnement, il nous semble que l'expression suivante est univoque:

$$(k'_0)^{-1} = -\frac{2\pi i m c^2}{h k_s} \left(\frac{\partial}{\partial t} + c(\mathbf{s}_s \nabla) \right)^{-1}. \quad (53)$$

Son invariance relativiste est évidente, comme les $k_s \mathbf{s}_s, k_s$ et les $\nabla, \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t}$ sont des quadrivecteurs. Elle est un opérateur intégral qui admet dans son action sur une fonction donnée $\phi(\mathbf{r}, t)$ l'appréhension suivante:

$$(k'_0)^{-1} \phi(\mathbf{r}, t) = -\frac{2\pi i m c}{h k_s} \int_0^\infty dl \phi\left(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s l, t - \frac{l}{c}\right). \quad (54)$$

L'opération $\frac{\partial}{\partial t} + c(\mathbf{s}_s \nabla)$, exercée sur l'intégral, transforme l'in-

tégrand dans un différentiel complet:

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + c(\mathbf{s}, \nabla) \right\} \int_0^{\infty} dl \psi \left(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s l, t - \frac{l}{c} \right) = \int_0^{\infty} dl \left\{ \dot{\psi} + c(\mathbf{s}_s \nabla \psi) \right\} \\ = -c \int_0^{\infty} dl \frac{d\psi \left(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s l, t - \frac{l}{c} \right)}{dl};$$

par suite l'opération k_0^s , exercée sur (54), reproduit la fonction $\psi(\mathbf{r}, t)$, comme il faut, pourvu qu'au limite supérieure de l'intégral la fonction ψ désapparait: $\psi(-\infty, -\infty) = 0$, — restriction peu importune. Si l'atome est dans un état stationnaire

$$\psi(\mathbf{r}, t) = \Psi_n(\mathbf{r}) e^{-\frac{2\pi i}{h} E_n t}$$

la formule (54) fournit, avec une intégration partielle,

$$(k_0^s)^{-1} \psi(\mathbf{r}, t) = -\frac{2\pi i m c}{h k_s} \int_0^{\infty} dl \Psi_n(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s l) e^{-\frac{2\pi i}{h} E_n \left(t - \frac{l}{c} \right)} \\ = \frac{m c^2}{E_n k_s} \left\{ \Psi_n(\mathbf{r}) e^{-\frac{2\pi i}{h} E_n t} - \int_0^{\infty} (\mathbf{s}_s \nabla \Psi_n) e^{-\frac{2\pi i}{h} E_n \left(t - \frac{l}{c} \right)} dl \right\}.$$

Ce procès peut être réitéré un nombre quelconque de fois, à tel point que l'on obtient une série suivant puissances de E_n^{-1} . Comme E_n dans le domaine atomique est de l'ordre de grandeur $m c^2 (1 + \text{membres avec } 1/c^2)$ on a

$$k_s/k_0^s \psi(\mathbf{r}, t) = \psi(\mathbf{r}, t) + \frac{h}{2\pi i m c} (\mathbf{s}_s \nabla) \psi(\mathbf{r}, t) + \text{membres avec } \frac{1}{c^2}; \quad (55)$$

donc l'opérateur k_s/k_0^s est égal à l'unité quand

$$|\nabla \psi| : \psi < \frac{2\pi m c}{h}. \quad (56)$$

Or $|\nabla\phi|:\phi$ représente le réciproque — dans les états continus — de la longueur d'onde de DE BROGLIE, respectivement — dans les états discrets — du rayon de BOHR, et ces grandeurs satisfont toujours, dans le domaine non relativiste (c'est à-dire hors des noyaux, des couches plus basses etc.) à la condition (56). Par suite notre opérateur satisfait à toutes les exigences. En outre il est d'une simplicité surprenante: on aurait attendu un intégral d'univers au lieu d'un intégral de ligne. Néanmoins son interprétation physique est assez obscure. Il nous semble qu'il faut partir pour son explication du fait que par l'opération (52) l'énergie deviendrait infinie encore d'un degré plus haut qu'auparavant. On comprend cet excès par l'argumentation suivante: auparavant on traita l'électron dans son interaction avec la radiation comme une charge, et la réaction sur soi-même, établie par la radiation, était celle d'une charge à une autre. Maintenant on a substitué la charge par le moment magnétique. Au mouvement de l'électron dans le champ p. e. d'un noyau le moment s'ajuste à la composante magnétique paraissant dans le système de référence de l'électron. On sait que dans la spectroscopie ce phénomène est pris pour l'interaction de l'électron avec sa révolution, c'est à-dire avec le courant circulaire produit par lui-même. On peut considérer notre mécanisme de réaction comme la réalisation et, pour ainsi dire, l'agrandissement de ce procès fictif; alors on comprend bien l'excès ci-devant mentionné comme le résultat de la coïncidence d'un dipole et d'un courant filiforme. C'est cette calamité que l'on évite par l'opération (54). On peut écrire cette formule, après une transformation $t - \frac{l}{c} = t'$,

$$(k^s)^{-1} \phi(\mathbf{r}, t) = -\frac{2\pi i m c^2}{h k_s} \int_{-\infty}^t dt' \phi(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s c(t-t'), t'); \quad (57)$$

par cela on voit que l'état \mathbf{r}, t contribue seulement par un différentiel à l'amplitude totale de la probabilité, le reste étant substitué par un concours des états précédents. On peut bien s'imaginer que ce délayement agit contre une catastrophe de coïncidence.

Pour revenir à des grandeurs sans dimension nous introduisons

dans (54) la nouvelle variable $\zeta = \frac{l}{l_0}$,

$$l_0 = \frac{h}{2\pi m c}; \quad (58)$$

avec cela nous avons

$$k_s/k_0^s \cdot \phi(\mathbf{r}, t) = -i S \phi(\mathbf{r}, t) \\ S \phi(\mathbf{r}, t) = \int_0^\infty d\zeta \phi\left(\mathbf{r} - \mathbf{s}_s l_0 \zeta, t - \frac{l_0}{c} \zeta\right). \quad (59)$$

C'est par cette opération que nous remplaçons le facteur (52) dans (50):

$$\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial t} \phi(\mathbf{r}, t; M_{11} \dots) = \left\{ \left(\mathbf{a}, \frac{h c}{2\pi i} \nabla + e \mathbf{A} - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} h \mathbf{v}_s \mathbf{s}_s \right. \right. \\ \left. \left. + e V - \sum_{s\lambda} M_{s\lambda} h \mathbf{v}_s + \rho_3 m c^2 \right) \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots) \right. \quad (60)$$

$$\left. - i e \sum_{s\lambda} (2\gamma_s)^{1/2} K_{s\lambda} (M_{s\lambda}^{1/2} e^{i m_s \lambda} + e^{-i m_s \lambda} M_{s\lambda}^{1/2}) S \right\} \phi(\mathbf{r}, t; \dots M_{s\lambda} \dots).$$

Cette équation, comme nous avons montré (dans III), conduit effectivement à une énergie finie dans le problème de l'électron libre. Nous n'entrerons pas ici dans ce calcul compliqué et renvoyons aussi pour une difficulté restante à la publication complète. Comme l'énergie propre ne dépend pas des forces extérieures, on peut supposer que ce résultat est valable aussi pour un électron dans un champ magnétique ou électrique.

On obtient de (60) par un calcul complètement pareil à celui de pag. 27-28 une équation d'interaction qui dans la première approximation (pour $k_s/k_0^s \approx 1$, $S \approx i$, cf. (55)) coïncide avec (43), mais avec les valeurs

$$A_{mn}^{\pm s1} = \int d\tau \phi_m^* (\mathbf{a} \mathbf{m}_s \rho_3 + \mathbf{a} \mathbf{n}_s \rho_2) \phi_n e^{\pm i \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}} \\ A_{mn}^{\pm s2} = \int d\tau \phi_m^* (\mathbf{a} \mathbf{n}_s \rho_3 - \mathbf{a} \mathbf{m}_s \rho_2) \phi_n e^{\pm i \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}} \quad (61)$$

au lieu de (44). Ces grandeurs déterminent, comme on sait, la probabilité de transition. Sous les conditions usuelles on peut mettre $e^{\pm i \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}} \simeq 1$; d'ailleurs on a affaire seulement aux valeurs moyennes des $|A_{m_n}^{s\lambda}|^2$ sur toutes les directions des $\mathbf{m}_s, \mathbf{n}_s$. On obtient pour cela

$$\overline{|A_{m_n}^{s\lambda}|^2} = \frac{8\pi}{3} \{ |P_3^{m_n}|^2 + |P_2^{m_n}|^2 \} \quad (62)$$

où

$$P_\lambda^{m_n} = \int d\tau \phi_m^* \mathbf{a} \rho_\lambda \phi_n. \quad (63)$$

Ensuite on peut montrer que les $|P_2^{m_n}|^2$ sont de l'ordre $\gamma^2 |P_3^{m_n}|^2$, où $\gamma = \frac{2\pi e^2}{hc} \simeq \frac{1}{137}$ (constante de SOMMERFELD), de sorte que pour une évaluation non-relativiste ils peuvent être abandonnés. Or la matrice ρ_3 est égale en première approximation à l'opérateur unitaire. Il s'ensuit directement de (20) que pour $E_M = mc^2$ (1 + membres avec $1/c^2$)

$$-\rho_3 = \frac{1}{mc^2} \left\{ E_M + c \left(\mathbf{a} \cdot \mathbf{p} + \frac{e}{c} \mathbf{A} \right) + eV \right\} = 1 + m.a. \frac{1}{c}. \quad (64)$$

Par suite les probabilités de transition restent inaltérées sauf $1/c^2$.

L'admissibilité de (60), naturellement, n'est prouvée par cela encore d'aucune façon et exige encore beaucoup d'examen. Même il est un peu improbable que l'on ait été avancé à la solution complète du premier coup. Toujours nous sommes convaincus que l'introduction juste de (47) sera un des points décisifs; aussi nous croyons bien qu'un opérateur inverse (intégral) comme (54) jouera un rôle essentiel dans la théorie définitive. Il est remarquable que SCHROEDINGER (1) par des considérations complètement différentes (sur l'interdiction des transitions aux états d'énergie négative) est amené aussi à un opérateur inverse, qui dans sa première approximation est exactement identique à (47). Nous espérons en revenir encore. A présent nous re-

(1) E. SCHROEDINGER, *Sitz.-Ber. Preuss. Ak. Wiss.; phys. math. Kl.*, 1931, III.

gardons comme résultat de ces considérations : le développement d'un calcul concis, dont la covariance relativiste est toujours manifeste ; l'observation de l'analogie entre la conduite de la charge et du moment, exprimée surtout dans (51), de l'électron de DIRAC ; la proposition d'un point de vue physique qui fait chercher le manque des théories présentes dans une insuffisance non pas de la théorie quantique, mais de la théorie classique.

Coimbra, Décembre 1932.

W. WESSEL.

Sur la charge électrique du recul radioactif

Lorsqu'un atome radioactif se désintègre et émet une particule α ou β , il a été démontré que l'atome formé au cours de la transformation, recule avec une vitesse qui doit être celle qui correspond à la conservation de la quantité de mouvement du système, étant donné que l'atome radioactif constitue, très probablement, au moment de la transformation, un système conservatif.

Il est assez facile de calculer, dans ces conditions, la vitesse initiale de ces atomes de recul à partir des vitesses connues des particules α et β et du rapport des masses des deux parties en mouvement.

Si l'on considère le cas du recul α , on sait que le rapport des masses est de l'ordre de 50 et que la vitesse des particules α est de l'ordre de $1,50 \times 10^9$ cm / seg. On aura donc pour le recul α des vitesses qui seront de l'ordre de 3×10^7 cm / seg. Pour le recul β , si la vitesse initiale des rayons β est plus grande que celle des rayons α , leur masse est, par contre, beaucoup plus petite; il en résulte que la quantité de mouvement transportée par une particule β est toujours plus petite que celle des particules α . La vitesse du recul β sera donc plus faible; le calcul montre qu'elle est de l'ordre de 3×10^5 cm / seg. Cette vitesse, bien que plus petite que celle du recul α , est néanmoins un peu plus grande que la vitesse moyenne des molécules gazeuses à la température ordinaire.

Dans les deux cas envisagés, les vitesses des atomes du recul seront donc suffisantes pour permettre à ces atomes de parcourir dans un gaz pour des pressions qui ne soient pas trop élevées, des distances mesurables et qui seront d'autant plus grandes que ces pressions seront plus faibles. Dans le vide, ces atomes de

recul se propagent en ligne droite et l'on a ainsi un véritable rayonnement matériel.

On peut distinguer, comme l'a fait M.^{me} Curie, les rayons dûs au recul α des rayons dûs au recul β . M.^{me} Curie les a désignés sous les noms respectivement de rayons a et b . L'étude des propriétés de ces rayons a déjà fait l'objet d'un grand nombre de recherches et l'on a réussi, malgré les difficultés que présente cette étude, à mettre en évidence un certain nombre de propriétés importantes.

Parmi ces propriétés, on a étudié la charge électrique transportée par ces atomes de recul.

Quelle est donc cette charge ?

Cette question n'est pas susceptible d'une réponse unique. En effet, l'existence de cette charge et son signe dépendent, dans une large mesure, des conditions expérimentales sous lesquelles on peut considérer ces rayons. Il y a lieu de faire une distinction entre deux cas importants : *primo* — charge des particules au moment où elles sont émises ; *secundo* — charge des particules à la fin de leur parcours dans un gaz donné.

Pour étudier la charge des particules au moment de l'émission, les différents expérimentateurs qui se sont occupés de cette question, ont opéré dans un vide élevé. On a dans ces conditions un rayonnement sur lequel on peut faire agir un champ électrostatique ou magnétique. Si les particules qui dessinent les rayons a et b sont chargées, elles seront déviées par ces champs et le sens de la déviation donnera en outre le signe de la charge. C'est ce qui a été fait par Russ et Makower, d'une part, et Makower et Evans d'autre part. Les premiers, ont étudié l'action d'un champ électrostatique et les seconds, l'action d'un champ magnétique.

Le rayonnement sur lequel ont porté les observations de ces physiciens a été celui qui est dû à l'émission d'atomes de radium B par le radium A. Ils ont montré que ces atomes sont chargés positivement. Ce résultat est cependant contredit par d'autres expériences et semble ne pas être tout-à-fait générale. Briggs, par exemple, a montré que les atomes des émanations radioactives obtenus par recul, sont neutres, et Wertenstein arrive à une conclusion pareille en ce qui concerne le recul dû au radium C.

Examinons maintenant le second cas, celui de la charge des particules à la fin de leur parcours dans les gaz.

Cette question est étroitement liée à celle de la distribution, dans un champ électrique, de la radioactivité induite due aux émanations radioactives lorsque ces émanations sont mélangées avec les gaz.

On a fait à ce sujet beaucoup de recherches. La première de ces recherches est déjà ancienne; elle a été faite en 1900 par Rutherford. Il a montré que lorsqu'on soumet l'émanation du thorium à un champ électrique, l'activité se porte de préférence sur la cathode. Un résultat analogue a été trouvé par M.^{me} Curie dans le cas de l'émanation du radium et par M. Debierne dans le cas de l'émanation de l'actinium. Les responsables pour cette activité cathodique sont les atomes du recul radioactif; ces atomes, après leur parcours dans un gaz, doivent donc être chargés positivement. Il y a cependant des atomes du recul qui ne se portent pas sur la cathode car on trouve que l'anode peut, elle aussi, présenter, du moins sous certaines conditions expérimentales, une certaine activité, bien que cette activité soit toujours plus faible que celle déposée sur la cathode. Il est donc à décider si tous les atomes du recul, après leur passage au travers d'une matière quelconque, sont chargés positivement, ou s'il y en a qui soient neutres ou même négatifs.

Pour fixer les idées, considérons un cas bien défini, par ex., celui du dépôt actif dû à l'émanation du radium, sur lequel les recherches sont plus nombreuses.

Les résultats de ces recherches sont, comme pour le premier cas, contradictoires. Il faut chercher parmi les expériences effectuées, celles qui méritent plus de confiance. Je n'en mentionnerai donc que quelques-unes. Parmi les plus anciennes, celles de Wellisch et d'Henderson et, parmi les plus récentes, celles de Briggs et de Wertenstein.

Wellisch prétend avoir montré que, dans le cas du dépôt actif de l'émanation du radium, il y a toujours une fraction bien définie du nombre total d'atomes du recul radioactif qui sont chargés positivement, le reste étant neutre. Henderson, par contre, soutient que tous les atomes du dépôt produit par l'émanation du radium, sont chargés positivement à la fin de leur parcours dans l'air. On a donc deux conclusions contradictoires: la conclusion de Wellisch signifie — impossibilité de concentrer sur la cathode la totalité de l'activité induite, tandis que la conclusion de Henderson signifie — possibilité de recueillir sur la cathode

tous les atomes de la radioactivité induite. C'est là une question très importante pour certaines recherches de radioactivité où l'on a besoin de sources actives très intenses, qu'on ne saurait obtenir qu'à condition d'avoir un bon rendement pendant l'activation de l'électrode qui doit porter la source.

Après Wellisch et Henderson, Briggs et Wertenstein ont repris la question mais ils ont obtenu, eux aussi, des résultats contradictoires. Il y a cependant un résultat qui semble bien établi dans presque toutes les recherches entreprises, c'est l'influence de la nature du gaz et de ses conditions d'ionisation, sur le rendement de l'activation. Il semble, par exemple, que beaucoup d'atomes primitivement positifs perdent cette charge par recombinaison avec les ions négatifs très nombreux dans le gaz soumis à l'expérience. Ils peuvent devenir donc neutres ou même négatifs; il en résulte une diminution du nombre d'atomes qui doivent se porter sur la cathode.

J'ai pensé qu'il était intéressant, dans ces conditions, de se rendre compte de l'effet obtenu dans un gaz qui par ses conditions très spéciales d'ionisation pourrait augmenter, même jusqu'à 100% le rendement d'une activation. Les résultats que j'ai obtenus, il y a quelques années en collaboration avec Mr. Laporte, pour l'argon soumis à une purification aussi parfaite que possible, m'ont suggéré l'idée de faire des essais d'activation dans ce gaz. En effet, les ions négatifs dans ce gaz restent à l'état d'électrons; il est donc facile de les éliminer très rapidement du gaz et de diminuer ainsi les chances de recombinaison de ces électrons avec les atomes positifs du recul radioactif. On devrait obtenir par là une augmentation de l'activité prise par une cathode plongée dans le gaz.

J'ai fait les essais d'activation avec l'émanation du radium, en employant un champ uniforme entre deux électrodes planes. Pour tous les essais effectués, le courant de saturation, bien que très intense était obtenu pour une tension relativement très peu élevée, ce résultat ayant été déjà mis en évidence dans des recherches antérieures. On était assuré par là que tous les électrons produits pendant l'ionisation du gaz ne se recombinaient pas avec les ions positifs.

Après quelques essais, j'ai dû reconnaître que, malgré les prévisions faites, le rendement n'était pas meilleur que dans d'autres gaz. Il est à présumer dans ces conditions que les

atomes du recul radioactif ne soient vraiment pas tous chargés positivement, même dans un gaz, comme l'argon, où les conditions d'activation auraient pû paraître les meilleures.

Coimbra, Laboratório de Física, Agosto 1932.

MÁRIO A. DA SILVA.

(Boursier de la *Junta de Educação Nacional*).

O emissor de T. S. F. do Laboratório de Física da Universidade de Coimbra

O pequeno emissor de T. S. F. do Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, inteiramente construído no mesmo Laboratório, é, nos seus órgãos essenciais, uma miniatura dos grandes emissores comerciais realizados pelas casas construtoras da especialidade. A construção obedeceu a um plano simples, de maneira a obter-se um aparelho de laboratório sem complicações de manejo e funcionamento, pouco acessíveis a quem inicia o estudo das ondas hertzianas, não desprezando contudo os mais modernos dispositivos que poderiam torná-lo eficiente. Assim, este aparelho será simultaneamente utilizado para estudo e transmissão de conferências educativas que se farão ouvir num raio de alguns quilómetros, com receptores de alcance mediano.

Acompanha esta nota um esquema completo do aparelho que facilitará a sua descrição, mostrando ao mesmo tempo por uma simples inspecção a sua constituição e funcionamento.

As lâmpadas utilizadas, simples lâmpadas de recepção, não empregam tensões de placa superiores a 500 volts com um débito na amplificadora final inferior a 50 mA. Daqui se conclui a fraca potência do emissor, que não atinge 10 wates na antena. O processo de modulação (sistema Heising) permite atingir uma percentagem de modulação bastante elevada (próxima de 100 %) com a condição de cada lâmpada usar a tensão de placa e de grelha melhor indicadas para tal fim. Em boas condições de funcionamento consegue obter-se com este aparelho um rendimento que a sua fraca potência não permite supor.

Destina-se a trabalhar em ondas médias e curtas mediante a mudança das bobinas de *self* dos circuitos de alta frequência. Se em onda média (200 a 600 metros) o seu raio de acção não vai além de duas ou três dezenas de quilómetros, em onda curta

atinge algumas centenas, normalmente. Antes de entrarmos propriamente na descrição do aparelho necessitamos de dizer alguma coisa acerca da sua alimentação:

As sete lâmpadas empregadas no emissor utilizam duas tensões de filamento diferentes (4 e 8 volts), fornecidas por uma mesma bateria de acumuladores de quatro elementos, com tomada no segundo. Estes acumuladores são de capacidade superior a 60 A. H. atendendo a que o consumo total é superior a 5 A. A necessidade de utilizar uma corrente rigorosamente contínua para este fim resolveu-nos a optar por esta fonte.

A corrente de placa para as diferentes lâmpadas é também fornecida por uma bateria de acumuladores, já existente no Laboratório anteriormente, sendo de 500 volts a sua tensão máxima. O consumo total é inferior a 0,2 A. Como algumas lâmpadas funcionam com uma tensão de placa inferior à máxima, é esta baixada por meio de resistências apropriadas. As tensões de grelha são fornecidas por uma bateria de pilhas secas de 100 volts que satisfaz plenamente o fim a que se destina e cuja duração é, por assim dizer, ilimitada.

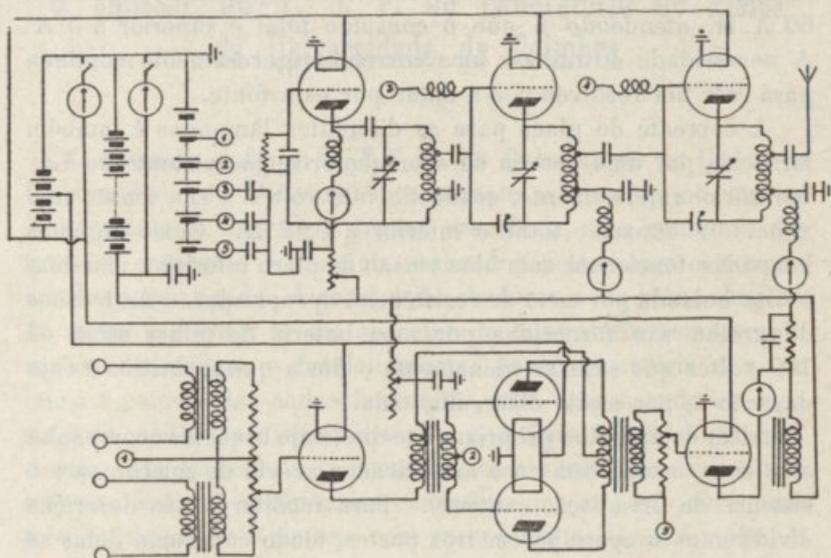
Além do aparelho propriamente dito, cujo esquema acompanha esta nota, completam-no o amplificador prévio de microfone e o sistema de irradiação (antena). Para facilitar a sua descrição dividiremos o aparelho em três partes, tendo cada uma delas as suas funções características.

- I) Oscilador e amplificador intermédio de alta frequência.
- II) Amplificador final e modulador.
- III) Amplificador de baixa frequência (audível) com amplificador prévio de microfone.

Descreveremos duma maneira rápida cada um destes órgãos mostrando apenas as suas características fundamentais.

I) Oscilador e amplificador intermédio de alta frequência. — Desempenham estes dois papéis respectivamente a primeira e segunda lâmpada da metade superior do esquema, a partir da esquerda. O oscilador é do tipo HARTLEY (alimentação em paralelo) recomendável pela simplicidade e segurança de funcionamento. Um simples condensador variável permite, utilizando uma mesma bobina de *self*, uma variação bastante extensa de comprimentos de onda da oscilação gerada por esta lâmpada.

O nosso oscilador não é controlado com quartzo, o que lhe daria uma grande estabilidade de funcionamento, mas por uma simples modificação facilmente se poderá utilizar este dispositivo, hoje adoptado pela maioria dos emissores. A lâmpada empregada é uma UX. 210 da R. C. A., que muitos emissores comerciais também utilizam, com cerca de 250 volts de tensão de



placa e um consumo normal aproximado de 25 mA. As oscilações de pequena amplitude produzidas por esta lâmpada são aplicadas entre a grelha e o filamento da lâmpada seguinte (amplificadora intermédia, que lhes aumenta a amplitude conservando-lhes a frequência. Desta maneira a energia em alta frequência cedida pelo oscilador pode ser pequena, o que bastante contribui para a sua estabilidade, apesar de a amplificadora final exigir para seu bom funcionamento correntes de grande amplitude. Como os circuitos de grelha e placa desta lâmpada estão sintonizados para o mesmo comprimento de onda ela tem tendência a oscilar, donde a necessidade de neutralizar a sua capacidade interna grelha-placa. A lâmpada empregada é igualmente uma UX. 210 com 500 volts na placa e cerca de 25 volts de tensão negativa de grelha debitando 25 mA. aproximadamente. São, em conclusão, estas duas lâmpadas destinadas à produção duma diferença de potencial alternativa de alta fre-

qüência, de amplitude conveniente, pronta a ser aplicada entre a grelha e o filamento da amplificadora final.

II) Amplificador final e modulador: A lâmpada amplificadora final é também uma UX. 210 mas funcionando em condições diferentes da anterior. É sobre ela que incide a modulação, deformando, por assim dizer, a onda persistente amplificada. A sua tensão de placa é de cerca de 300 volts sendo para uma tensão negativa de grelha de 85 volts o seu débito de 40 mA. aproximadamente. Funciona esta lâmpada como amplificadora dum tipo especial que os americanos designam simplesmente por tipo C.

É caracterizado este tipo de amplificação pela elevada tensão negativa de grelha (superior ao dôbro da indispensável para anular a corrente de placa) exigindo uma excitação cujo valor ultrapasse aquela, de maneira a que a corrente de placa atinja a saturação. Indispensável se torna portanto aplicar à grelha desta lâmpada tensões de grande amplitude, o que explica a existência duma amplificadora intermédia no nosso aparelho. Como atrás dissemos a modulação é feita pelo sistema HEISING ou modulação por placa, consistindo este sistema em alimentar a placa da amplificadora com corrente modulada fornecida por uma lâmpada UX. 250 da R. C. A., que, funcionando como moduladora, termina o amplificador de baixa frequência que adiante descreveremos. Trabalha esta lâmpada com 500 volts de tensão de placa sendo o seu consumo cerca de 50 mA. para uma tensão negativa de grelha de 95 volts. Fornecendo uma potência modulada de cerca de 5 wates é capaz de modular totalmente a energia em alta frequência fornecida por uma lâmpada de 10 wates de alimentação. Uma resistência de 500 ohms baixa a tensão para a amplificadora final enquanto um condensador de 4 microfarades apresenta um caminho fácil à corrente modulada, dado o pequeno valor de $\frac{1}{c \omega}$ mesmo para as frequências baixas.

III) Amplificador de baixa frequência com amplificador prévio de microfone: As correntes de baixa frequência fornecidas pelo microfone não são suficientemente intensas para excitarem a moduladora tendo por isso de sofrer uma amplificação, que se efectua em dois passos. O primeiro é realizado no amplificador prévio constituído por duas lâmpadas em série com um transformador de saída a cujo secundário ligam os fios que conduzem ao aparelho, onde se realiza o segundo passo de amplificação.

O esquema do amplificador prévio não está indicado na figura. A sua alimentação é constituída por pilhas secas para a tensão de placa e grelha e por uma bateria de 6 voltes para o filamento, tudo instalado numa pequena caixa com o amplificador que acompanha sempre o microfone. O amplificador encorporado no próprio aparelho, cujo esquêma compreende a parte inferior esquerda da figura, consta de três lâmpadas dispostas em dois passos de amplificação. As lâmpadas empregadas são uma A. 415 e duas B. 405 PHILIPS, com 150 voltes de tensão de placa e 4 voltes de filamento, sendo o seu consumo total inferior a 35 mA. para as tensões de grelha apropriadas (cêrca de 5 voltes para a primeira e 20 voltes para as segundas). O amplificador tem duas entradas independentes permitindo utilizar dois microfones diferentes.

A grelha da primeira lâmpada está ligada ao cursor dum potenciômetro com tomada média (*fader*) montado sôbre estas entradas, permitindo passar duma para a outra progressivamente. As duas lâmpadas seguintes funcionam em oposição (montagem push-pull) mediante utilização de transformadores especiais, o que, além de fornecer melhor qualidade de som, permite uma maior amplificação. Montado no secundário do segundo dêstes transformadores um potenciômetro de 500.000 ohmes, a cujo cursor liga a grelha da moduladora, goza o papel de regulador da excitação desta lâmpada, mantendo-a no ponto óptimo.

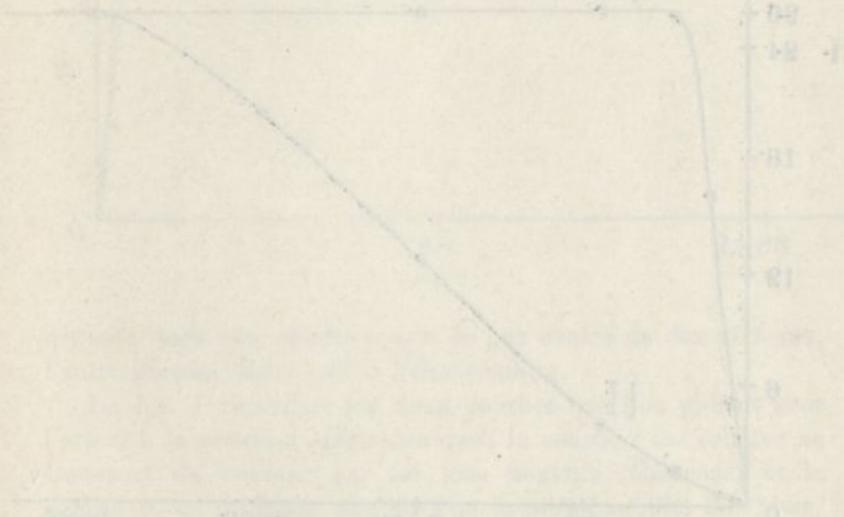
Sistema de antena: Ainda não optamos por um sistema de antena definido por não termos também escolhido o comprimento de onda em que normalmente emitiremos. Os nossos ensaios, realizados com uma antena destinada à recepção, deram resultados lisongeiros.

Funcionamento: Depois de neutralizada a capacidade interna das duas lâmpadas amplificadoras, operação a que se procede prèviamente utilizando os pequenos condensadores ajustáveis indicados no esquema, o aparelho está pronto a funcionar com a condição de tódas as tensões de grelha e placa serem as indicadas. Começa-se pelo oscilador ajustando-o para o comprimento de onda desejado pelo jôgo do condensador variável. O seu bom funcionamento pode ser verificado com um pequeno ondâmetro de absorção ou simplesmente pelas variações de corrente de placa produzidas quando se move o botão do condensador variável respectivo.

Uma vez o oscilador em funcionamento sintoniza-se o circuito de placa da amplificadora seguinte para o mesmo comprimento de onda, e o mesmo se faz para a amplificadora final, tendo o cuidado de, para esta, regular a excitação de grelha de maneira a que a sua corrente de placa seja a indicada (40 mA). Consegue-se isto deslocando o cursor indicado no esquema sobre a bobina de *self* do circuito placa da lâmpada anterior. Pelo manejo do potenciômetro regulador de volume mantém-se a excitação da moduladora de maneira a que, sendo máxima a intensidade de som obtido, a agulha do miliamperômetro intercalado no circuito placa não oscile.

Resultados obtidos: As nossas emissões de experiência com onda de 290 metros realizadas no fim do ano lectivo passado pouco nos disseram do alcance efectivo do aparelho. Num raio de 10 quilómetros a audição era muitíssimo forte com receptores medianos e a reprodução de grande fidelidade. Durante o ano corrente faremos experiências com ondas curtas podendo no entanto afirmar de antemão que facilmente se conseguirão comunicações com a maioria dos países da Europa Central.

J. TEIXEIRA LOPES.



L'ionisation dans l'hydrogène très pur

D'après quelques résultats que j'ai déjà signalés dans un travail antérieur (1), j'ai été conduit à admettre l'existence d'ions positifs très mobiles dans l'hydrogène soumis à une purification

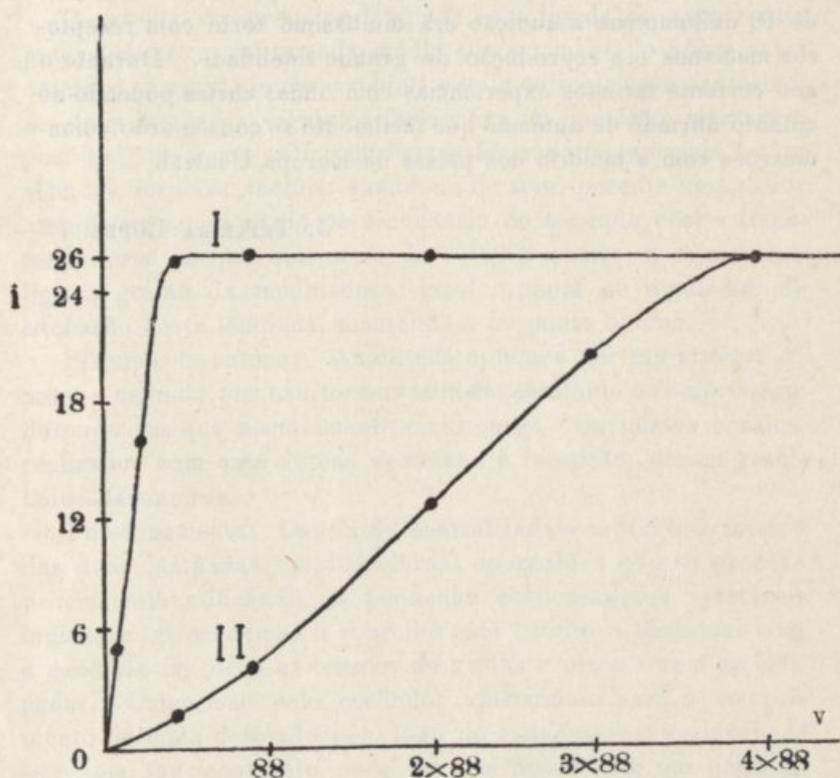


Fig. 1

(1) MÁRIO A. DA SILVA. Recherches expérimentales sur l'électroaffinité des gaz. *Annales de Physique*, x serie, tome XII, 1929.

aussi parfaite que possible. J'ai repris récemment cette question en comparant les courbes d'ionisation obtenues dans l'hydrogène avec celles de l'argon.

Les courants d'ionisation sont produits dans une chambre d'ionisation parfaitement étanche, entre deux plateaux parallèles distants de 5^{cm}. L'agent ionisant produit des ions positifs et

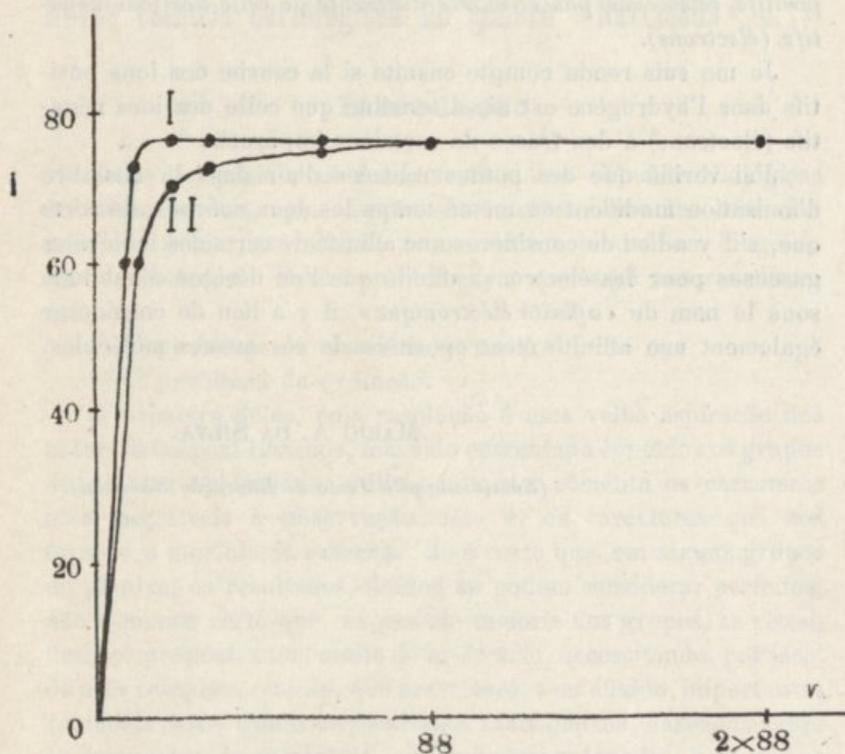


Fig. 2

négatifs dans une couche mince de gaz contre un des plateaux, l'autre plateau étant relié à l'électromètre.

La fig. 1 reproduit les deux courbes que l'on obtient avec l'argon à la pression atmosphérique; la courbe I est relative au transport du courant par les ions négatifs (électrons) et la courbe II, au transport par les ions positifs (mobilité 2,2^{cm}/seg/volt/^{cm}).

La fig. 2 montre ces mêmes courbes pour l'hydrogène (même pression que pour l'argon); si l'on compare ces courbes avec celles de la fig. 1, on vérifie que pour l'hydrogène, la courbe

des ions positifs n'est pas très différente de celle des ions négatifs (électrons) ce qui n'est pas le cas pour l'argon où les deux courbes sont très différentes. On en conclut que dans l'argon les deux espèces d'ions ont des mobilités très différentes (en accord avec ce que j'ai moi-même établi depuis longtemps) tandis que *dans l'hydrogène la valeur moyenne de la mobilité des ions positifs semble ne pas être très différente de celle des ions négatifs (électrons)*.

Je me suis rendu compte ensuite si la courbe des ions positifs dans l'hydrogène est aussi sensible que celle des ions négatifs (électrons) à des traces de certaines impuretés.

J'ai vérifié que des petites rentrées d'air dans la chambre d'ionisation modifient en même temps les deux courbes, de sorte que, s'il y a lieu de considérer une affinité de certaines molécules gazeuses pour les électrons, affinité que l'on désigne d'habitude sous le nom de « *affinité électronique* », il y a lieu de considérer également une affinité électropositive de ces mêmes molécules.

MARIO A. DA SILVA.

(Subsidiado pela Junta de Educação Nacional).

Novos estudos cariológicos no género «Narcissus» L. (1)

Introdução

Entre os problemas fundamentais das Ciências Biológicas destacam-se dois, que, a-pesar-do interesse que lhe tem sido devotado pelos naturalistas, se encontram ainda bem longe de estar resolvidos. Êsses problemas, a que aqui nos referimos, são :

- 1) O problema da classificação natural;
- 2) O problema da evolução.

O primeiro dêles, cuja resolução é uma velha aspiração dos naturalistas post-lineanos, tem sido enfrentado em todos os grupos de plantas conhecidos, utilizando quasi sòmente os caracteres mais acessíveis à observação, isto é, os caracteres que nos fornece a morfologia externa. Se é certo que, em alguns grupos de plantas, os resultados obtidos se podem considerar perfeitos, não é menos certo que, na grande maioria dos grupos, as classificações propostas têm muito de arbitrário, necessitando, por isso, de uma completa revisão, que acarretará, sem dúvida, importantes remodelações. Como os resultados taxonómicos, baseados sòbre os caracteres da morfologia externa, foram levados, pelo menos em certos grupos, o mais longe possível, e se mostram incapazes de, por si só, resolver os diversos problemas que se nos propõem, será necessário recorrer a outros caracteres, que possuam indubitável valor taxonómico, e que, associando-se aos caracteres da morfologia externa, nos conduzam a uma solução, senão definitiva, pelo menos satisfatória, dos problemas em questão.

Aos caracteres da morfologia externa teremos, pois, de adicionar os dados fornecidos pela anatomia, pela embriologia e pela

(1) Dissertação para concurso a professor auxiliar de Botânica da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra.

fitogeografia. Mas, já que uma classificação natural se deve basear no conjunto da organização dos seres vivos, não possuíremos mais recursos? A esta pergunta podem responder-nos os trabalhos já efectuados em dois ramos, ainda muito jovens, da Botânica, o futuro dos quais se nos afigura, contudo, bastante ridente: a serologia e a cário-sistemática. Deixando de lado a serologia, o valor da qual, no estabelecimento de relações filogenéticas, se encontra já afirmado, ocupemo-nos do recente ramo da citologia, que aqui nos interessa mais directamente. Todos os trabalhos realizados especialmente durante as três últimas décadas, quer no campo da cariologia, quer no da genética, demonstram de uma maneira iniludível a individualidade dos cromosomas e a sua continuidade genética. Estas particularidades tão interessantes dos cromosomas não passaram despercebidas aos primeiros citologistas, os quais, desde início, atribuíram grande importância a esses organitos, importância essa que está sendo confirmada cada vez mais.

S. NAWASCHIN e os seus discípulos M. NAWASCHIN e DELAUNAY, empregando processos técnicos adequados, conseguiram verificar a existência, nos cromosomas que constituem o complexo cromosómico de cada indivíduo, de um rico conjunto de características morfológicas (tamanho, constrictões primárias, constrictões secundárias, diferenças de comprimento entre ramos, satélites etc.), que possuíam um elevado grau de constância.

As descobertas dos citologistas russos tornaram possível o estudo minucioso do idiograma de qualquer espécie, e permitiram o estudo comparativo dos idiogramas de formas relacionadas. Assim nasceu a cariologia comparada, que em breve se mostrou, graças à constância do número e dos caracteres morfológicos dos cromosomas, susceptível de ser aplicada à resolução de problemas taxonómicos. Os trabalhos de S. NAWASCHIN e dos seus discípulos serviram, assim, de alicerce para a construção de um novo edifício — a cário-sistemática — que actualmente está tendo um grande incremento.

A aplicação da cariologia à sistemática só muito recentemente começou a ser feita de uma maneira eficaz, mas, apesar disso, os resultados obtidos são realmente de molde a incitar-nos na sua continuação. Esses resultados foram compilados por nós num trabalho precedente (1931 *b*), e mais recentemente, de uma maneira mais completa, por BRUUN (1932 *a*). Indicamos ao

leitor, desejoso de conhecer êsses assuntos, os trabalhos mencionados.

Como a cário-sistemática é bastante recente, compreende-se que só tenham sido investigados ainda pequenos grupos, especialmente géneros, e que os estudos efectuados abranjam, só em muito poucos casos, a maioria das espécies que os compõem. Como, por outro lado, os géneros estudados, mostram já nitidamente que reina uma grande diversidade no que respeita às relações entre a citologia e a taxonomia dentro do género, será ousado generalizar os resultados obtidos antes de se estudarem mais extensivamente os géneros principiaidos e estender as investigações a outros pertencentes aos mais variados grupos de plantas. Na maior parte dos casos tem-se notado a mais estreita concordância entre os resultados obtidos independentemente pela cariologia e pelos estudos sôbre a morfologia externa, o que demonstra, de uma maneira indiscutível, o valor taxonómico dos cromosomas, e nos deve encorajar a continuar pelo caminho encetado. Contudo, muito trabalho será necessário realizar ainda, a-fim-de se obterem conclusões definitivas.

Com o objectivo de contribuímos um pouco para a expansão dos conhecimentos acêrca das relações entre a cariologia e a sistemática, iniciámos em 1930 o estudo cariológico do género *Narcissus*. Os resultados das nossas primeiras investigações, as quais abrangeram 12 espécies espontâneas da flora de Portugal, foram por nós apresentados num trabalho anteriormente publicado (FERNANDES, 1931 a). Estes resultados podem ser assim resumidos:

O género *Narcissus* não é, como se poderia pensar em face dos números de cromosomas conhecidos no início das nossas investigações, um género poliplóide com o número fundamental 7. Os números de cromosomas encontrados nas diversas espécies, em exemplares provenientes do estado selvagem, são 5, 6 e 7 formando, por isso, uma série irregular aditiva. Devido a êste comportamento, *Narcissus* é um género que poderá ser incluído no quarto grupo dos formulados por TISCHLER em 1928 e 1929 (tipo *Carex*) ou no segundo grupo dos estabelecidos por JORGENSEN (1928).

Estudando, depois, as relações entre a cariologia e a taxonomia, chegámos à seguinte conclusão:— Seguindo os pontos de vista do taxonomista português GONÇALO SAMPAIO, no que res-

peita à delimitação das espécies do género, tódas as espécies se podem distinguir pelos seus idiogramas. Seguindo, porém, as opiniões de outros taxonomistas também portugueses (PEREIRA COUTINHO e JÚLIO HENRIQUES) verificamos que só poucas espécies próximas, apresentam idiogramas semelhantes: — *N. reflexus* e *N. triandrus*, *N. scaberulus* e *N. calcicola*, *N. pseudonarcissus* e *N. minor* —. Dêste modo *Narcissus* parece ser um género extremo em que a diferenciação das espécies foi acompanhada pela diversificação dos complexos cromosómicos.

O estudo comparativo dos idiogramas das 12 espécies estudadas permitiu-nos lançar novos pontos de vista sôbre a taxonomia dêste género, que sempre se tem mostrado rebelde ao tratamento pelos dados da morfologia externa, tornando possível a elaboração de uma classificação que, na nossa opinião, se encontra muito mais de acôrdo com os caracteres da morfologia externa do que as que até aqui foram emitidas pelos investigadores que se apoiaram sòmente sôbre aqueles caracteres. A classificação então proposta foi a seguinte:

1.º Sub-género: — Complexo cromosómico constituído por 7 pares de cromosomas com os caracteres morfológicos definidos na fórmula geral: 4 a 5 Lp + 3 a 2 PP.

1.ª Secção: 4 Lp + 3 PP.

N. bulbocodium L.

N. triandrus L.

N. reflexus Brot.

2.ª Secção: 5 Lp + 2 PP.

N. pseudonarcissus L.

N. minor L.

2.º Sub-género?: — Complexo cromosómico constituído por 6 pares de cromosomas: 4 Lp + 2 PP.

Secção única

N. gaditanus Bss. et Reut. var. *minutiflorus* (Wk.).

3.º Sub-género: — Complexo cromosómico constituído por 5,

6 ou 7 pares de cromosomas. Existência de cromosomas L L (ou Ll), Lm e Lp; os cromosomas P P faltam numa espécie e são representados nas outras só por um par.

1.^a Secção: 5 cromosomas

N. odorus L.

N. tazetta L.

2.^a Secção: 6 cromosomas

N. rupicola Duf.

N. scaberulus Henriq.

N. calcicola Mend.

3.^a Secção: 7 cromosomas

N. jonquilla L. var. *jonquilloides* (Wk.).

Como se vê, a divisão em sub-géneros foi efectuada tomando por base a forma dos cromosomas determinada pela posição da contração cinética. O primeiro sub-género estabelecido é muito homogéneo, sendo bem caracterizado pelo seu número básico (7) e pelo facto de todas as espécies possuírem cromosomas do mesmo tipo, diferindo somente no número de cromosomas de cada tipo. O terceiro sub-género é heterogéneo no que respeita ao número de cromosomas, mas, nos complexos cromosómicos de todas as espécies, encontram-se cromosomas do mesmo tipo ou de tipos muito próximos.

No primeiro sub-género as secções foram obtidas agrupando as espécies que possuem o mesmo número de cromosomas do mesmo tipo, e no terceiro, reunindo as espécies que têm o mesmo número básico.

A posição da espécie *N. minutiflorus* Willk. (1) é, na nossa

(1) PEREIRA COUTINHO, na sua *Flora de Portugal*, considera *N. minutiflorus* Willk. como sub-espécie de *N. gaditanus* Bss. et Reut; GONÇALO SAMPAIO, que nunca conseguiu examinar exemplares de *N. minutiflorus* Willk., considera *N. gaditanus* Bss. et Reut. como uma variedade de *N. jonquilloides* Willk. Admitindo a opinião de PEREIRA COUTINHO, no que respeita a *N. minutiflorus* Willk., era, logicamente, levado a considerar também este último

classificação, bastante duvidosa, pois que, tendo cromosomas morfológicamente semelhantes aos que se encontram nas espécies do primeiro sub-género, se afasta delas pelo seu número. Por isso, criámos provisoriamente o segundo sub-género, constituído só por esta espécie, esperando que investigações ulteriores viessem confirmar ou infirmar êste ponto de vista. Adiante veremos o que as novas investigações efectuadas nos dizem sobre o assunto.

Uma classificação mais precisa e definitiva do género só poderá ser feita depois de se fazer o estudo de tôdas, ou, pelo menos, de quási tôdas, as espécies que o compõem, objectivo que sempre tivemos em vista desde que iniciámos as nossas investigações. Como não temos facilidade em reunir rapidamente tôdas as espécies que ainda não estudámos, resolvemos publicar a pouco e pouco os resultados obtidos pelo estudo das espécies que vamos lentamente reunindo. Das vinte e uma ou vinte e duas espécies reconhecidas por BAKER (1888) e RICHTER (1890) faltou-nos, no nosso primeiro trabalho, fazer o estudo de *N. incomparabilis* Mill., *N. juncifolius* Lag., *N. biflorus* Curt., *N. poeticus* L., *N. intermedius* Lois., *N. viridiflorus* Schousb., *N. serotinus* L., *N. elegans* Spach., *N. Broussonetii* Lag. e *N. cyclamineus* DC.. Como conseguimos adquirir material de plantas que foram por nós classificadas como *N. incomparabilis* Mill., *N. biflorus* Curt., *N. intermedius* Lois. e *N. cyclamineus* DC. e fizemos o seu estudo cariológico, vimos, agora, juntar aos dados que já possuíamos aqueles que resultaram do estudo destas plantas. Seria

narciso como variedade de *N. jonquilloides* Willk. Num trabalho recente (1931) GONÇALO SAMPAIO considera *N. minutiflorus* Willk. como uma espécie distinta, conclusão esta a que foi conduzido pela apreciação atenta da diagnose e da estampa publicadas por WILLKOMM. Entretanto, o autor continua a manter *N. gaditanus* Bss. et Reut. como variedade de *N. jonquilloides* Willk. com o qual apresenta muitas analogias. No nosso trabalho precedente (1931b), aparecido anteriormente ao de GONÇALO SAMPAIO, nós acentuámos que *N. minutiflorus* Willk. é cariologicamente muito diferente de *N. jonquilloides*, pois que difere dele, não só no número mas também na morfologia dos cromosomas. Sugerimos, por isso, que *N. minutiflorus* devia ser considerado uma espécie distinta, graças às analogias entre *N. gaditanus* e *N. jonquilloides*. É bastante digna de nota a concordância, obtida por caminhos tão diferentes, entre os nossos resultados e os de GONÇALO SAMPAIO. Dêste modo, trataremos, para o futuro, *N. minutiflorus* como espécie autónoma, e consideraremos *N. gaditanus* como variedade de *N. jonquilloides* Willk.

para nós muito importante estudar alguns dos narcisos outonais, mas, infelizmente, não conseguimos ainda obter material; esperamos, no entanto, adquirir brevemente exemplares de *N. serotinus* L., o que nos permitirá iniciar o estudo destas interessantes plantas.

O primeiro objectivo d'este trabalho, foi, pois, aumentar os conhecimentos já adquiridos sobre a carilogia do género, estudando outras espécies não incluídas no nosso trabalho precedente. Não foi, contudo, só este o alvo que norteou a elaboração do trabalho que agora apresentamos. É bem conhecido, e até mesmo proverbial, o extraordinário polimorfismo de algumas espécies do género, e, debaixo d'este ponto de vista, são particularmente interessantes *N. bulbocodium* L., *N. pseudonarcissus* L., *N. tazetta* L. e *N. jonquilla* L., espécies estas constituídas por uma quantidade enorme de formas, muitas das quais têm sido consideradas, por muitos taxonomistas, espécies distintas. ¿Esse polimorfismo não será susceptível de ter uma explicação cariológica? Para respondermos a esta pergunta fizemos o estudo de exemplares da mesma espécie colhidos em localidades diversas, e pensamos ter adquirido alguns dados interessantes para a explicação do fenómeno apontado.

O estudo dos complexos cromosómicos das espécies incluídas no nosso trabalho anterior não foi muito perfeito, em virtude de nos termos limitado ao emprêgo do método de Heitz, da cozedura em carmin-acético, que intumescce muito os cromosomas e não permite, a não ser em raros casos, verificar se existem ou não satélites. Pelo emprêgo de uma técnica mais perfeita, precisaremos, agora, os dados obtidos sobre a morfologia dos cromosomas de algumas espécies já estudadas por aquele método, e procuraremos ampliar esses dados particularmente no que respeita à existência ou não existência de satélites e às características morfológicas destes.

O segundo problema atrás mencionado, ou seja o problema da evolução, tem despertado um interêsse ainda maior do que o primeiro a que nos referimos. Que os seres vivos de uma determinada época podem, por transformação, dar origem a outros seres vivos diferentes, é, há já muito tempo, um facto estabelecido e do qual não duvida nenhum biologista actual. Para adquirirmos uma boa compreensão da evolução necessitamos, porém, conhecer as causas e a maneira como os seres vivos se transformam de modo a produzirem novas formas.

Durante os últimos 30 anos, o problema da evolução tem sido atacado especialmente no campo da genética experimental e no da citologia, e podemos já dizer que se começa a levantar o véu que, durante muito tempo, escondeu ciosamente aos nossos olhos os factos que poderiam conduzir a uma interpretação correcta do mecanismo da evolução. Estudos intensos, efectuados em diversos organismos, tanto animais como vegetais, pertencentes aos mais variados grupos, puseram em evidência uma nova modalidade de variação — a mutação — que até 1900, ou tinha passado desapercibida, ou não se lhe tinha ligado importância de maior. As mutações, variações bruscas de grande ou pequena amplitude, afectando qualquer órgão e produzindo-se em qualquer direcção, têm todos os requisitos para nos fornecerem uma explicação satisfatória da evolução, em virtude de a sua ocorrência ser bastante freqüente (muito mais do que primitivamente se pensava) e de possuírem a particularidade notável de se transmitirem hereditariamente. Dêste modo, as mutações correspondem, necessariamente, a alterações do conjunto de genes do individuo, mas o mecanismo da sua produção é ainda bastante obscuro.

As mutações podem ser originadas por alterações germinais de tipo muito diferente e, tem-se tentado fazer a sua classificação. Por conveniência de exposição nós poderemos, no entanto, reuni-las em dois grupos:

1) Mutações produzidas por alterações de genes (*mutações de genes* ou *mutações factoriais*).

Estas alterações do equipamento genético do individuo não se poderão pôr em evidência citològicamente, mas podem fazer-se notar por meio de experiências genéticas adequadas.

2) Mutações que têm por causa alterações cromosómicas de tipos diversos, e que podem ser postas em evidência pela investigação citològica, ou, algumas delas, de uma maneira mais precisa por observações citològicas associadas a experiências genéticas (poliplòidia, polisomia, eliminação de cromosomas ou de partes, fragmentação, associação ou fusão, translocação, deleccão, inversão, etc.).

As mutações do primeiro grupo ocorrem freqüentemente, como o demonstram as investigações de BAUR, em *Antirrhinum* e *Dianthus*, e as de T. H. MORGAN e seus discípulos em *Drosophila*, embora a percentagem dessas mutações seja diferente

conforme os grupos investigados. Elas aparecem, não só no material de culturas laboratoriais, mas também nas condições naturais. As mutações do segundo grupo aparecem, também, em material proveniente do estado selvagem, assim como no das culturas experimentais.

Por outro lado, tem-se verificado que, pela acção de diversos agentes — temperatura, luz, raios X, emanações do rádio, raios ultra-violetas, etc. — se pode intensificar a frequência da produção de mutações de um e outro tipo (NAWASCHIN em *Crepis*, GOODSPEED em *Nicotiana*, DE MOL em *Hyacinthus*, LEWITSKY em *Crepis*, PAINTER e MULLER em *Drosophila*, SEREBROVSKY também em *Drosophila*, etc.), o que nos leva a pensar que são aqueles agentes, ou outros, actuando do mesmo modo, os responsáveis pelas modificações observadas nas condições naturais. Verificados estes factos, torna-se, portanto, necessário estudar cada vez mais intensamente as modificações germinais que os indivíduos sofrem nas condições naturais, e procurar, ao mesmo tempo, quais são os agentes e por que mecanismo elles actuam na sua produção.

É natural que, em alguns grupos de seres vivos, a evolução proceda somente por mutações factoriais, ficando assim o complexo cromosómico inalterado no que respeita ao número e às outras características morfológicas dos cromosomas. Parece demonstrar este facto a existência de grupos mais ou menos extensos de formas relacionadas que possuem complexos cromosómicos semelhantes (género *Aloë*, *Tulipa*, *Antirrhinum*, etc.). Noutros grupos, porém, a evolução pode ter procedido pela acção isolada das mutações do segundo tipo, ou, o que é mais natural, pela acção combinada das mutações dos dois tipos. Nestes grupos de seres vivos a evolução deve, necessariamente, afectar o complexo cromosómico, ocasionando modificações, quer no número, quer nas características morfológicas dos cromosomas. Deste modo, o estudo cariológico comparativo de formas relacionadas poderá elucidar-nos acerca dos processos pelos quais os complexos cromosómicos de umas se podem converter nos de outras, permitindo-nos assim reconstruir o caminho da evolução. Compreende-se, pois, quanto a carilogia comparada poderá contribuir para a resolução do problema em questão. Os resultados das investigações de DELAUNAY em *Muscari*, *Belevallia* e *Ornithogalum*, de NAWASCHIN em *Crepis*, de BABCOCK também

em *Crepis*, de DARLINGTON em *Trasdescantia*, de HEILBORN em *Carex*, de BRUUN em *Primula*, de LEWITSKY nas *Helleborea*, etc. são bastante animadores, a-pesar-de mostrarem, de uma maneira bem nítida, a enorme complexidade do problema.

Durante as nossas investigações precedentes adquirimos a convicção de que o género *Narcissus* é recente e se encontra em plena expansão, o que é atestado pela existência de um pequeno número de espécies colectivas, constituídas por uma grande quantidade de formas, algumas das quais bem distintas, diferenciadas a partir do mesmo material inicial. Aquela nossa convicção sugeriu-nos a ideia de obtermos, pelo estudo comparativo de formas diferentes da mesma espécie, alguns dados acêrca dos processos que estão actualmente operando, nas condições naturais, na diferenciação de novas formas. Dêste modo, procuraremos descortinar os processos e as tendências evolucionárias do género. Os conhecimentos por nós adquiridos, pelo estudo comparativo dos idiogramas de 12 espécies, foram tão magros que não nos permitiram traçar de uma maneira satisfatória a evolução do complexo cromosómico do género. Sugerimos, então, em face dos resultados obtidos, que as relações cromosómicas entre as espécies só poderiam explicar-se pela não-disjunção dos cromosomas Lp e PP, e por hibridação. Tentaremos agora, em face dos dados que já possuíamos e dos que actualmente adquirimos, traçar, de uma maneira mais completa, a evolução do referido complexo cromosómico.

Resumindo, poderemos dizer que os objectivos que nortearam a elaboração dêste trabalho foram os seguintes:

1.º Alargar os nossos conhecimentos sôbre a cariologia do género *Narcissus*, pelo estudo de espécies não incluídas nas nossas primeiras investigações.

2.º Fazer o estudo mais rigoroso do complexo cromosómico de algumas espécies já estudadas, utilizando uma técnica mais perfeita do que a primitivamente empregada.

3.º Introduzir, no sistema de classificação do género, espécies que ainda não tinham sido estudadas, e aperfeiçoar o sistema proposto pelo esclarecimento de alguns pontos que nos pareciam duvidosos.

4.º Obter a explicação cariológica do extraordinário polimorfismo de algumas espécies (*N. bulbocodium* L. e *N. tazetta* L.).

5.º Procurar, no campo citológico, os processos que actuaram e estão actuando na evolução do género, de modo a obtermos dados que nos permitam fazer a reconstituição da evolução do seu complexo cromosómico.

Assim, este trabalho será uma tentativa de resolução, para o género *Narcissus*, dos dois problemas que atrás apresentámos, e os nossos resultados poderão contribuir, associados com os alcançados por outros investigadores em outros géneros, para a formulação de doutrinas gerais que solucionem questões de tanta importância. Como se vê, o presente trabalho não é senão a continuação do anterior. Ele representa apenas mais um pequeno avanço dos nossos conhecimentos sobre a cariologia do género, visto que nos resta ainda estudar algumas espécies. Em trabalhos ulteriores tentaremos completar o estudo de que agora publicamos a segunda parte, e, ao mesmo tempo, procuraremos resolver outros problemas interessantes que se nos depararam no decorrer destas investigações.

Agradecimentos:

Ao Ex.º sr. Prof. Dr. LUIS WITTNICH CARRISSO, Director do Instituto Botânico, nós agradecemos reconhecidamente o ambiente de simpatia com que sempre nos envolveu, os incitamentos que dêle recebemos e os esforços que dispendeu para que nada nos faltasse no decorrer das nossas investigações.

Ao Ex.º sr. Prof. Dr. AURÉLIO QUINTANILHA, nosso iniciador nos trabalhos de investigação científica e por quem sentimos a mais profunda admiração, agradecemos o interesse com que sempre acompanhou o nosso trabalho, as suas profíguas sugestões e a sua tão proveitosa crítica.

Ao Ex.º sr. Prof. Dr. EUSÉBIO TAMAGNINI, agradecemos os recursos bibliográficos que nos forneceu, pondo à nossa inteira disposição a rica Biblioteca do Instituto de Antropologia.

Ao Ex.º sr. Dr. FRANCISCO DE ASCENÇÃO MENDONÇA, naturalista do Instituto Botânico, deixamos também aqui consignados os nossos melhores agradecimentos pelas informações que nos forneceu acerca da sistemática do género *Narcissus*.

Ao Ex.º sr. Dr. JOSÉ GONÇALVES GARCIA, nosso colega no Instituto Botânico, agradecemos o auxílio que nos prestou na ingrata tarefa de rever as provas.

Ao sr. ANTÓNIO CABRAL, preparador do Instituto Botânico, agradecemos o auxílio inteligente que nos prestou na execução da parte técnica do presente trabalho.

Ao sr. FRANCISCO DE SOUSA, colector do Instituto Botânico, devemos algum material, que êle colheu para nós durante as suas excursões.

Aos srs. JOSÉ DA SILVA e FRANCISCO CABRAL, agradecemos também os auxílios que nos prestaram durante a elaboração deste trabalho.

Finalmente agradecemos, à Direcção da *Revista da Faculdade de Ciências*, a amabilidade com que acolheu este nosso trabalho na sua prestigiosa publicação.

Instituto Botânico, Fevereiro de 1933.

CAPÍTULO I

Material e técnica. Terminologia

a) MATERIAL E TÉCNICA

Para efectuarmos trabalhos delineados tínhamos necessidade de colher material, de indivíduos da mesma espécie, proveniente de localidades diversas. Isto foi por nós realizado durante algumas excursões através de Portugal, efectuadas, especialmente, durante as férias da Páscoa de 1931. Essas excursões permitiram-nos recolher numerosos bolbos de narcisos, pertencentes às espécies *N. bulbocodium* L., *N. reflexus* Brot. e *N. tazetta* L. Os bolbos recolhidos, conjuntamente com alguma terra do lugar de origem, foram transportados para o Jardim Botânico, onde foram colocados em vasos e onde se encontram ainda. Outro material, incluído também no nosso estudo (*N. pseudonarcissus* L., *N. biflorus* Lois., *N. incomparabilis* Mill., e *N. intermedius* Curt.), fazia parte da colecção de bolbosas do nosso jardim. A sua origem é, infelizmente, desconhecida. Na exposição pormenorizada das observações efectuadas indicaremos as localidades de onde o material é proveniente.

O estudo dos cromosomas pode ser efectuado nas divisões somáticas, ou então nas divisões de redução das células mãis dos grãos de pólen. Nas divisões de redução as determinações dos números de cromosomas são mais fáceis de realizar do que nas divisões dos tecidos meristemáticos do soma; mas, naquele caso, os cromosomas apresentam-se de tal modo condensados que o estudo das suas características morfológicas é muito difícil de efectuar. Por isso, preferimos fazer o estudo dos cromosomas nas mitoses somáticas. Os órgãos, naturalmente indicados para

esta espécie de estudos, são os vértices vegetativos das raízes, em virtude de, nos narcisos, se obterem com profusão no período da sua actividade vegetativa, e de as figuras de mitose aí apparecem sempre em grande quantidade. Efectivamente, poucos insucessos se podem ter no que respeita à não existência de figuras de mitose, a qualquer hora que se façam as fixações, pois, como é sabido, a actividade de divisão das células das monocotiledóneas pouco varia durante o dia. Utilizámos, por isso, os vértices vegetativos das raízes, e só, de uma maneira accessória, quando não tínhamos esses órgãos à disposição, empregámos ovários jovens.

A parte mais delicada da técnica, para o estudo dos cromosomas somáticos, é a escolha do fixador, pois, como acentua LA COUR (1931), «*perfect fixation of the chromosomes is a prerequisite for their correct description*». Um bom fixador tem, segundo o mencionado autor, de satisfazer às seguintes condições: 1) penetrar rapidamente sem plasmolizar o citoplasma; 2) conservar a distribuição natural dos cromosomas; 3) dar uma definição clara das constrições e dos satélites.

Os fixadores, que, até hoje, têm sido utilizados neste capítulo com mais êxito, são as misturas de ácido crómico, ácido acético e formol. A fim de nos decidirmos na escolha de um fixador que satisfizesse às condições atrás expostas, fizemos, a princípio, uma longa série de fixações utilizando líquidos diferentes, e comparámos em seguida os resultados obtidos. Os fixadores empregados foram os seguintes:

1 — Líquido cromo-acético forte (fórmula de CHAMBERLAIN):

Ácido crómico.	1 gr.
Ácido acético glacial.	1 cc.
Água destilada	100 cc.

2 — Líquido HELLY:

Água destilada	100 cc.
Bicromato de potássio.	2,5 gr.
Sublimado	5 gr.
No momento do emprêgo junta-se a 9 cc. desta mistura:	
Formol a 30 0/0.	1 cc.

3 — Fixador de LA COUR 2 B:

Ácido crómico a 1 ^o / ₀	90 cc.
Bicromato de potássio	1 gr.
Sulfato de sódio.	0,5 gr.
Ureia.	1 gr.
Ácido acético a 5 ^o / ₀	10 cc.
Ácido ósmico a 2 ^o / ₀	15 cc.
Água destilada	45 cc.

4 — Líquido de FLEMMING (forte):

Ácido crómico a 1 ^o / ₀ (solução aquosa) . .	15 partes
Ácido ósmico a 2 ^o / ₀ (solução aquosa). . .	4 partes
Ácido acético glacial.	1 parte

5 — Líquido de S. NAWASCHIN:

Ácido crómico a 1 ^o / ₀	10 partes
Formol a 40 ^o / ₀	4 partes
Ácido acético glacial.	1 parte

O formol adiciona-se à mistura cromo-acética no momento do emprêgo.

6 — Líquido de NAWASCHIN (segundo KARPECHENKO):

Ácido crómico a 10 ^o / ₀ (solução aquosa). .	1,5 cc.
Ácido acético a 10 ^o / ₀ (solução aquosa) . .	10 cc.
Formol (40 vol.) 10 ^o / ₀	8,30 cc.
Água destilada	16,20 cc.

7 — Líquido de NAWASCHIN (segundo BRUUN):

SOLUÇÃO A:

Ácido crómico.	2 gr.
Ácido acético glacial.	20 cc.
Água destilada	130 cc.

SOLUÇÃO B:

37 cc. de formol do comércio diluídos a 150 cc.

No momento do emprêgo juntam-se partes iguais das duas soluções A e B.

O líquido cromo-acético forte mostrou-se, desde início, inaplicável, em virtude de intumescer exageradamente os cromosomas, provocar uma forte plasmólise e não mostrar nitidamente as constrictões. Contudo, forneceu-nos algumas figuras razoáveis, embora elas fôsem bastante raras. Dos fixadores de HELLY, LA COUR 2B e FLEMMING forte, o mais vantajoso é, sem dúvida, o líquido de LA COUR 2B, que dá uma definição bastante clara das constrictões e dos satélites, o que não acontece com os outros. Todos têm, porém, a desvantagem de conservar muito bem o citoplasma, que, ficando excessivamente corado, dificulta a obtenção de imagens bastante nítidas dos cromosomas. O líquido de HELLY é, ainda, destes três fixadores, o menos vantajoso, pois que, em cortes corados pela hematoxilina férrica, os cromosomas, durante a diferenciação em alumen de ferro amoniacal, descoram muito rapidamente, ficando ainda o citoplasma muito intensamente corado. O fixador de NAWASCHIN, ou seja a formalina cromo-acética, assim como as suas diversas modificações, forneceram-nos os resultados mais vantajosos. Efectivamente, com êle obtem-se uma perfeita diferenciação dos cromosomas num citoplasma bastante transparente, o que dá às metafases uma nitidez que não se consegue com outros fixadores. As propriedades, que êste fixador possui, de destruir parcialmente o citoplasma, de conservar os cromosomas nas placas na sua posição natural, de conservar os satélites e de dar uma definição nítida das constrictões, indicam-no, logicamente, para ser utilizado no estudo da morfologia dos cromosomas. Com os vértices vegetativos das raízes dos narcisos os melhores resultados foram, ainda, os obtidos pelo emprêgo da modificação de BRUUN (1932 b). O líquido de NAWASCHIN não modificado, assim como o mesmo, modificado por KARPECHENKO, produziram, quási sempre, uma forte plasmólise que, aglutinando os cromosomas, tornava quási impossível o estudo das placas equatoriais. Muito boas figuras foram, no entanto, encontradas em algumas plantas fixadas naqueles líquidos. Empregando o líquido de NAWASCHIN, modificado por BRUUN, que é aquele fixador diluído, a plasmólise é muito rara e quási tôdas as figuras são de uma grande nitidez. Por isso, foi êste o fixador utilizado em maior escala. Na expli-

cação das figuras indicaremos o meio de fixação com que cada uma foi obtida.

A técnica seguida para a obtenção das preparações foi a seguinte:

Bolbos de plantas, em plena actividade, contidos em vasos, forneceram vértices vegetativos de raízes, que foram cortados a cerca de 4 a 5 mm. acima do tópo, e lançados em frascos contendo 30 cc. do fixador. Como os vértices vegetativos mergulhavam rapidamente, nunca tivemos de recorrer ao auxílio que a máquina pneumática pode prestar em alguns casos. Depois de uma permanência de 24 horas no fixador, as peças foram lavadas em água corrente durante 12 a 24 horas. Seguiu-se depois a desidratação gradual até o álcool absoluto, a impregnação pela parafina e a inclusão também em parafina, segundo a técnica bem conhecida. Feitos os blocos, os vértices vegetativos foram cortados transversalmente, de modo a obter assim o maior número possível de vistas de tópo de placas equatoriais. Para se fazer com rigor o estudo do número e da morfologia dos cromosomas, é necessário obter placas equatoriais completas, em que nenhum dos cromosomas tenha sido fragmentado pela faca do micrótomo. É evidente que este risco é muito grande quando se estudam plantas com cromosomas numerosos e compridos, tal como sucede em muitas formas poliplóides dos narcisos. O único processo de obter figuras satisfazendo às condições mencionadas é fazer cortes cuja espessura nos assegure a existência de figuras completas. Os cortes, foram assim praticados com espessuras variáveis de 10, 12, 15 e 20 μ , de harmonia com o número de cromosomas suspeitado; muitas vezes, antes de efectuarmos a fixação, procedíamos a um rápido reconhecimento do número de cromosomas da planta em questão, empregando o método de HEITZ, da cozedura em carmim-acético. Quando, para qualquer planta, os cortes se revelavam pouco espessos eram cortados outros blocos até obtermos cortes de espessura conveniente. Após a colagem e a desparafinação, seguiu-se o mordimento no alumen de ferro amoniacal, e a coloração, durante 24 horas, pela hematoxilina férrica de HEIDENHAIN. Foi este o único corante que empregámos e sempre com resultados maravilhosos. Depois da coloração seguiu-se a diferenciação, em alumen, vigiada cuidadosamente ao microscópio, e, após ela, a desidratação e a montagem em bálsamo do Canadá à maneira ordinária.

Acessòriamente, empregámos, ainda, o método de HERTZ (fixação em CARNOY quente e cozedura em carmim-acético), que tão bons resultados nos forneceu nas nossas primeiras investigações. Com esta técnica, operámos, particularmente, sobre óvulos jovens, e o caminho seguido foi aquele que já tivemos ocasião de descrever detalhadamente noutra lugar (FERNANDES, 1931 b). Como êste método é muito expedito e rápido, utilizámo-lo, especialmente, para fazermos um reconhecimento prévio do número de cromosomas da planta que íamos estudar, e para, dentro de uma população de narcisos, fazermos a separação das formas poliplóides que ali, por vezes, existiam. Em todos os casos, porém, os resultados obtidos nos óvulos jovens, com êste método, foram comparados com os resultados fornecidos pelos vértices vegetativos das raízes da mesma planta em preparações efectuadas por inclusão. Isto permitiu-nos fazer a comparação dos cromosomas dos óvulos com os das raízes, e, em todos os casos, pondo de parte o intumescimento exagerado produzido pela técnica de HERTZ e o facto de ela só raramente conservar os satélites, obtivemos concordância entre os resultados. Só em casos muito raros, em que nos foi impossível obter vértices vegetativos de raízes, nos limitámos ao estudo de preparações fornecidas pela técnica do carmim-acético (*N. pseudonarcissus* \times *N. cyclamineus*).

Para o estudo dos grãos de pólen de diversas formas poliplóides de *N. bulbocodium* L. utilizámos, como meio de montagem, uma solução de sacarose a 7,5 0/0. Esta solução, sendo isotónica com o suco celular dos grãos de pólen, conserva-os muito bem sem os fazer rebentar e sem causar plasmólise.

As observações foram feitas servindo-nos do microscópio monocular Zeiss n.º 53.341 e do binocular Reichert n.º 96.718. O microscópio binocular é, incontestavelmente, mais vantajoso, em virtude de produzir uma menor fadiga visual.

Como fonte luminosa usámos uma lâmpada vulgar de 100 velas introduzida num pequeno aparelho de iluminação da casa Leitz.

b) TERMINOLOGIA

As investigações de cariologia comparada têm mostrado que, muitas vezes, o número de cromosomas não é o mesmo em todos os indivíduos da mesma espécie. Indivíduos diferentes podem apresentar números de cromosomas também diferentes, sendo

vantajoso designar êsses números por denominações especiais que nos traduzam as relações em que êles se encontram.

O que acontece com indivíduos da mesma espécie sucede também com espécies próximas, de modo que será útil empregar, neste caso, têrmos próprios que nos traduzam as relações existentes entre os seus números. Tanto no primeiro como no segundo caso, as relações entre os números de cromosomas são as mesmas, e, por isso, poderemos utilizar a mesma terminologia em ambos.

Uma tal nomenclatura foi iniciada por WINKLER (1916) e depois ampliada, precisada e criticada por outros autores (TÄCKOLM, 1920 e 1922; LANGLET, 1927 *a*, 1927 *b* e 1932; F. v. WETTSTEIN, 1927; JORGENSEN, 1928; BRUUN, 1932 *a*; e DARLINGTON, 1932).

WINKLER (1916) emprega o bem conhecido têrmo *haplóide* para designar o número de cromosomas do gametófito; ao número de cromosomas do esporófito chama *diplóide*. A todos os números que se desviam do típico *diplóide* chama êle *heteroplóides*. Se êsses números são precisamente iguais a 3, 4, 5, 6, etc. vezes o número haplóide, êsses números são chamados *poliplóides*; êstes formam uma *série poliplóide* $3n$, $4n$, $5n$, $6n$, ..., $10n$, etc., na qual os números são respectivamente denominados *triplóides*, *tetraplóides*, *pentaplóides*, *hexaplóides*, ..., *decaplóides*, etc.. Se os números heteroplóides se afastam dos haplóides, dos diplóides, ou de qualquer dos poliplóides, em uma ou mais unidades, WINKLER designa-os pelos têrmos que se obtêm fazendo anteceder estas denominações dos prefixos *hipo* e *hiper*, conforme os desvios são para mais ou para menos. Dêste modo teremos, designando por n o número haplóide e por x o número de unidades em que êles se afastam: $n - x$, *hipohaplóides*; $n + x$, *hiperhaplóides*; $2n - x$, *hipodiplóides*; $2n + x$, *hiperdiplóides*; $3n + x$, *hipertriplóides*, etc., etc.. Aos números de cromosomas pares chama, o mencionado autor, *ortoplóides*; e aos ímpares *anortoplóides*.

O mesmo autor em 1920 define número haplóide como sendo o número reduzido mais baixo, encontrado ou calculado, de uma série poliplóide de números de cromosomas.

TÄCKOLM (1922) introduziu os têrmos *euplóide* e *aneuplóide*. Os números *euplóides* são aqueles que são múltiplos exactos de um certo número básico ou fundamental (*Grundzahl* dos autores

alemães). Êste número básico ou fundamental pode ser o número haplóide mínimo encontrado nos indivíduos da mesma espécie ou num grupo de espécies próximas, ou, pelo contrário, um número mais baixo calculado, que não se encontra como número reduzido de cromosomas em nenhum indivíduo de um certo agrupamento sistemático. Assim, sendo n o número básico, os números $2n$, $3n$, $4n$, $5n$, etc. são *euplóides* e formam uma *série euplóide*. *Aneuplóides* são, para o citado autor, todos os números que não são múltiplos exactos do número básico. Dêste modo, os números de cromosomas *hipo-* e *hiperplóides* de WINKLER são aqui *aneuplóides*. Ao fenómeno do aparecimento, num certo grupo sistemático (espécie, género, tribo, etc.), de números que mantêm uma ou outra relação, chama o autor respectivamente *euplóidia* e *aneuplóidia*.

LANGLET (1927 a, 1927 b e 1932) propõe a substituição do termo *haplóide*, definido por WINKLER em 1920, pelo termo *monoplóide*. O número monoplóide é representado por p e uma *série poliplóide* será constituída pelos números p , $2p$, $3p$, $4p$, $5p$, etc., respectivamente, *monoplóide*, *diplóide*, *triplóide*, *tetraplóide*, etc.. O termo *haplóide* é só utilizado para designar o número de cromosomas reduzido (número que se encontra após uma divisão de redução) em oposição ao não reduzido, sem qualquer relação com a quantidade absoluta de cromosomas. O termo *diplóide* é, assim, por êle empregado como representando duas vezes o número monoplóide, e nunca como representando o número de cromosomas não reduzido. Para êste, usa o autor a denominação de número *somático*, sendo êste, portanto, o oposto a *haplóide*. DE MOL (1928) e FLORIN (1932) seguem esta terminologia.

F. v. WETTSTEIN (1927), no seu magnífico trabalho sobre a *heteroplóidia*, segue, particularmente, a terminologia de WINKLER. A páginas 313 dá êle a definição de número fundamental: «*Jeder Organismus besitzt zunächst eine bestimmte einfache, haploide Chromosomenzahl. Wir wollen sie die Grundzahl n nennen*». Os termos, *heteroplóide*, *diplóide*, *poliplóide* (*triplóide*, *tetraplóide*, etc.), *ortoplóide* e *anortoplóide*, são empregados na acepção que lhe dá WINKLER. O mesmo sucede com os termos *hiper-* e *hipoplóide*. Seguindo também WINKLER emprega a palavra *genómio*, de que dá a seguinte definição: «*eine bestimmte haploide Chromosomengarnitur mit ihren bestimmten Gehalt an mendelnden*

Genen. Se na constituição cromosómica das formas entram um, dois ou mais *genómios*, o autor denomina-as, respectivamente, *monogenomáticas*, *digenomáticas* e *poligenomáticas*. Se os *genómios*, que entram na composição da série apresentada, são todos iguais, as formas denominam-se *isogenomáticas*. Se, pelo contrário, os *genómios* são diferentes, as formas denominam-se *aniso-genomáticas*.

Atendendo à alternância de gerações, F. v. WETTSTEIN, considera raças *univalentes* (*gamofase haplóide + zigofase diplóide*), *bivalentes* (*gamofase diplóide + zigofase tetraplóide*), *trivalentes* (*gamofase triplóide + zigofase hexaplóide*), etc..

JORGENSEN (1928 pág. 135) não utiliza o termo *heteroplóide* na aceção que lhe dão WINKLER e WETTSTEIN e emprega-o para designar os números constitutivos da série n , $2n$, $3n$, $4n$, etc.. Os números mais elevados desta série, $3n$, $4n$, $5n$, etc., são, como na terminologia de WINKLER e de outros, denominados *poliplóides*. Para os números irregulares usa JORGENSEN o termo *aplóide*. Para evitar confusões, emprega os termos *gamético* e *somático* para designar os números de cromosomas das duas fases nucleares da vida do indivíduo, em substituição, portanto, de *haplóide* e *diplóide*. O autor não pensa que seja necessário substituir *haplóide* por *monoplóide* como é proposto por LANGLET.

BRUN (1932 a) critica a falta de precisão da definição que dá JORGENSEN de número *aplóide*, e pensa que os termos *poliplóide*, *heteroplóide*, *euplóide*, *aneuplóide* e *aplóide* podem ser utilizados conjuntamente para dar a ideia das relações existentes entre os diferentes números. De *aneuplòidia* e *aplòidia* dá BRUN as seguintes definições, que convém aqui transcrever:

Aneuplòidia — «*The numbers observed are not in multiple relation to each other, but some odd chromosomes are missing or have been duplicated*».

Aplòidia — «*Diversity of chromosome number through appearance of chromosomes of deviating type*».

DARLINGTON (1932) define *número básico* como sendo «*o número de cromosomas encontrado nos gâmetos de um diplóide, antepassado de um poliplóide*». Esse número é designado por x , e, assim, a série poliplóide é representada por x , $2x$, $3x$, $4x$, etc., onde cada um dos números se denomina, respectivamente, *haplóide*, *diplóide*, *triplóide*, *tetraplóide*, etc.. O número de cromosomas do zigoto é representado por $2n$, pois que ele resulta,

usualmente, da reunião de 2 gâmetos portadores, cada um, de um número n .

Em questões de terminologia é de tóda a vantagem, como é óbvio, que reine uniformidade entre os autores, isto é, que todos êles usem um certo têrmo na mesma acepção. Ora, como vimos pela exposição feita, reina já uma certa confusão entre os autores, empregando alguns o mesmo têrmo com sentidos diferentes; e outros, têrmos diferentes com o mesmo sentido. Para evitar confusões mencionaremos aqui os têrmos que vamos empregar, por nos parecerem mais adequados, citando, a propósito de cada um deles, o autor que seguimos.

Número básico ou fundamental é empregado com o sentido que lhe atribuem WINKLER, WETTSTEIN e DARLINGTON. Não utilizaremos, portanto, o têrmo *monoplóide* de LANGLET, que nos parece desnecessário. Êste número é representado pela letra x de harmonia com DARLINGTON.

Heteroplóide, é empregado na acepção que lhe atribuem WINKLER e WETTSTEIN; não seguiremos, portanto, JORGENSEN.

Ortoplóide, anortoplóide, hiperplóide e hipoplóide, são empregados também de harmonia com as definições de WINKLER.

A série poliplóide é representada por x , $2x$, $3x$, $4x$, etc., e os números são denominados respectivamente *haplóide, diplóide, triplóide, tetraplóide*, etc. Ao fenómeno do aparecimento dêsses números damos, como todos os autores, o nome de *poliplóidia*. Na *poliplóidia* nós distinguiremos, como KIHARA e ONO (1926), dois fenómenos diferentes: *Autopoliplóidia* e *Alopoliplóidia*, que os autores definem do seguinte modo: «*Unter Autopolyplodie versteht man die Verdoppelung desselben Chromosomensatzes; unter Allopolyplodie die durch das Zusammenkommen verschiedener Chromosomensätze auf dem Wege der Bastardierung erfolgte Chromosomenvermehrung*». As formas resultantes dêstes fenómenos denominam-se *autopoliplóides* e *alopoliplóides*, e serão, respectivamente, *isogenomáticas* e *anisogenomáticas*.

Chamamos *euplóidia* ao fenómeno do aparecimento de números de cromosomas múltiplos exactos de um certo número básico. Os números e as formas respectivas chamam-se *euplóides* (TÄCKOLM).

Ao fenómeno do aparecimento de números de cromosomas irregulares, que não são múltiplos de um certo número básico, chamamos *aneuplóidia*. Êsses números e as respectivas formas

chamam-se *aneuplóides*. Os cromosomas das formas relacionadas podem ser do mesmo tipo ou de tipo diferente. Dêste modo, *aneuplóidia* corresponde conjuntamente à *aneuplóidia* e à *aplóidia* definidas por BRUUN e à *aplóidia* de JORGENSEN. Êste último termo, embora nos pareça correcto, é regeitado por razões fonéticas (confusão de *aplóide* com *haplóide*). Como atrás dissemos, estas designações aplicam-se não só para especificar as relações entre os números de cromosomas de formas diferentes da mesma espécie, mas também entre os números de cromosomas de espécies próximas. Assim, tratando-se das espécies do género *Narcissus*, em que se encontram os números 5, 6 e 7, nós diremos que êsses números são *aneuplóides*.

Os termos *gamético* e *somático* são empregados para designar, respectivamente, o número de cromosomas das duas fases nucleares da vida de um indivíduo (acepção de JORGENSEN), e são representados por n e $2n$.

Para as formas *polisómicas* usaremos a terminologia de BLAKESLEE e seus colaboradores e que, para mais fácil compreensão, se encontra resumida no Quadro I, onde os cromosomas do complexo cromosómico haplóide são representados pelas letras A, B, C, D, E e F. Assim teremos: $x+1$ *simples disómico haplóide*, $x+2$ *simples trisómico haplóide*, $2x+1$ *simples trisómico diplóide*, $2x+1+1$ *duplo trisómico diplóide*, $2x+2+2$ *duplo tetrasómico diplóide*, etc.. Para as formas de um grau de poliplóidia superior a $3x$ procede-se do mesmo modo.

QUADRO I

Haplóide

Deficiente $x-1$	Normal x	Simple	Disómico $x+1$	Trisómico $x+2$	Tetrasómico $x+3$...
A - B C ou D E F etc.	A B C D E F	AA BB CC ou DD EE FF etc.	AAA BBB CCC ou DDD EEE FFF etc.	AAAA BBBB CCCC ou DDDD EEEE FFFF etc.	AAAAA BBBBB CCCCC ou DDDDD EEEEE FFFFFF etc.	...
		$x+1+1$	$x+2+2$	$x+3+3$		
		AA BB CC ou DD EE FF etc.	AAA BBB CCC ou DDD EEE FFF etc.	AAAA BBBB CCCC ou DDDD EEEE FFFF etc.	AAAAA BBBBB CCCCC ou DDDDD EEEEE FFFFFF etc.	...
		$x+1+1+1$	$x+2+2+2$	$x+3+3+3$		
		AA BB CC ou DD EE FF etc.	AAA BBB CCC ou DDD EEE FFF etc.	AAAA BBBB CCCC ou DDDD EEEE FFFF etc.	AAAAA BBBBB CCCCC ou DDDDD EEEEE FFFFFF etc.	...
	

QUADRO I (cont. b)

Triplóide

Monosómico $3x-2$	Disómico $3x-1$	Normal $3x$	Tetrasómico $3x+1$	Pentasómico $3x+2$
<p>Simples</p> <p>A BBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x-2-2$</p>	<p>A BBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x-1-1$</p>	<p>AAA BBB CCC DDD EEE FFF</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+1+1$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+2+2$</p>
<p>Duplo</p> <p>A B CC C DDD ou D EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x-2-2-2$</p>	<p>AA BB CC C DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x-1-1-1$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+1+1+1$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+2+2+2$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+2+2+2$</p>
<p>Triplóide</p> <p>A B C DDD ou D EEE FFF F etc.</p> <p>$3x-2-2-2$</p>	<p>AA BB CC C DDD ou D EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x-1-1-1$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+1+1+1$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+2+2+2$</p>	<p>AAAA BBBB CCC DDD ou DDD EEE FFF FFF etc.</p> <p>$3x+2+2+2$</p>

Nas formas em que dois ou mais cromosomas diferentes se encontram afectados de uma maneira também diferente, o seu nome é obtido indicando, em primeiro lugar, o número de tipos de cromosomas que se afastam da proporção normal, pelas designações duplo, triplo, etc.. A estas designações fazemos seguir as palavras *monosómico*, *disómico*, *trisómico*, etc., que indicam o número de cromosomas dos tipos referidos. A tôdas estas designações segue-se qualquer das palavras haplóide, diplóide, etc., conforme a composição normal correspondente.

A exposição anterior tornar-se-á mais clara em face dos exemplos que abaixo apresentamos:

Uma forma com a composição

$$\left. \begin{array}{l} A A A \\ B B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{array} \right\} x + 2 + 1$$

será denominada um *duplo disómico trisómico haplóide* ou, mais rapidamente, um *duplo di-trisómico haplóide*.

Do mesmo modo, teremos:

$$\left. \begin{array}{l} A A \\ B B B \\ C C \\ D \\ E \\ F \end{array} \right\} x + 1 + 2 + 1$$

triplo disómico disómico trisómico haplóide ou, mais rapidamente, *triplo didi-trisómico haplóide*,

$$\left. \begin{array}{l} A A A \\ B B \\ C C C \\ D \\ E \\ F \end{array} \right\} x + 2 + 1 + 2$$

triplo di-ditrisómico haplóide,

A A A A A	}	$2x + 1 + 1 + 3$
BBB		
CCC		
DD		
EE		
FF		

triplo ditri-pentasómico diplóide,

A A A	}	$3x + 2 + 1 + 1 + 3$
BBBBB		
CCCC		
DDDD		
EEEEEE		
FFF		

quádruplo ditetra-penta-hexasómico triplóide.

O termo *genómio* é empregado de acôrdo com a definição de WETTSTEIN. O mesmo acontece com os termos *monogenomático*, *digenomático*, *isogenomático* e *anisogenomático*. Falaremos também em raças *bivalentes*, *trivalentes*, etc., de harmonia com WETTSTEIN.

À classificação dos cromosomas, que aqui utilizaremos, adicionaremos algumas notas. No nosso trabalho precedente (1931 *b*) empregámos, para a representação dos cromosomas, a classificação de HEITZ (1926), um pouco modificada por nós. As modificações introduzidas consistem no emprêgo das letras L ou l, M ou m e P ou p, iniciais das palavras latinas *longus*, *medius* e *parvus*, para representar o comprimento relativo dos ramos dos cromosomas, e na criação de dois tipos intermediários de cromosomas L m e l m, que não figuram na classificação de HEITZ (1). Será esta a classificação que empregamos também aqui, pois que o seu emprêgo se apresenta muito cómodo e vantajoso para as descrições dos idiogramas das espécies. Os cromosomas satelitizados não têm uma representação especial nesta classificação; por isso, ampliá-la-emos no que respeita a essa particularidade, representando o satélite por um apóstrofo colocado na letra que representa o ramo do cromosoma que é seu portador. Esta representação tem sido já utilizada, particularmente, pela cario-

(1) Para mais pormenores ver o nosso trabalho *Estudos nos cromosomas das Liliáceas e Amarillidáceas*, págs. 26 e 27.

gista americana HELEN SOROKIN (1929). Dêste modo, teremos mais os seguintes tipos de cromosomas:

$LL', Ll', Lm', Lp', L', ll', lr', lm', lp'l', PP', Pp', P'$

Seguindo HEITZ (1926), nós empregámos os termos *simétrico* e *assimétrico* para designar, respectivamente, os cromosomas que têm constrições primárias medianas e os que as possuem não-medianas. Ora, BRUUN (1932 a) mostra que os mencionados termos são inapropriados porque: 1) um cromosoma, que possua um ramo satelitizado e tenha constrição primária mediana, não é simétrico; 2) um cromosoma, embora tendo constrição primária mediana, pode não ser simétrico, pelo facto de só um dos ramos apresentar constrições secundárias; 3) assumindo o arranjo linear das genes sobre os cromosomas, um cromosoma só poderá ser simétrico num sentido muito grosseiro, pois que a sua matéria é incontestavelmente muito diferente para um e outro lado do centro de atracção; 4) o termo *assimétrico* é empregado por S. NAWASCHIN (1912) num sentido muito diferente.

Em vista destes factos, que mostram que aqueles termos são inadequados, BRUUN sugere a sua substituição pelos termos *isósceles* e *heterósceles* empregados por DARLINGTON (1926). Não utilizaremos, contudo, estes termos, mas empregaremos os equivalentes *isobraquial* e *heterobraquial*, de harmonia com a classificação de LEWITSKY (1931 c). Cromosomas *isobraquiais* são, pois, aqueles que possuem os dois ramos com o mesmo comprimento (constrição mediana); cromosomas *heterobraquiais* são aqueles que apresentam os dois ramos de comprimento diferente. Os cromosomas em que o ramo curto é muito pequeno, isto é, os dos tipos L., l. e P. serão denominados, também de acôrdo com LEWITSKY, *cefalobraquiais*.

CAPÍTULO II

A heteroplóidia de *Narcissus bulbocodium* L.

HAWORTH, na sua monografia, divide os narcisos em 16 géneros, o primeiro dos quais é denominado *Corbularia*. Neste género distingue HAWORTH 10 espécies. Ulteriormente, os autores fundiram todos os géneros de HAWORTH num só; e no grupo

Corbularia, considerado por uns sub-género, e por outros uma simples secção, distinguem ainda várias espécies (GRAELLS, WILKONN etc.). BAKER (1870 e 1888) reúne tôdas as formas que até ali tinham sido consideradas espécies distintas, e obtem assim, no grupo *Corbularia*, a espécie lineana *N. bulbocodium* L. Êste ponto de vista tem sido seguido pela maior parte dos taxonomistas que mais recentemente se têm occupado do género *Narcissus*.

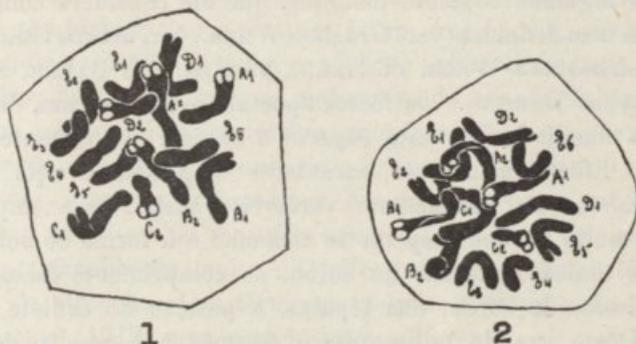
BAKER, reunindo tôdas essas formas, verifica, no entanto, que existem algumas bastante distintas, que êle considera como variedades bem definidas (var. *Graellsii* WEBB., var. *nivalis* GRAELLS, var. *hedraeantha* WEBB. et HELD., var. *citrinus* BAKER, e var. *monophyllus* DURIEU). Os factos apontados demonstram, de uma maneira imediata, que esta espécie é extraordinariamente polimorfa. Efectivamente, os caracteres empregados aqui pelos taxonomistas são largamente variáveis; assim, os exemplares variam muito no que respeita ao tamanho e à forma do bolbo, à côr das túnicas externas do bolbo, ao comprimento da espata, do pedicelo, da coroa, das tépalas, à posição do estilete, etc., etc.. Dêste grande polimorfismo tivemos nós ocasião de nos aperceber durante algumas excursões, realizadas no nosso país, onde *N. bulbocodium* é extremamente freqüente. Das viagens realizadas e dos estudos a que procedemos durante elas, ficámos com a impressão de que a espécie se tem encontrado e se encontra ainda em plena expansão, com activa diferenciação de formas. Tivemos, portanto, a ideia de ver se, estudando cariológicamente exemplares de diversas localidades, submetidos a diversas condições de meio, conseguíamos descortinar o mecanismo do aparecimento na natureza dessas formas novas, e interpretar, assim, quais são os factores que se encontram actuando na evolução da espécie. Dêste modo, procuramos explicar também, cariológicamente, o polimorfismo de que falámos. As observações realizadas são expostas a seguir.

1 — NARCISSUS BULBOCODIUM DOS ARREDORES DE COIMBRA
(FIGS. 1 E 2, EST. 1)

Bolbo esférico, com as escamas externas escuras, de 14-17 mm. de diâmetro. Fôlhas erectas, semi-cilíndricas, muito tênueamente canaliculadas na página superior, de 80-170 mm. de comprimento e 1,5-2 mm. de largura na base. Escapo cilíndrico, de 75-125 mm.

de altura, mais curto do que as fôlhas. Perianto de 30 mm. de comprimento, com o tubo obcónico tão comprido como a coroa (15 mm.). Tépalas lanceoladas, menos compridas que a coroa, de 10 mm. de comprimento e 1 mm. de largura na base, com a quilha esverdeada. Estilote comprido, ultrapassando a margem da coroa.

Como se vê por esta descrição o exemplar estudado corresponde bem ao tipo médio da descrição de BAKER, excepto no



Figs. 1 e 2. — Metafases em células do periblema do vértice vegetativo da raiz de *N. bulbocodium* var. *genuinus* dos arredores de Coimbra. A₁, A₂, B₁, B₂ e C₁, C₂ os três pares de cromosomas L p; D₁, D₂, cromosomas l m; E₁ - E₂ os três pares PP. Fix. NAWASCHIX (BRUNS), × 2.000.

que diz respeito ao comprimento das tépalas, e à variedade *genuinus* da sub-espécie *vulgaris* de PEREIRA COUTINHO.

Tanto o exemplar estudado agora como os estudados no nosso trabalho anterior, provenientes da mesma localidade, mostraram ser diplóides, apresentando nas metafases somáticas 14 cromosomas. Como este exemplar nos servirá para fazer o estudo comparativo entre êle e as formas heteroplóides encontradas, convém descrever aqui, com minúcia, a sua guarnição cromosómica. O exame de algumas anafases, obtidas pela técnica de HERRZ, permitiu-nos estabelecer, em 1931, o idiograma desta espécie, representado pela fórmula:

$$2n = 6Lp + 2lm + 6PP$$

Os resultados agora alcançados, pelo exame de preparações obtidas por inclusão, confirmam as nossas primeiras observações, permitindo-nos, assim, manter a fórmula estabelecida (figs. 1 e 2 e fig. 2, Est. I).

Entre os três pares de cromosomas Lp nota-se uma certa diversidade no que respeita ao comprimento do ramo curto, permitindo-nos êsse facto reconhecer cada um dos pares em questão. Assim, o primeiro ($A_1 A_2$, figs. 1 e 2) tem o ramo curto maior do que o dos outros dois; o segundo ($B_1 B_2$, figs. 1 e 2) tem um comprimento intermediário, e o terceiro ($C_1 C_2$, figs. 1 e 2) possui a constrição primária muito próxima da extremidade, sendo, por isso, cefalobraquial. As mesmas distinções poderão ser observadas numa figura por nós publicada anteriormente (FERNANDES, 1931 b, fig. 1, Est. VIII). Os dois cromosomas lm ($D_1 D_2$, figs. 1 e 2) confundem-se muitas vezes, quando se não encontram favoravelmente orientados nas placas equatoriais, com os cromosomas Lp, especialmente com o primeiro par. Quando, porém, aqueles cromosomas se encontram dispostos convenientemente, a distinção é fácil de efectuar ($D_1 D_2$, fig. 2). Os cromosomas PP (E_1-E_6 , figs. 1 e 2) são inconfundíveis com os outros, mas apresentam entre si uma tão grande uniformidade que não é possível homologar êsses cromosomas em pares. Todos êles apresentam a forma de um pequeno V com a constrição primária mediana, ou quasi.

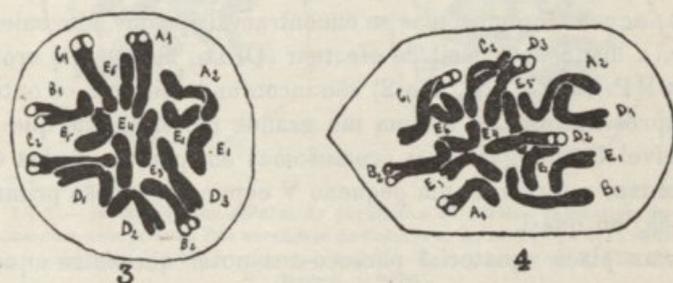
Numa placa equatorial pareceu-nos notar que entre aqueles seis cromosomas se encontravam dois, com constrição sub-mediana, providos de satélites nas extremidades dos ramos curtos (fig. 2, Est. I, o cromosoma que ocupa a região média da placa). Como nos parece que aquela observação única é insuficiente para estabelecermos, de uma maneira convincente, a existência de um par de cromosomas satelitizado, apontamos êste facto, esperando que investigações futuras nos permitam mostrar, de uma maneira precisa, que aquela observação foi correcta. Se assim fôr, entre os três pares de cromosomas curtos de *N. bulbocodium* encontra-se um par do tipo Pp'. A sua existência é muito provável, pois que em tôdas as espécies do género que agora estudámos, encontrámos um tal par de cromosomas, e seria bastante estranho que esta espécie fôsse destituída de cromosomas satelitizados.

NAGAO (1929), fazendo o estudo da variedade «Common Hooped Petticoat» de flor dobrada, encontrou também 14 cromosomas, o que mostra que aquela variedade cultivada é diplóide. O autor, que empregou como meio de fixação o líquido de FLEMING forte — o qual não permite fazer o estudo da morfologia

dos cromosomas com tanta precisão como o fixador de NASWASCHIN —, não dá a descrição dos cromosomas, nem a sua homologia em pares. O confronto das nossas figuras com as de NAGAO não permite concluir se os tipos de cromosomas encontrados são ou não os mesmos.

2 — NARCISSUS BULBOCODIUM L. VAR. NIVALIS (GRAELLS)
DA SERRA DA ESTRÊLA

Durante as nossas investigações precedentes (FERNANDES 1930 e 1931 *a e b*) verificámos que a variedade *nivalis* apresentava,



Figs. 3 e 4 — *Narcissus bulbocodium* var. *nivalis* da Serra da Estrêla. Placas equatoriais, de uma planta trisômica, mostrando 15 cromosomas. A, A₁, B, B₁, C, C₂ os três pares de cromosomas Lp; D₁, D₂, D₃ cromosomas 1m, um dos quais supernumerário; E₁-E₃ cromosomas PP. Fix. cromo-acético forte. × 2.000.

como a variedade *genuinus*, 14 cromosomas, e que eles eram em ambas morfológicamente semelhantes. A mesma conclusão foi obtida durante as presentes observações. Entre os exemplares estudados encontrámos um, notável por apresentar 15 cromosomas e não 14 como a forma normal; infelizmente, as características morfológicas da planta trisômica não foram observadas em virtude de só efectuarmos o seu estudo citológico depois de as folhas e as flores terem desaparecido. O reconhecimento do cromosoma supernumerário foi fácil de efectuar, mostrando-nos tôdas as figuras três cromosomas 1m, em lugar dos dois que deviam normalmente existir (D₁, D₂ e D₃, figs. 3 e 4).

A planta em questão é, pois, trisômica em relação ao cromosoma 1m; no resto, o seu complexo cromosómico é em tudo semelhante, como atrás dissemos, ao da variedade *genuinus*.

A composição cromosómica da planta é, pois, representada pela fórmula:

$$2x + 1 = 6Lp + 3lm + 6PP$$

Formas polisómicas têm sido encontradas frequentemente em plantas cultivadas e, com menos abundância, em material espontâneo. São conhecidos trisómicos em algumas espécies, tais como: *Crepis capillaris*, *Crepis tectorum* e *Crepis Dioscoridis* (M. NAWASCHIN, 1926), *Crepis blattarioides* (GEITLER, 1929), *Oenothera* (LUTZ, 1917, GATES, 1921, e HANCE, 1918), *Datura Stramonium* (BLAKESLEE e BELLING, 1924), *Nicotiana alata* var. *grandiflora* (AVERY, 1929), *Mathiola incana* (PHILP e HUSKINS, 1931) e também em *Drosophila melanogaster* (BRIDGES). O estudo das formas trisómicas foi feito especialmente por BLAKESLEE e seus colaboradores, os quais conseguiram encontrar, em *Datura Stramonium*, os 12 tipos possíveis de indivíduos diferentes da fórmula $2x + 1$, e fazer o seu estudo morfológico comparativo. A descoberta das formas trisómicas foi de uma grande importância para a genética, como o demonstram os trabalhos dos autores mencionados, e os de BRIDGES nas triplo-X e triplo-IV *Drosophilas*. *N. bulbocodium* var. *nivalis* fornece mais um caso do aparecimento da trisomia em material proveniente do estado selvagem.

Pensámos, a princípio, que, na planta examinada, as placas equatoriais com 15 cromosomas apresentassem uma disposição sectorial, e que nem tôdas as metafases possuíssem aquele número. Este facto mostraria que o exemplar era só parcialmente trisómico, e que os sectores $2x + 1$ teriam aparecido pela *não-separação* (1) do cromosoma *lm*, na inicial do referido sector. O facto de tôdas as metafases, observadas no dermatogéneo, no periblema e no pleroma das raízes do mesmo exemplar, apresentarem 15 cromosomas mostra que o exemplar não era parcialmente trisómico, mas sim totalmente.

O modo de formação dos trisómicos é, actualmente, bem conhecido. Nas divisões de redução há, por vezes, anomalias, das

(1) BRUUN (1932 a) dá o nome de *não-separação* a uma anomalia da mitose somática, que consiste em não se separarem as duas metades de um certo cromosoma.

quais as mais frequentes são a *não-disjunção* e a *não-conjunção*. A *não-disjunção* consiste na falta de segregação dos dois cromosomas homólogos, os quais caminham juntos para o mesmo polo. Por meio desta irregularidade das divisões heterotípicas formam-se gametos com $n + 1$ cromosomas e outros com $n - 1$. A *não-conjunção*, (BELLING, 1925), consiste na falta de emparelhamento dos dois cromosomas homólogos. Ficando os homólogos separados, concebe-se que, em metade dos casos, os dois cromosomas marchem para o mesmo polo, e que, na outra metade, vá cada um para o polo oposto. Dêste modo, nos primeiros casos, formar-se-ão gametos com um cromosoma supernumerário, e outros deficientes. Embora os dois fenómenos — *não-disjunção* e *não-conjunção* — sejam diferentes, podem, no entanto, produzir os mesmos resultados, isto é, a formação de gametos com $n + 1$ cromosomas. A fusão de um tal gameto com outro normal n , produzirá uma planta trisómica da fórmula $2n + 1$. O fenómeno da *não-disjunção* tem sido algumas vezes observado durante as divisões de redução das células mãis dos grãos de pólen: *Oenothera* (GATES, 1908), *Crepis* (ROSENBERG, 1918), *Datura* (BERGNER), *Uvularia grandiflora* (BELLING, 1925), *Nicotiana* (RUTTLE, 1927), etc.. Além disso, as observações de BELLING (1925) em *Uvularia* e as de BORGERSTAM (1922) em *Syringa* mostram que aquelas anomalias podem ser ocasionadas pela acção de factores externos, especialmente pelas variações de temperatura.

É natural, portanto, que a forma por nós encontrada deva o seu nascimento à *não-disjunção* ou *não-conjunção* do cromosoma $1m$. Tanto um como outro fenómeno conduziriam à formação de gametos $n + 1m$. A conjugação de um destes gametos com um normal n , daria uma forma $2n + 1m$, com a composição daquela que nós observámos.

Podem também aparecer exemplares trisómicos, como justamente o aponta M. NAWASCHIN (1926), na descendência de formas triplóides, pois que nestas podem formar-se gametos com números de cromosomas desde n a $2n$. No presente caso, não nos parece que tenha sido esta a causa do aparecimento da forma trisómica, pelas seguintes razões: 1) Entre o material colhido não encontrámos nenhum triplóide; 2) entre os exemplares estudados só apareceu um trisómico, e não encontrámos formas com mais do que um cromosoma supernumerário, o que seria de esperar numa descendência de triplóides. O aparecimento do

trisómico deve, pois, ter sido ocasionado por não-disjunção ou não-conjunção, como acentuámos atrás.

3 — NARCISSUS BULBOCODIUM DE S. MARTINHO DO PÔRTO (FIGS. 3, 4 e 5, EST. I)

Os exemplares provenientes da falésia de S. Martinho do Pôrto são deveras notáveis debaixo do ponto de vista ecológico, morfológico e cariológico, como veremos pela exposição que segue:

O seu habitat, comparativamente com as outras formas da espécie, é um pouco estranho, em virtude de viver nas arribas calcáreas de S. Martinho do Pôrto, do lado batido pelo mar. A planta encontra-se, assim, directamente submetida à acção marítima, num meio muito diferente daquele em que vivem as formas do interior.

As plantas são muito vigorosas e muito belas, afastando-se, em algumas particularidades, de tôdas as variedades descritas até hoje. A seguinte descrição dá delas uma pequena ideia: Bolbo com as escamas externas escuras, de 14-15 mm. de diâmetro. Fôlhas encurvadas, grossas, de 240-275 mm. de comprimento, com as caneluras da página inferior bastante acentuadas. Pedúnculo floral cilíndrico, acentuadamente encurvado. Pedicelo de 15 mm. e espata de 32 mm., fendida só na parte superior. Perianto amarelo pálido, com 52 mm.. Coroa plissada, com a margem obscuramente crenulada, de 26 mm. de comprimento e 25 mm. de diâmetro na abertura. Tépalas com quilha estreita esverdeada, patentes ou um pouco inclinadas sobre a coroa, menores do que esta (15-16 mm.), e bastante largas (6-7 mm., na base). Estames ficando muito abaixo da margem da coroa, detendo-se os da segunda fiada um pouco antes do meio daquela. Estilete incluso. Estigma grande discóide. Frutifica muito bem.

Como se vê pela presente descrição, os exemplares de S. Martinho do Pôrto são muito mais vigorosos, excepto no tamanho dos bolbos, do que os exemplares diplóides da variedade *genuinus*. Assim, aqueles apresentam fôlhas muito mais compridas e grossas, e as dimensões das flôres e de tôdas as suas partes são também acentuadamente maiores, facto êste que se pode verificar pela comparação dos números que exprimem essas dimensões.

Além destes caracteres, puramente quantitativos, os exemplares de S. Martinho do Pôrto afastam-se ainda da var. *genuinus* por outros caracteres qualitativos: encurvamento das folhas e do pedúnculo floral, forma do estigma (discóide nestes exemplares e acentuadamente trilobado em *genuinus*). Debaixo do ponto de vista das dimensões do perianto e das suas partes, os exemplares de S. Martinho do Pôrto aproximam-se da variedade *citrinus* de BAKER, sendo, contudo, ainda um pouco maiores. Concordam

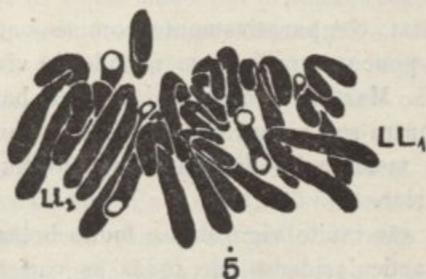


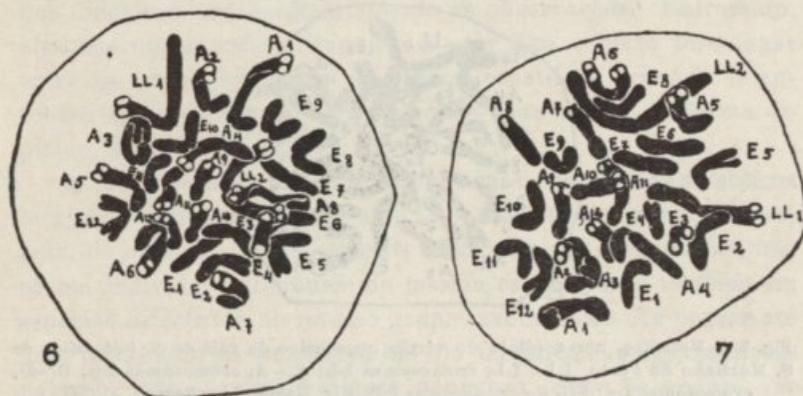
Fig. 5. — *Nereissus bulbocodium* de S. Martinho do Pôrto; metade de uma anafase numa célula de um óvulo jovem, mostrando 26 cromosomas, dois dos quais do tipo LL (LL₁ e LL₂). Método de HEITZ. X 2.000.

também com aquela variedade em terem os estames e o estilete inclusos, mas afastam-se dela pela côr das flôres. Dêste modo, a nossa planta, possui, no que respeita às flôres, as maiores dimensões até hoje assinaladas.

O estudo de numerosas figuras de mitose — anafases, em células de óvulos jovens, obtidas pelo método de HEITZ (Fig. 5), e metafases, em células de vértices vegetativos de raízes, obtidas por inclusão (figs. 6, 7 e 8) — mostrou-nos a existência de 26 cromosomas. Uma forma tetraplóide normal deveria apresentar 28, e, por isso, o número encontrado surpreendeu-nos bastante. Em breve, porém, tivemos a explicação do fenómeno.

Como vimos atrás, as formas diplóides de *N. bulbocodium* possuem um idiograma que pode ser representado pela fórmula $2x = 6 Lp + 21 m + 6 PP$; uma forma tetraplóide normal, desde que se tivesse originado por duplicação de um tal idiograma, deveria, necessariamente, apresentar o seguinte complexo cromosómico: $4x = 12 Lp + 41 m + 12 PP$. A distinção entre os cromosomas $1m$ e Lp é bastante difícil de estabelecer,

mesmo em metafases de indivíduos diplóides. Essa distinção torna-se ainda mais difícil nas formas tetraplóides, onde, em consequência do grande número de cromosomas, muitos destes se encontram desfavoravelmente orientados. Por isso, só é possível, na maior parte das figuras, fazer a separação dos cromosomas em dois grupos: Lp e lm para um lado, e PP para outro. Incluindo, assim, os cromosomas lm entre os Lp, o complexo da forma tetraplóide normal será: $4x = 16 Lp + 12 PP$.



Figs. 6 e 7. — Placas equatoriais, em células do periblema do vértice vegetativo da raiz de *N. bulbocodium* de S. Martinho do Pôrto. LL₁ e LL₂, cromosomas LL; A₁ - A₁₂, cromosomas Lp (incluindo os lm); E₁ - E₁₂, cromosomas PP. Fix. Nawaschin (Bruun). $\times 2.000$.

Num grande número de figuras que examinámos conseguimos identificar com facilidade os 12 cromosomas do tipo PP (figs. 6, 7 e 8, E₁ - E₁₂); em lugar, porém, dos 16 cromosomas Lp, que esperávamos encontrar, identificámos somente 12 (figs. 6, 7 e 8, A₁ - A₁₂). Os restantes cromosomas são dois, isobraquiais, do tipo LL, diferentes, portanto, dos tipos encontrados na forma diplóide. O par de cromosomas LL foi observado com grande nitidez nas células de óvulos jovens (fig. 5, LL₁ e LL₂) e nas células dos vértices vegetativos das raízes (figs. 6, 7 e 8, LL₁ e LL₂). Assinalamos este facto a-fim-de mostrarmos a concordância dos resultados obtidos com o emprêgo de técnicas diferentes; e, ao mesmo tempo, pomos também em evidência que a composição cromosómica é a mesma nos vértices vegetativos das raízes e nos óvulos. A única explicação possível dos factos observados

parece-nos, logicamente, ser a seguinte: os dois cromosomas *LL* foram originados, cada um, pela fusão, tpo a tpo, de dois cromosomas homólogos do tipo *Lp*.

Por este processo, desapareceram quatro dos cromosomas homólogos do tipo *Lp*, e apareceram, em seu lugar, os dois cromosomas isobraquiais *LL*. Assim, o número de cromosomas, que deveria ser 28, nos aparece reduzido a 26; os exemplares em questão, não sendo tetraplóides quanto ao número são, na rea-

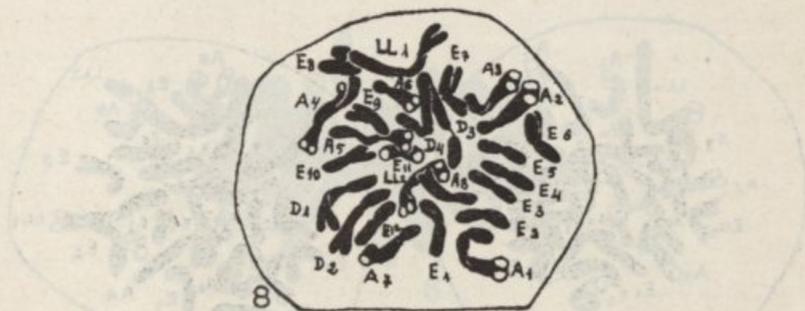


Fig. 8. — Metáfase, numa célula do vértice vegetativo da raiz de *N. bulbocodium* de S. Martinho do Pôrto. *LL*₁, *LL*₂, cromosomas *LL*; *A*₁ - *A*₄, cromosomas *Lp*; *D*₁ - *D*₄, cromosomas *lm*; *E*₁ - *E*₆, cromosomas *PP*. Fix. Nawaschin (Bruun). $\times 2.000$.

lidade, tetraplóides quanto à sua massa cromática, pois que a guarnição cromosómica diplóide se encontra aqui duplicada. O fenómeno apontado põe-se bem em evidência pela comparação dos idiogramas dos tetraplóides normais e dos nossos exemplares com 26 cromosomas:

Tetraplóides normais:

$$4Lp + 8Lp + 4lm + 12PP = 28.$$

Exemplares de S. Martinho do Pôrto:

$$2LL + 8Lp + 4lm + 12PP = 26.$$

A fusão teve lugar entre os cromosomas *Lp* e não entre os *lm*, pois que, após várias tentativas, conseguimos encontrar placas equatoriais onde nos foi possível reconhecer os quatro cromosomas deste tipo (*D*₁-*D*₄, fig. 8).

Nas formas diplóides de *N. bulbocodium* existem, como vimos

atrás, três pares de cromosomas Lp, os quais se podem distinguir uns dos outros pelo comprimento dos ramos curtos. Na forma de S. Martinho do Pôrto encontrámos 8 cromosomas Lp, provenientes da duplicação de dois desses pares, e dois cromosomas LL, equivalentes aos quatro resultantes da duplicação do terceiro. Seria, por isso, interessante saber em qual dos pares teve lugar a fusão.

A resolução deste problema não é fácil, pois que o número elevado de cromosomas e o facto de muitos deles serem compridos dificultam extraordinariamente as observações. Entretanto, algumas observações levam-nos a crêr que a fusão teve lugar entre os cromosomas Lp em que a constrição primária se encontra mais próxima da extremidade (par C₁ C₂ da forma diplóide, figs. 1 e 2).

A fusão ou associação de cromosomas nos núcleos somáticos tem sido, muitas vezes, apontada por numerosos investigadores, a fim de explicar certas relações cromosómicas encontradas, não só em indivíduos diferentes da mesma espécie, mas também em espécies diferentes do mesmo grupo taxonómico. As provas até hoje fornecidas da ocorrência de um tal fenómeno nas condições naturais, são, porém, bastante pequenas, como se poderá ver pelo seguinte resumo histórico da questão:

ROBERTSON (1916), citado por LEWITSKY (1931 c), compara o complexo cromosómico de certas formas do género *Syrbula* com o de outras do género *Chorthippus* (Orthoptera). Esta comparação mostra-lhe que, num certo grupo de formas, o número de cromosomas é menor do que em outro. No primeiro grupo o complexo cromosómico é constituído por cromosomas na maior parte com a forma de V, enquanto que, naquele em que o número de cromosomas é maior, se encontram cromosomas direitos cefalobraquiais. O autor, considerando os cromosomas em V como cromosomas duplos, equivalentes a dois «rod-shaped», verifica que o complexo cromosómico do grupo de formas com o número de cromosomas mais baixo se pode derivar do do outro grupo, supondo que os cromosomas em V foram originados pela fusão, tópo a tópo, de dois cromosomas cefalobraquiais («rod-shaped»).

MARCHAL (1920), citado por SHARP (1926), pensa que as espécies do género *Crepis* com 3 cromosomas provieram das espécies com 4 por fusão de dois deles. Os trabalhos posteriores

de M. NAWASCHIN (1925), infirmam, porém, completamente êsse ponto de vista.

DE LITARDIÈRE (1922), depois de estudar o número de cromosomas de *Senecio vulgaris*, pensa que as formas com $n=19$ derivaram de formas tetraplóides, com o número gamético igual a 20, pela fusão de dois cromosomas. - O autor não dá, porém, nenhuma demonstração desta explicação; e AFZELIUS (1924), pensa que a não-disjunção ou a perda de cromosomas, em mitoses irregulares, fornecem uma explicação mais plausível do fenómeno.

MORGAN (1922), citado por MORGAN, BRIDGES e STURTEVANT (1925), encontrou algumas fêmeas de *Drosophila melanogaster* com os cromosomas X fundidos tôpo a tôpo, formando assim um cromosoma isobraquial em V.

M. NAWASCHIN (1926), fazendo um estudo extensivo sôbre a variabilidade cromosômica em alguns milhares de indivíduos de três espécies do género *Crepis* (*C. capillaris*, *C. tectorum* e *C. Dioscoridis*), não observou nenhum caso de fusão ou agregação, como bem se depreende das suas palavras: «Die der oben beschriebenen umgekehrte Erscheinung, d. h. eine Aggregation der Kernsubstanz in grössere Komplexe, ein Vorgang, der mit einer Verminderung der Chromosomenzahl verbunden ist, habe ich niemals beobachtet».

GEITLER (1929), citado por LEWITSKY (1931), observou a associação de um certo par de cromosomas em algumas placas equatoriais de *Crepis blattarioides*.

LOHAMMAR (1931) encontra em *Butomus umbelatus* formas com 28 cromosomas e outras com 40; as últimas tinham sido já observadas por M.^{11e} TERBY. Para explicar o aparecimento das formas com 40 cromosomas o autor sugere que êste número foi originado a partir do de uma forma triplóide, com 42 cromosomas, por fusão de alguns dêstes.

BRUUN (1932), discutindo a ocorrência da fusão de cromosomas, menciona o caso da diversidade dos números encontrados em *Vicia Cracca*, e pensa que aquele fenómeno dá bem conta dessa diversidade. Assim, naquela espécie encontram-se os seguintes números: $2n=12, 14$ e 28. Como 7 parece ser aqui o número fundamental mais provável, 28 será o número tetraplóide; e as formas de 12 seriam derivadas das de 14, por associação de 4 cromosomas em dois pares. Favorecendo esta interpretação

encontra-se o facto de as formas com $n=6$ possuírem, no estado haplóide, um cromosoma que corresponde em comprimento aproximadamente a dois dos das formas com $n=7$.

O mesmo autor supõe que, no género *Primula*, as espécies da sub-seccão *Stenocalyces* com 8 cromosomas, foram originadas das *Eu-farinosae*, que possuem 9, por meio de fusão, com a conseqüente formação de um par gigante.

Como se vê, embora a associação de cromosomas tôpo a tôpo nos dê a explicação de certas condições cromosómicas encontradas em certos grupos, os casos em que uma tal fusão tem sido verificada, de uma maneira indubitável, nas condições naturais, são pouco numerosos. Assim, dos casos acima citados, só três — o de MORGAN nos cromosomas x de *Drosophila*, o de GEITLER em *Crepis blattarioides* e o de SVESCHNIKOVA em *Vicia Cracca* — se podem considerar como demonstrando o fenómeno em questão. As nossas observações sobre *N. bulbocodium* de S. Martinho do Porto mostram, de uma maneira clara e iniludível, que, realmente, os cromosomas isobraquiais podem ser originados por fusão, tôpo a tôpo, de cromosomas cefalobraquiais. É esta, sem dúvida, uma das melhores demonstrações, fornecidas até à data, da ocorrência de um tal fenómeno no reino vegetal.

Acêrca das causas a que a fusão de cromosomas pode ser atribuída, nós poderemos considerar duas possibilidades:

1) O fenómeno foi produzido por causas internas, tais como as atracções entre cromosomas homólogos postos em presença. Numa forma tetraplóide, com 28 cromosomas, poderiam os dois pares de cromosomas Lp formar quadrivalentes nas metafases da primeira divisão de redução. Nas anafases poderiam depois separar-se bivalentes que ficassem ligados pelas extremidades proximais durante as divisões subseqüentes. Dêste modo se originariam os cromosomas LL que encontrámos. Entretanto, a respeito desta hipótese, há alguns argumentos que lhe não são favoráveis. No reino vegetal conhecem-se actualmente numerosas formas tetraplóides, muitas das quais são autotetraplóides. Ora, nas divisões de redução destas plantas, devem formar-se numerosos tetravalentes, mas, a-pesar-disso, o número de cromosomas somático dos descendentes continua a ser duplo do encontrado nas formas diplóides, sem se notar qualquer fenómeno de fusão. Se a fusão tivesse a causa acima apontada, deveria,

necessariamente, ser assinalada com bastante frequência na descendência desses autotetraplóides. O fenómeno deveria, além disso, envolver um maior número de cromosomas, pois que nos tetraplóides se formam, por vezes, numerosos tetravalentes.

2) A fusão de cromosomas pode ter sido produzida por causas externas.

A associação ou fusão de cromosomas, quer homólogos, quer diferentes, tem sido algumas vezes provocada, em condições artificiais, pela exposição de seres vivos à acção dos raios X e dos raios γ do rádio (PAINTER e MULLER, 1929, em *Drosophila*; LEWITSKY e ARARATIAN, 1931, em *Crepis*; GOODSPEED, 1929, 1931 *a, b*, em *Nicotiana*; etc.). As experiências destes autores têm demonstrado que as anomalias produzidas não limitam o seu aparecimento aos indivíduos em que se formaram, mas se mantêm na sua descendência. O facto de tais fenómenos ocorrerem também nas condições naturais, como mostram as nossas observações no narciso de S. Martinho do Porto, indica que, provavelmente, as radiações penetrantes de pequeno comprimento de onda (raios γ do rádio, radiações cósmicas, etc.), largamente expandidas na natureza, poderão actuar sobre o plasma germinativo dos seres vivos, induzindo modificações semelhantes àquelas que se podem obter artificialmente nos laboratórios. A fusão de cromosomas, observada nas plantas de S. Martinho do Porto, poderia, pois, ter sido produzida por algum daqueles agentes. Estes fenómenos são, sem dúvida, de uma importância capital para a compreensão do mecanismo da evolução, havendo, portanto, necessidade de explorar este riquíssimo campo, o que nos acarretará, indubitavelmente, surpresas muito agradáveis.

* * *

LEWITSKY (1931 *e*) pensa que os cromosomas isobraquiais são filogeneticamente os mais antigos, representando, assim, uma condição primitiva e que, pelo contrário, os cefalobraquiais representam os tipos mais recentes. Esta opinião encontra demonstração no facto de as espécies, que pelos seus caracteres da morfologia externa são as mais primitivas e menos especializadas, possuírem predominância de cromosomas isobraquiais; e, pelo contrário, as espécies, que pelos seus caracteres da morfologia externa são as mais especializadas, mostrarem cromosomas

heterobraquiais e cefalobraquiais. Embora, na maior parte dos casos, as relações sejam as mencionadas, devemos também admitir, graças à demonstração da origem secundária de alguns cromosomas isobraquiais, que espécies recentes podem também exibir cromosomas L L. Os cromosomas isobraquiais podem, pois, ser, não só filogeneticamente antigos, mas também recentes.

4 — NARCISSUS BULBOCODIUM DE PÔRTO DE MOZ (MIRA-VENTAS DO DIABO). (FIGS. 6 E 7 EST. II)

Os exemplares foram colhidos no maciço calcáreo de Pôrto de Moz, próximo de Mira, junto à estação de *N. calcicola* Mend.. As duas espécies de *Narcissus* não se encontram associadas, pois que, enquanto *N. calcicola* vive nas fendas das rochas, no cume dos montes, *N. bulbocodium* encontra-se espalhado na encosta, e, portanto, a um nível mais baixo. Os exemplares estudados apresentam as seguintes características morfológicas (fig. 6, Est. II):

Bolbo esférico de 18-19 mm. de diâmetro, com as escamas externas escuras. Fôlhas prostradas, estreitas (1—1,6 mm.) e bastante compridas (31,5—42 cm.). Escapo mais curto que as fôlhas (13,5—14,5 cm.), cilíndrico. Pedicelo com cerca de 12 mm., e espata com 33. Perianto amarelo de 47 mm. de comprimento (excluindo o ovário) e 20 mm. de diâmetro na abertura. Estrias verdes do tubo continuando-se fracamente pelas tépalas. Tépalas patentes, de 17 mm. de comprimento e 4 mm. de largura na base. Estames da segunda fiada detendo-se um pouco antes do meio da coroa. Estilete incluso. Frutifica muito bem.

Pelas suas fôlhas prostradas, compridas e estreitas e pela coroa levemente contraída no cimo, os exemplares aproximam-se da variedade *obesus* (SALISB.). Diferem dos exemplares de S. Martinho do Pôrto por terem as fôlhas muito mais compridas e prostradas, o pedúnculo floral mais delgado e mais alto, e a coroa levemente contraída no cimo. No que respeita às dimensões do perianto e das suas partes aproxima-se bastante dos exemplares de S. Martinho do Pôrto, embora nestes essas dimensões sejam superiores. Concorda com os exemplares de S. Martinho do Pôrto em possuir tépalas patentes e a mesma posição dos estames e do estilete.

Cariologicamente, esta forma apresenta um comportamento

em tudo semelhante à de S. Martinho do Pôrto. Assim, possui também 26 cromosomas, entre os quais 2 LL, provenientes, cada um, da fusão de dois cromosomas Lp. Nas anafases em células de óvulos jovens (fig. 9) identificámos dois cromosomas LL (LL₁, LL₂), 12 Lp, incluindo nestes os quatro lm, que não nos foi possível distinguir dos Lp, e 12 PP.

O mesmo sucedeu nas metafases dos mesmos tecidos. Nos vértices vegetativos das raízes encontrámos o mesmo número e

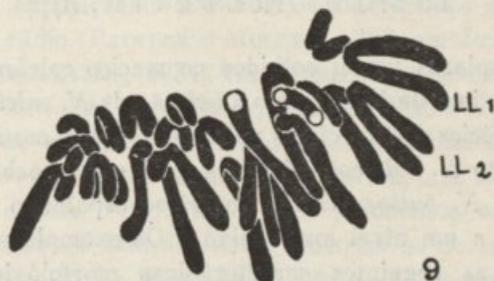


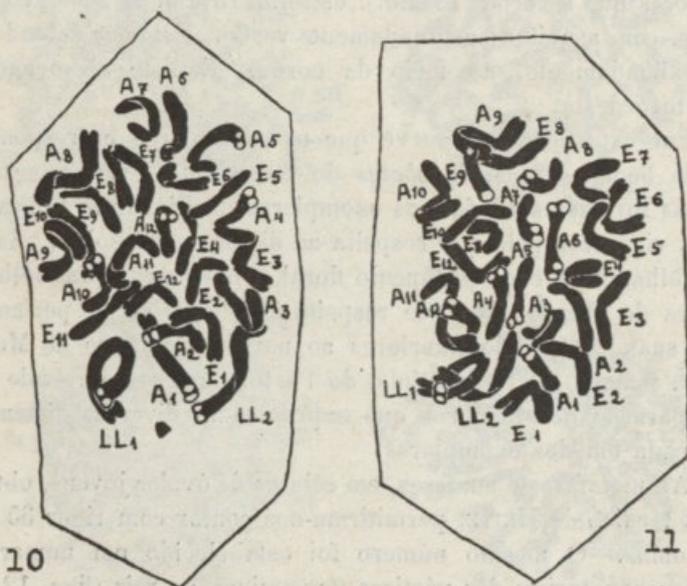
Fig. 9 — *Narcissus bulbocodium* de Pôrto de Moz (Mira). Metade de uma anafase, numa célula de um óvulo jovem, mostrando 26 cromosomas, dois dos quais, LL₁ e LL₂, foram originados por fusão, tôpo a tôpo, de dois cromosomas Lp. Método de HEITZ $\times 2.000$.

os mesmos tipos de cromosomas: 2 LL (LL₁, LL₂), 12 Lp (A₁—A₁₂) e 12 PP (E₁—E₁₂), figs. 10 e 11. Os cromosomas LL aparecem, portanto, em tôdas as células dos exemplares não sendo peculiares a certas e determinadas regiões. A sua constrição primária distingue-se, em certos casos, muito bem, e deve corresponder ao ponto por onde se efectuou a fusão.

Em vários exemplares estudados, quer provenientes de S. Martinho do Pôrto, quer de Pôrto de Moz, encontrámos sempre 26 cromosomas e nunca 28. ¿Ocorrerá a fusão daqueles pares de cromosomas Lp em tôdas as formas tetraplóides de *N. bulbocodium*, ou somente nos exemplares daquelas populações? A esta pergunta não podemos responder ainda, sendo, para isso, necessário examinar mais material proveniente daquelas e doutras localidades. É de notar que nas formas pentaplóides e hexaplóides, que tivemos também ocasião de estudar, nunca encontrámos evidência de semelhante fusão.

Tendo os exemplares S. Martinho do Pôrto e os de Pôrto de Moz a mesma composição cromosómica, há a notar as diferenças morfológicas que eles apresentam, o que se poderá

fácilmente aperceber pela comparação da fig. 4, Est. I com a fig. 6, Est. II. A explicação dêste facto deve, naturalmente, encontrar-se no seguinte: — Entre os indivíduos diplóides de *N. bulbocodium* encontram-se raças distintas, como mostram as nossas observações (por exemplo *N. bulbocodium* var. *genuinus* e *N. bulbocodium* var. *nivalis*). Ora, os exemplares de S. Martinho do



Figs. 10 e 11 — *Narcissus bulbocodium* de Pôrto de Moz (Mira). Placas equatoriais nos vértices vegetativos da raiz. LL₁, LL₂, o par de cromosomas LL; A₁ - A₁₂, cromosomas Lp (incluindo 4 l m); E₁ - E₁₂, cromosomas PP. Fix. Nawaschin (Bruun). × 2.000.

Pôrto e de Pôrto de Moz, poderiam ter sido originados a partir de duas raças distintas, o que explicaria o aparecimento de formas cromosomicamente semelhantes e morfológicamente diferentes.

5 — NARCISSUS BULBOCODIUM DO PINHAL DE LEIRIA.

(FIGS. 8 e 9, EST. II).

Os exemplares colhidos nesta localidade vivem no terreno arenoso das dunas, já fixado e consolidado pelo pinhal. Os bolbos encontram-se a uma profundidade relativamente grande, e as folhas são muito compridas. Os seus caracteres morfológicos são os seguintes:

Bolbo esférico, mais volumoso do que o das outras formas

estudadas, com as escamas externas escuras. Fôlhas 7-8 para cada pedúnculo floral, prostradas, muito compridas (45-56 cm.) e estreitas (1,5 mm.). Escapo cilíndrico e liso. Pedicelo com cerca de 10 mm. de comprimento. Perianto amarelo com 38 mm. de comprimento. Coroa não plissada de 17 mm. de comprimento e 20 mm. de diâmetro na abertura. Tépalas patentes, bastante menores que a coroa (13 mm.), estreitas (3 mm. na base), contorcidas, com a quilha acentuadamente verde. Estames detendo-se, aproximadamente, ao meio da coroa. Estilete alcançando a abertura desta.

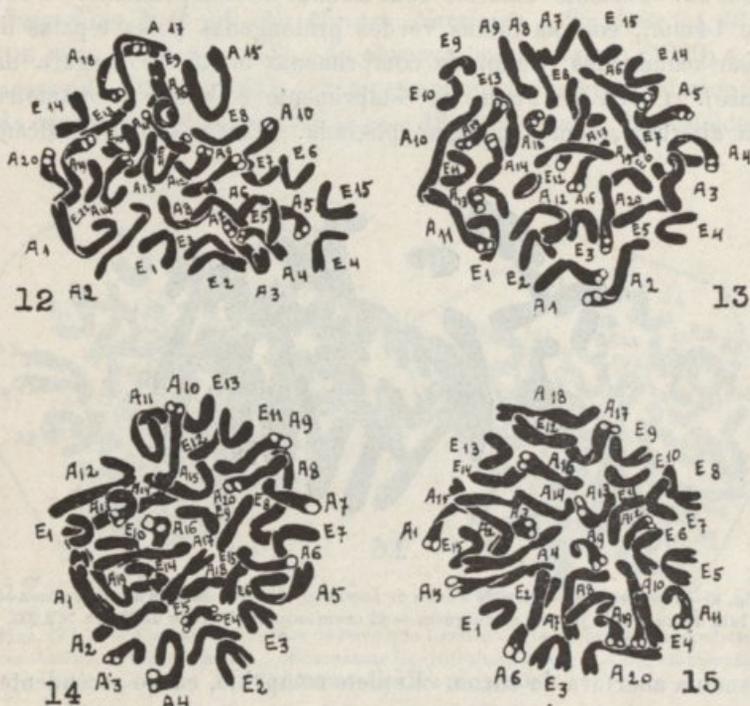
Por esta descrição se vê que os exemplares correspondem muito bem à variedade *obesus* de SALISBURY. Em relação às outras formas estudadas, os exemplares do Pinhal de Leiria são mais vigorosos pelo que respeita ao diâmetro do bolbo, número de fôlhas para cada pedúnculo floral, comprimento das fôlhas e altura do escapo. No que respeita às dimensões do perianto e das suas partes são inferiores ao narciso de Pôrto de Moz, e ainda mais ao de S. Martinho do Pôrto, como se depreende pela comparação dos números que exprimem as diversas dimensões em cada um dos exemplares.

As metafases e anafases, em células de óvulos jovens, obtidas pela técnica de HEITZ, permitiram-nos contar com rigor 35 cromosomas. O mesmo número foi estabelecido em numerosas placas equatoriais dos vértices vegetativos da raiz (figs. 12, 13, 14 e 15). Trata-se, pois, de uma forma pentaplóide, visto que o seu número de cromosomas somático é igual a 5 vezes o número básico da espécie. De harmonia com o complexo cromosómico haplóide $x = 3 L p + 1 l m + 3 P P$, o exemplar deveria possuir a seguinte constituição cromosómica:

$$5 x = 15 L p + 5 l m + 15 P P.$$

Em virtude de o número de cromosomas ser elevado e de existirem 20 cromosomas muito compridos, seria uma tarefa muito difícil distinguir, nas placas equatoriais, os cromosomas $l m$ dos $L p$; por isso, englobamos os cromosomas $l m$ no tipo $L p$. Dêste modo, conseguimos, com facilidade, verificar a existência de 20 cromosomas $L p$ ($A_1 - A_{20}$, figs. 12, 13, 14 e 15) e 15 PP ($E_1 - E_{15}$, figs. 12, 13, 14 e 15). Nunca conseguimos, a-pesar-de termos examinado muito boas placas equatoriais, encontrar

qualquer indício de fusão de cromosomas L p, e, portanto, o conseqüente aparecimento de cromosomas LL. Os cromosomas apresentam-se nesta forma mais compridos e mais delgados do



Figs. 12, 13, 14 e 15 — *Narcissus bulbocodium* do Pinhal de Leiria — Forma pentaplóide. Placas equatoriais onde se podem contar 35 cromosomas. A₁ - A₁₅, cromosomas Lp (incluindo 5 1m); E₁ - E₁₅, cromosomas PP. Fix. Nawaschin (Bruun). × 2.000.

que nas outras que estudámos. Êste facto poderá, talvez, ser atribuído à acção do fixador.

6 — NARCISSUS BULBOCIDIUM DE PÓVOA DE LANHOSO.

(FIGS. 10 e 11 EST. III).

Desta localidade estudámos só um exemplar, o qual nos chamou a atenção pelas suas exíguas dimensões. (Veja-se a fig. 6, Est. II, onde êle se encontra fotografado ao lado do exemplar de Pôrto de Moz). Corresponde aproximadamente à seguinte descrição:

Bolbo esférico de 11mm. de diâmetro. Fôlhas 3 para cada

pedúnculo floral, nitidamente prostradas, curtas (12 cm. de comprimento) e estreitas (1 mm. na base). Escapo cilíndrico com 6 cm. de altura. Pedicelo com 16 mm. de comprimento e a espata com 22. Perianto amarelo com 23 mm. de comprimento. Tubo de 14 mm., com as faixas verdes prolongadas pelas tépalas linear-acuminadas (8 mm. de comprimento e 0,5 de largura na base). Coroa de 9 mm. de comprimento e 9 mm. de diâmetro na abertura, com a margem plissada. Estames longos alcan-



16

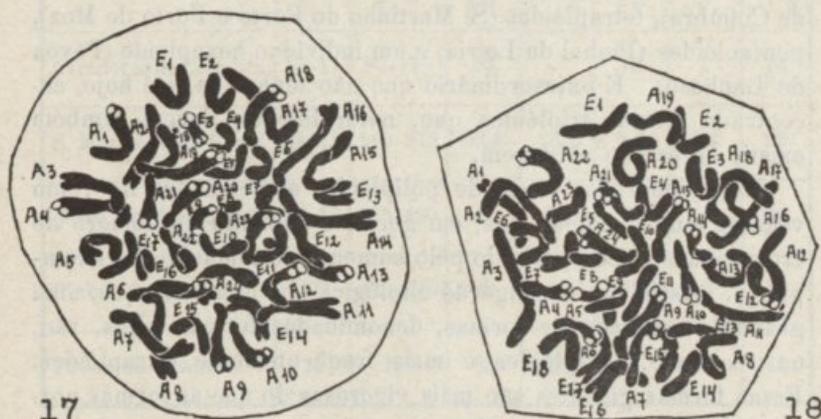
Fig. 16 — *Narcissus bulbocodium* de Póvoa de Lanhoso. Metade de uma anafase numa célula de um óvulo jovem; distinguem-se 42 cromosomas. Método de HERTZ. $\times 2.000$.

çando a abertura da coroa. Estilete comprido, curvo-ascendente, saliente. Estigma nitidamente trilobado. Frutifica muito bem.

Como se vê pela descrição, o exemplar apresenta pequenas dimensões, mesmo bastante inferiores às dos exemplares da variedade *genuinus*, que estudámos em primeiro lugar. Suspeitámos, por isso, que o exemplar apresentasse 14 cromosomas. O seu estudo, porém, revelou-nos que se tratava de uma forma com 42, isto é, duma forma hexaplóide (figs. 16, 17 e 18). Entre esses 42 cromosomas distinguem-se facilmente 24 mais compridos, dos tipos Lp e lm ($A_1 - A_{24}$, figs. 17 e 18), e 18 curtos, do tipo PP ($E_1 - E_{18}$, figs. 17 e 18). Apesar de termos examinado muito boas placas equatoriais não conseguimos pôr em evidência a existência de satélites.

O exemplar de Póvoa de Lanhoso foi aquele que, até hoje, nós mostrou o mais elevado grau de poliplóidia; desconhecemos, porém, se se encontram, nas condições naturais, formas de poliplóidia mais elevada. Uma forma hexaplóide foi examinada por

HEITZ (1926) antes de se observarem formas diplóides. Este facto faz com que DE MOL (1932) considere 42 como sendo o número de cromosomas natural desta espécie: «Die natürliche Chromozomenzahl von Narcissus oder Corbularia bulbocodium ist dreimal so hoch als die übrigen Narzissen. Sie beiträgt 42». (DE MOL, 1932, pág. 64). As observações de NAGAO (1929) e as nossas de 1930 a e 1931 a, b, mostram que o número fundamental da espécie é 7, e que as formas com 42 são, portanto, hexaplóides.



Figs. 17 e 18 — *Narcissus bulbocodium* de Póvoa de Lanhoso. Placas equatoriais; vértices vegetativos de raízes. A₁—A₂₁, cromosomas Lp (incluindo 6 l m); E₁—E₂₁, cromosomas PP. Fix. NAWASCHIN (Bruun). × 2000.

DE MOL (1932) diz também que os cromosomas de *N. bulbocodium* não correspondem, no tamanho e na forma, aos cromosomas das outras espécies. «Über dies entsprechen diese Chromosomen (os de *N. bulbocodium*) an Grösse und Form nicht denen der anderen Narzissen». As nossas primitivas observações (FERNANDES 1931 a, b) mostram que tal não é o caso, pois que a guarnição cromosómica de *N. bulbocodium* é muito parecida à de *N. reflexus* e à de *N. triandrus*. Do mesmo modo, em *N. pseudonarcissus* encontramos alguns cromosomas de tipo semelhante aos que se encontram em *N. bulbocodium*.

A forma de Póvoa de Lanhoso apresenta de notável as suas exíguas dimensões. Uma oposição semelhante, entre o número elevado de cromosomas e o tamanho dos indivíduos, foi também notada por HEITZ (1926), na forma hexaplóide examinada por ele. É extraordinário que ambas as formas, encontradas em

pontos tão diferentes, se comportem do mesmo modo no que diz respeito ao tamanho. ¿Comportar-se-ão assim tôdas as formas hexaplóides de *N. bulbocodium*? Em futuras investigações tentaremos esclarecer este ponto.

Poliplóidia e tamanho dos indivíduos

Na espécie polimorfa *Narcissus bulbocodium* L. encontramos, no estado espontâneo, populações de formas diplóides (arredores de Coimbra), tetraplóides (S. Martinho do Pôrto e Pôrto de Moz), pentaplóides (Pinhal de Leiria) e um indivíduo hexaplóide (Póvoa de Lanhoso). É extraordinário que não tenhamos, até hoje, encontrado formas triplóides que, naturalmente, devem também existir no estado selvagem.

Nos numerosos casos de poliplóidia mencionados no reino vegetal tem-se notado que, em geral, o aumento do número de cromosomas é acompanhado pelo aumento do tamanho dos exemplares. Assim, a investigação citológica tem mostrado que, uma grande quantidade de formas, denominadas formas *gigas*, são, na realidade, poliplóides e mais freqüentemente tetraplóides. Essas formas gigantes são mais vigorosas do que as formas normais diplóides, diferindo destas, não só no tamanho geral, mas também nas dimensões de tôdas, ou quasi tôdas as suas partes. No caso dos narcisos verificamos que as formas tetraplóides são, no aspecto geral, muito mais vigorosas do que as diplóides e que as pentaplóides são ainda mais vigorosas do que as tetraplóides (figs. 1, 3, 6 e 8, Ests. I e II). Pelo contrário, a forma hexaplóide apresenta dimensões insignificantes, sendo inferior aos exemplares diplóides.

O aumento de tamanho geral progressivo dos diplóides aos pentaplóides não é acompanhado por um aumento, também progressivo, de cada uma das suas partes. Este facto ressalta imediatamente do estudo do quadro II, onde se encontram mencionadas, para cada forma estudada, as dimensões dos órgãos e as das suas partes mais importantes.

QUADRO II

Dimensões, em milímetros, dos órgãos e das suas partes nas formas diplóides, tetraplóides, pentaplóides e hexaplóides de «*N. bulbocodium*».

Localidades	Diâmetro do bulbo	Comprimento médio das folhas	Comprimento do perianto	Diâmetro da coroa na abertura	Comprimento das tépalas	Largura das tépalas na base	Número de cromosomas
Arredores de Coimbra.	15-17	80-175	30	—	10	1	14
S. Martinho do Pôrto.	14-15	240-275	52,4	25,4	5,6	6,4	26
Pôrto de Moz (Mira).	18-19	315-420	47	20	17	4	26
Pinhal de Leiria.	25	440-570	38	20	13	3	35
Póvoa de Lanhoso.	11	120	23	9	8	0,5	42

A análise do quadro supra mostra o seguinte:

1.º — No que respeita ao diâmetro dos bulbos, a forma tetraplóide de S. Martinho do Pôrto é inferior à diplóide; a de Pôrto de Moz é-lhe ligeiramente superior. O maior tamanho é exibido pela forma pentaplóide, que se distancia bastante das outras.

2.º — O comprimento das folhas aumenta progressivamente dos exemplares diplóides aos pentaplóides, apresentando estas, folhas extraordinariamente compridas. As duas formas tetraplóides diferem consideravelmente neste carácter, pois que as folhas dos exemplares de Pôrto de Moz são muito mais compridas do que as dos exemplares de S. Martinho do Pôrto.

3.º — Com respeito ao comprimento do perianto, a maior dimensão é a apresentada pela forma de S. Martinho do Pôrto. A outra forma tetraplóide é-lhe inferior e mais inferior é ainda a forma pentaplóide, que fica intermediária entre a diplóide e a tetraplóide de Pôrto de Moz.

4.º — Em relação ao diâmetro da coroa na abertura, o pri-

meiro lugar cabe também aos exemplares de S. Martinho do Pôrto. A forma tetraplóide de Pôrto de Moz é, nesse carácter, igual à pentaplóide.

5.º — As tépalas mais compridas são as dos exemplares de Pôrto de Moz, seguindo-se as dos de S. Martinho do Pôrto. A forma pentaplóide é inferior às tetraplóides.

6.º — As tépalas mais largas são as dos indivíduos de S. Martinho do Pôrto; seguem-se-lhes as dos indivíduos de Pôrto de Moz. A forma pentaplóide é, também, neste carácter, inferior às tetraplóides.

7.º — As dimensões de tôdas as partes do exemplar hexaplóide são inferiores às da forma diplóide.

8.º — As duas formas tetraplóides diferem no tamanho dos bolbos, no comprimento das fôlhas, no comprimento do perianto, no valor do diâmetro da coroa na abertura e no comprimento e largura das tépalas. Ora, num caso, as vantagens são a favor dos exemplares de S. Martinho do Pôrto, ora, noutro caso, as vantagens são do lado dos de Pôrto de Moz.

As relações entre a poliplóidia e o tamanho geral dos indivíduos e das suas partes, aparecem-nos, assim, em face dos dados referidos, bastante complicadas, parecendo que não se poderá descortinar alguma relação regular.

O aumento do número de cromosomas, numa série poliplóide, está relacionado, como tem sido verificado por vários autores, com o aumento do volume celular. Esse aumento de volume torna-se bem perceptível no nosso material quando fazemos a comparação dos grãos de pólen da forma diplóide com os das formas tetraplóides. O pólen dos exemplares diplóides dos Arredores de Coimbra é, em parte, mal conformado, apresentando cerca de 15% de grãos imperfeitos, provavelmente incapazes de germinar (fig. 12, Est. III). O pólen dos exemplares de S. Martinho do Pôrto (fig. 13, Est. III) é todo bem constituído, o que se encontra em harmonia com a sua elevada fertilidade e, muito naturalmente também, com a regularidade com que nêles se devem passar as divisões de redução. O pólen dos exemplares de Pôrto de Moz (fig. 14, Est. III) tem, pelo contrário, cerca de 20 a 25% de grãos mal conformados, enquanto que os restantes apresentam um aspecto normal e uniforme.

A determinação do volume dos grãos de pólen dos narcisos é bastante difícil, em virtude de eles não apresentarem uma

forma geométrica regular de que se possa determinar facilmente o volume. No entanto, apresentam um contôrno aproximadamente elíptico e nós poderemos, embora muito grosseiramente, considerá-los elipsóides de revolução com os dois eixos menores iguais. Partindo dessa presunção, poderemos calcular o volume, desde que conheçamos o valor do eixo maior e do menor. A-fim-de determinarmos estas grandezas, projectámos em cada caso, com a mesma ampliação e com o auxílio da ocular de desenho LEITZ, o contôrno de 100 grãos de pólen normais; a partir dos desenhos assim obtidos determinámos o valor dos eixos maior e menor. Uma vez conhecidas estas grandezas para cada grão, determinámos os seus valores médios. O volume era então determinado pelo emprêgo da fórmula que nos dá o volume de um elipsóide de eixos menores iguais: $V = \frac{4}{3} \pi a b^2$, em que a e b representam, respectivamente, os valores dos semi-eixos maior e menor. Os resultados obtidos para os exemplares dos Arredores de Coimbra, S. Martinho do Pôrto e Pôrto de Moz, encontram-se resumidos no quadro III.

QUADRO III

Volumes, em μ^3 , dos grãos de pólen das formas diplóides e tetraplóides de «Narcissus bulbocodium».

Localidades	Eixo maior (em μ)	Eixo menor (em μ)	Volume em μ^3	Diferença de volume em relação à forma diplóide	Diferença de volume entre os tetra- plóides
Arredores de Coimbra ($2n = 14$)	58,18	36	39.142	0	—
S. Martinho do Pôrto ($2n = 26$)	64,25	39,38	52.142	12.683 μ^3	—
Pôrto de Moz (Mira) ($2n = 26$)	69,88	40,14	58.922	19.462 μ^3	6.779 μ^3

Como se vê por este quadro, os grãos de pólen das formas tetraplóides são mais volumosos do que os das diplóides, como aliás se pode também verificar pela comparação das figs. 12,

13 e 14, Est. III, e, ainda melhor, pela observação da fig. 19, onde se encontram representados os contornos de alguns grãos de pólen de plantas dos Arredores de Coimbra, de S. Martinho do Pôrto e de Pôrto de Moz (Mira). As duas formas tetraplóides manifestam uma diferença de volume considerável, que não se pode considerar como não tendo significado. Efectivamente, os grãos de pólen dos exemplares de Pôrto de Moz são bastante mais compridos do que os de S. Martinho do Pôrto. A explicação d'êste facto deve, naturalmente, encontrar-se no seguinte:— Entre os exemplares diplóides de *N. bulbocodium* devem encontrar-se raças diversas, que apresentam volumes celulares diferentes, embora êsses volumes sejam constantes nos indivíduos da mesma raça. Ora, como os caracteres da morfologia externa indicam, as duas formas tetraplóides devem ter sido originadas a partir de duas raças diferentes. Dêste modo, as duas formas, com o mesmo grau de poliplóidia, poderiam apresentar volumes celulares também diferentes.

O quadro III mostra bem que o volume dos grãos de pólen das formas tetraplóides é muito superior ao das formas diplóides. A comparação dos grãos de pólen das formas tetraplóides com os das pentaplóides não é possível, pois que nestas as divisões de redução devem ser irregulares, resultando assim, no que respeita ao volume, diversas categorias de grãos de pólen (fig. 15, Est. III).

A comparação de células homólogas dos vértices vegetativos das raízes, das diversas formas poliplóides, permite verificar que o volume dessas células aumenta progressivamente das diplóides às hexaplóides (figs. 2, 5, 7, 9 e 11, Ests. I, II e III). Dado êste aumento de volume celular, se o número de células de cada órgão se mantivesse constante em tôdas as formas poliplóides, deveria, necessariamente, o tamanho de cada órgão aumentar numa certa progressão. Mas, como aponta F. V. WETTS-TEIN (1926), «a constância do número de células não é realizada a maior parte das vezes. Encontram-se formas onde, em consequência da poliplóidia, o número de células de um órgão aumenta, outras em que êle diminui, e raramente outras em que êle fica constante». Dêste modo, continua o mencionado autor, «o tamanho dos poliplóides, resulta de um compromisso entre as variações do tamanho das células e as variações do seu número, o qual pode conduzir, não só a um forte aumento, mas

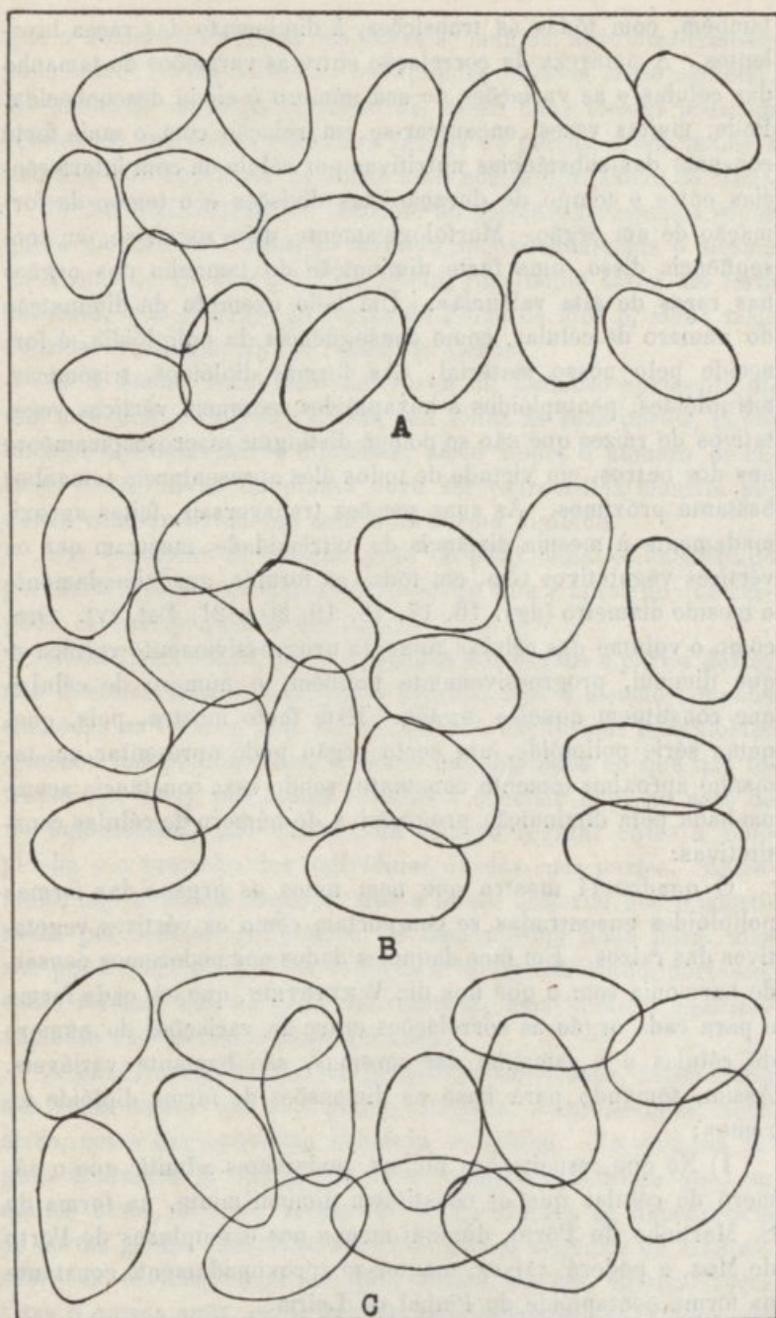


Fig. 19 — Contornos de grãos de pólen; A) — forma diplóide dos Arredores de Coimbra; B) — forma tetraplóide de S. Martinho do Pôrto; C) — forma tetraplóide de Pôrto de Moz (Mira). $\times 520$.

também, com tôdas as transições, à diminuição das raças bivalentes. A natureza da correlação entre as variações do tamanho das células e as variações do seu número é ainda desconhecida. Pode, muitas vezes, encontrar-se em relação com o mais forte consumo das substâncias nutritivas por célula ou com interferências entre o tempo de duração das divisões e o tempo de formação de um órgão. Morfológicamente, deve seguir-se, em consequência disso, uma forte diminuição do tamanho dos órgãos nas raças de alta valência». Um belo exemplo da diminuição do número de células, como consequência da poliplóidia, é fornecido pelo nosso material. As formas diplóides, trisómicas, tetraplóides, pentaplóides e hexaplóides, possuem vértices vegetativos de raízes que não se podem distinguir macroscopicamente uns dos outros, em virtude de todos elles apresentarem tamanhos bastante próximos. As suas secções transversais, feitas aproximadamente à mesma distância da extremidade, mostram que os vértices vegetativos têm, em tôdas as formas, aproximadamente o mesmo diâmetro (figs. 16, 17, 18, 19, 20 e 21, Est. IV). Ora, como o volume das células aumenta progressivamente verifica-se que diminui, progressivamente também, o número de células que constituem aqueles órgãos. Este facto mostra, pois, que, numa série poliplóide, um certo órgão pode apresentar um tamanho aproximadamente constante, sendo essa constância acompanhada pela diminuição progressiva do número de células constitutivas.

O quadro II mostra que nem todos os órgãos das formas poliplóides encontradas se comportam como os vértices vegetativos das raízes. Em face daqueles dados nós poderemos pensar, de harmonia com o que nos diz WETTSTEIN, que em cada forma e para cada órgão as correlações entre as variações do número de células e o tamanho das mesmas, são bastante variáveis. Assim, tomando para base as dimensões da forma diplóide teremos:

1) No que respeita aos bolbos, poderemos admitir que o número de células que os constituem diminui muito, na forma de S. Martinho do Pôrto, diminui menos nos exemplares de Pôrto de Moz, e poderá, talvez, manter-se aproximadamente constante na forma pentaplóide do Pinhal de Leiria.

2) Como o comprimento das folhas aumenta progressivamente das formas diplóides às pentaplóides, poderíamos supor

que o número de células das folhas se mantem aproximadamente constante. As duas formas tetraplóides diferem neste carácter. No entanto, como já vimos atrás, essas duas formas possuem células de tamanhos diferentes (grãos de pólen), sendo maiores naquela que apresenta as folhas mais compridas (Pôrto de Moz).

3) No que respeita ao tamanho do perianto poderemos supor que o número de células se mantem aproximadamente o mesmo na forma de S. Martinho do Pôrto, resultando assim um forte aumento, que diminue na forma de Pôrto de Moz e, ainda mais consideravelmente, na do Pinhal de Leiria.

4) A forma hexaplóide de Póvoa de Lanhoso apresenta dimensões muito exíguas, sendo, em tôdas as suas partes, muito inferior aos exemplares diplóides; dêste modo, o número de células constitutivas da planta deve ser extraordinariamente pequeno comparativamente com o da forma diplóide.

Um exemplar do mesmo grau de poliplóidia foi encontrado por HEITZ (1926); essa planta concorda com a nossa no que respeita às suas pequenas dimensões.

Dada a variabilidade dos tamanhos dos órgãos e partes dêstes nas diversas formas poliplóides (órgãos com o mesmo tamanho em tôdas as formas, com maior tamanho nas formas tetraplóides e menor nas pentaplóides, maiores nas diplóides do que nas tetraplóides, etc.), nós somos levados a concluir que, no caso de *N. bulbocodium*, não existe uma relação regular entre a poliplóidia e o tamanho dos indivíduos ou das suas partes. Entretanto, não devemos esquecer que o nosso material não é constituído por formas poliplóides de uma mesma linha pura, mas sim por formas poliplóides de raças diversas, diferindo, portanto, essas formas, não só quantitativamente, mas também qualitativamente na sua composição genética.

A genética das dimensões gerais dos indivíduos, assim como dos seus órgãos tem sido pouco estudada, e apresenta-se, além disso, como um problema bastante complexo. No entanto, alguns trabalhos já efectuados sobre o assunto, indicam que, em muitos casos, aqueles caracteres se encontram na dependência de certas genes. As próprias investigações originaes de MENDEL sobre as ervilhas mostram que, nestas plantas, existem raças altas e outras anãs, cujos caracteres diferenciaes são regidos, em cada uma delas, por um simples par de genes. As experiências de LEAKE (citadas por BABCOCK e CLAUSEN, 1918) sobre as folhas

dos algodoieirose, as de EAST (citadas pelos mesmos autores) em *Nicotiana longiflora* mostram também que, nestes casos, a herança do tamanho se encontra na dependência de certos genes. Ora, as correlações de que fala WETTSTEIN, entre as variações do número de células e o tamanho das mesmas, poderiam ser condicionadas pelo conjunto de genes existentes nos poliplóides, o que explicaria as relações encontradas em *N. bulbocodium*. Assim, nas formas poliplóides de *N. bulbocodium*, originadas a partir de raças diferentes, devem, para as dimensões de cada órgão ou partes, encontrar-se em presença genes semelhantes cujos efeitos se adicionarão, aumentando ou diminuindo as dimensões de um certo órgão ou parte; ou genes diferentes (p. e. genes que produzem dimensões normais e genes que as produzem inferiores às normais) de efeitos contrários. Das relações quantitativas entre umas e outras dependerá, no último caso, a dimensão em questão. Tendo-se em vista todas as combinações que se podem dar e as relações existentes entre as genes, compreende-se bem a diversidade de formas poliplóides que se podem obter a partir de algumas raças diplóides de constituição genética diferente. Dêste modo, compreende-se que as duas formas tetraplóides difiram no comprimento das folhas, no comprimento do perianto, no comprimento e largura das tépalas, etc.. Também se compreende que a forma pentaplóide tenha folhas muito mais compridas do que as tetraplóides, mas que, pelo contrário, apresente um perianto menor, tépalas mais pequenas, etc., etc..

Com respeito à forma de Póvoa de Lanhoso as suas pequenas dimensões poderiam explicar-se supondo que ela era uma forma hexaplóide de uma raça homozigótica no que respeita aos factores para o nanismo. A acção de 6 genes seria muito mais intensa que a de duas e, neste caso, a redução de tamanho poderia ser de tal ordem que a forma hexaplóide fôsse em tudo inferior às formas diplóides, mesmo anãs. A fim de verificarmos êste ponto de vista, seria necessário assegurarmo-nos da existência de formas anãs e gigantes nas populações diplóides, e examinar vários hexaplóides, provenientes de localidades diversas, estudando o seu comportamento no que diz respeito ao tamanho. Se, entre êsses hexaplóides, encontrássemos formas gigantes a explicação emitida seria plausível; se, pelo contrário, todos os exemplares se comportarem como o de Póvoa de Lanhoso, a explicação do fenómeno será necessariamente outra.

É de notar que o exemplar encontrado por HEITZ, concorda, como atrás dissemos, com o que nós estudámos, facto êste que tende a mostrar que talvez a redução de tamanho seja comum a tôdas as formas hexaplóides de *N. bulbocodium*. Neste caso, a explicação da diminuição do tamanho poderá ser aquela que dá WETTSTEIN, para as formas de alta valência, e que atrás fica exposta.

A origem das formas poliplóides de «*N. bulbocodium*»

Vários investigadores têm conseguido obter formas poliplóides, em diversos grupos de plantas, seguindo o caminho experimental. Um esplêndido resumo expondo os processos utilizados para a obtenção de formas poliplóides foi recentemente publicado por F. V. WETTSTEIN (1926); JORGENSEN (1928) discute também o assunto especialmente no que respeita aos factores que, nas condições naturais, podem ser responsáveis pelo aparecimento de tais formas. Os poliplóides, e particularmente os tetraplóides, podem ter origens diversas:

1) Os tetraplóides podem originar-se por duplicação do número de cromosomas em células dos tecidos somáticos de indivíduos diplóides.

Essa duplicação pode ser produzida por algum dos seguintes processos:

a) Aparecimento de profases anómalas, tais como as observadas por STOMPS (1910) e DE LITARDIÈRE (1923) nos vértices vegetativos das raízes de *Spinacia oleracea*. Em algumas células dos meristemas desta planta, os cromosomas dividem-se longitudinalmente durante a profase; as metades resultantes voltam novamente a dividir-se também longitudinalmente, e dispõem-se, depois, em placa equatorial. As metafases têm, assim, um número duplo de cromosomas divididos longitudinalmente. Nas anafases, separam-se as metades dos cromosomas formadas pela segunda divisão, resultando, assim, células com o número de cromosomas duplicado

b) Não-formação de parede divisória entre os núcleos resultantes da divisão nuclear.

Se a citocinese não tiver lugar, podem formar-se células binucleadas; entrando depois os núcleos dessa célula em divisão

simultânea, os dois grupos de cromosomas podem reunir-se no mesmo fuso originando-se, assim núcleos com 4 x cromosomas.

Para estes processos de formação de células tetraplóides, nos tecidos diplóides, propõe JORGENSEN o termo *endo-duplicação*.

Se algum dos fenómenos apontados tiver lugar numa célula inicial meristemática poderão formar-se, por divisões sucessivas dessa célula, sectores, ou mesmo órgãos tetraplóides. Se esses órgãos, no caso das plantas superiores, produzirem sementes, estas desenvolvendo-se poderão dar origem a indivíduos com 4 x cromosomas.

A duplicação somática, a que aludimos, parece ser um fenómeno de ocorrência freqüente no reino vegetal pois que, muitas vezes, se tem verificado a existência de células binucleadas nos tecidos de raízes e de caules (PRANKERD, 1915; BEER e ARBER, 1919, 1920; de LITARDIÈRE, 1923; BRESLAWETZ, 1926; etc.) e o aparecimento de sectores tetraplóides (LESLEY, em *Solanum Lycopersicum* e num híbrido entre duas espécies de *Crepis*; NAWASCHIN, em *Crepis Dioscoridis*; de LITARDIÈRE, em *Spinacia oleracea*; LANGLET, em *Thalicthum aquilegifolium*, *Th. rariflorum*; BRESLAWETZ, em *Canabis sativa*; WEBER, em *Nicotiana silvestris*; e BRUUN, nas raízes de *Primula mollis*, *P. denticulata*, *P. sphaerocephala*, *P. chionantha*, *P. Maximowiczii*, *P. prionotes*, *P. Cockburniana* e no tecido esporogéneo de anteras jovens de *P. obconica* e *P. pseudosikkimensis*).

As experiências de WINKLER (1916) e as de JORGENSEN (1928) sobre a obtenção de poliplóides em várias espécies do género *Solanum* demonstram, de uma maneira cabal, que aquelas formas podem originar-se por algum dos processos descritos.

A duplicação dos cromosomas nos tecidos somáticos pode ter lugar, tanto em formas puras, como em híbridos entre espécies. Este último caso tem um interêsse particular, em virtude de assim se poderem obter, a partir de híbridos, formas alotetraplóides ou anfidiplóides que, em consequência da sua constituição cromosómica, são constantes e férteis.

Vários exemplos de formas anfidiplóides, produzidas por um tal processo, são actualmente conhecidos (ver cap. V).

Pelos processos descritos, podem assim surgir, nas condições naturais, formas tetraplóides, que, pelo mesmo mecanismo, poderão produzir formas octoplóides; pelo cruzamento de gâmetos produzidos pelos diplóides, tetraplóides e octoplóides podem

aparecer outras formas, originando-se assim a série 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, etc..

2) Anomalias nas divisões de redução.

O mecanismo das divisões meióticas é tanto ou mais sensível que o das divisões somáticas, podendo, por isso, ser influenciado por vários agentes (variações de temperatura, substâncias químicas, etc.), que poderão ocasionar irregularidades, como bem o demonstram os trabalhos de SAKAMURA (1920), BORGESTAM (1922), de MOL (1923 e 1928), BELLING (1925), MICHAELIS (1926), etc..

NAGAO (1933), fazendo o estudo das anormalias que podem aparecer nas divisões de redução, menciona as seguintes:

a) Distribuição desigual de cromosomas na divisão heterotípica;

b) Formação de núcleos de restituição;

c) Divisão equacional em lugar de divisão de redução;

d) Fusão dos dois fusos homotípicos na segunda divisão.

As três últimas irregularidades provocam a formação de grãos de pólen, e naturalmente também de óvulos, com o número duplo de cromosomas. Muitas vezes, os grãos de pólen, provenientes de uma célula mãe, formam díadas, e não tétradas como usualmente, e são mais volumosos do que os normais. Do cruzamento de gâmetos que possuem 2x cromosomas com gâmetos normais (x) resultarão triplóides; e do cruzamento entre si, de gâmetos com 2x, resultarão tetraplóides. Nos triplóides e tetraplóides podem também ter lugar as anomalias mencionadas e pelo cruzamento de gâmetos poliplóides assim formados, poderá originar-se a série de formas 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, etc..

Nos híbridos, entre formas sistematicamente afastadas, as divisões de redução não podem passar-se regularmente, em virtude da falta de atracção entre os cromosomas, que não poderão, por esse motivo, formar bivalentes. Muitas vezes, porém, graças ao aparecimento de «divisões de redução semi-heterotípicas» (ROSENBERG, 1926) e à conseqüente formação de núcleos de «restituição» (ROSENBERG, 1926), podem produzir-se gâmetos, que possuem todos os cromosomas existentes nas células somáticas do híbrido. O cruzamento de dois desses gâmetos produzirá formas anfidiplóides com os mesmos caracteres daquelas que podem ser obtidas pela duplicação somática. Como dos gâmetos produzidos pelo híbrido, só, em geral, os diplóides são

viáveis compreende-se que a descendência de um tal híbrido seja constituída por tetraplóides, que se comportarão como novas espécies.

3) Por regeneração de esporófitas, de modo a produzirem gametófitas, nos grupos de plantas que possuem alternância regular de gerações. A êste domínio pertencem as bem conhecidas investigações de MARCHAL e F. V. WETTSTEIN nos musgos e de GOEBEL nos fetos. O método consiste no seguinte:

Um pedaço do esporófito, por exemplo, de uma cápsula de um musgo pode, por regeneração, produzir um protonema que, por sua vez, originará um gametófito com $2x$ cromosomas. A partir dêste pode obter-se, por fecundação de um arquegónio, um esporófito com $4x$ cromosomas, que, por regeneração poderá, por sua vez, dar origem a um gametófito com o mesmo número de cromosomas. Dêste, pode formar-se um esporófito octoplóide, e assim sucessivamente. Seguindo êste método F. V. WETTSTEIN conseguiu obter raças 18-plóides! Compreende-se depois que, por cruzamento de gâmetos das diversas formas, se possa obter também a série \times , $2x$, $3x$, $4x$, $5x$, etc..

4) A polispérnia, como facilmente se compreende, poderá também ser responsável pelo aparecimento de formas poliplóides.

Como vimos atrás, as formas poliplóides de *N. bulbocodium*, originam-se muito freqüentemente no estado espontâneo. O seu modo de formação não foi, porém, intensivamente estudado, tencionando nós abordar êste assunto mais de perto num outro trabalho. Contudo, faremos aqui algumas considerações, esperando que investigações ultteriores nos forneçam mais alguns dados para a resolução dêste problema.

Nos vértices vegetativos das raízes de exemplares diplóides, tanto pertencentes à espécie *N. bulbocodium* como a várias outras que também estudámos, nunca conseguimos encontrar células binucleadas nem sectores tetraplóides. A duplicação de cromosomas nos tecidos somáticos, se porventura ocorre, não foi, portanto, observada ainda. Como a poliplóidia nos narcisos é muito freqüente e a duplicação somática parece ser rara, somos levados a concluir que êste fenómeno não é um factor de grande importância no que respeita à origem das formas poliplóides. No entanto, a possibilidade da sua ocorrência é verosímil, pois que de MOL obteve, nas suas culturas, por «variação de gomos» (*bud-variation*), duas formas tetraplóides com 28 cromosomas, a partir das

formas «Lucifer» e «Fuselier» resultantes do híbrido *N. poeticus* × *N. pseudonarcissus*, que possui 14 cromosomas.

As formas poliplóides de *N. bulbocodium* devem ter sido produzidas pela conjugação de gâmetos poliplóides formados em consequência de irregularidades nas divisões de redução.

De MOL (1923 e 1928), sujeitando bolbos de *Tulipa* e *Hya-cinthus* a variações de temperatura, verificou que nessas plantas apareciam, além de grãos de pólen com o número normal de cromosomas, outros com esse número duplicado e outros ainda com ele quadruplicado. Estas três categorias de grãos de pólen distinguem-se muito bem, graças às diferenças de tamanho existentes entre eles. Como os grãos de pólen gigantes aparecem em grande quantidade, de MOL atribui à sua formação a causa do aparecimento das formas poliplóides. Dada a semelhança existente entre a biologia das tulipas e a dos narcisos, é natural que também as últimas plantas sejam influenciadas pelas variações de temperatura, e que se formem nelas gâmetos com o número de cromosomas duplicado e quadruplicado, o que daria a explicação do aparecimento da poliplóidia nestas plantas.

O pólen dos indivíduos dos arredores de Coimbra apresenta cerca de 15 % de grãos mal conformados que, pelo seu aspecto, devem ser incapazes de germinar normalmente. Êste facto tende a mostrar que as divisões de redução não são normais, e que, conjuntamente com grãos de pólen normal com 7 cromosomas, se formam alguns diplóides e outros tetraplóides. A observação do pólen mostrou-nos, porém, que os grãos normais apresentavam uma grande uniformidade de tamanho, não se notando entre eles grãos gigantes. Por isso, embora nos inclinemos bastante a pensar que é a formação de gâmetos com o número de cromosomas duplicado, quadruplicado, etc., a principal causa do aparecimento, no estado espontâneo, das formas poliplóides, não temos ainda elementos que nos permitam fazer essa afirmação de uma maneira categórica. A fim de confirmar ou infirmar êste ponto de vista será necessário fazer o estudo das divisões de redução nos indivíduos diplóides, e poliplóides, verificar a influencia das variações das condições externas sôbre a marcha dessas divisões, e determinar a percentagem de gâmetos que aparecem com números de cromosomas múltiplos do normal. Em futuras investigações abordaremos, então, mais profundamente o problema.

Resumo do presente capítulo

Narcissus bulbocodium é muito polimorfo, e por isso, enquanto que alguns sistemáticos distinguem nele diversas variedades, outros consideram essas variedades como espécies distintas. As investigações cariológicas mostram que esse polimorfismo é devido à ocorrência da poliplóidia, em larga escala, no estado espontâneo. Assim, a população dos arredores de Coimbra apresenta-se constituída por indivíduos diplóides; as de S. Martinho do Pôrto e Pôrto de Moz (Mira), por indivíduos tetraplóides; e a de Pinhal de Leiria por indivíduos pentaplóides. Finalmente, um indivíduo proveniente de Póvoa de Lanhoso era hexaplóide; e numa população de *N. bulbocodium* var. *nivalis* da Serra da Estréla, encontrámos um indivíduo trisómico. As populações mencionadas apresentavam-se puras e não constituídas pela mistura de diversos poliplóides. (A-fim-de pôr melhor em evidência a pureza daquelas populações torna-se necessário examinar um número de indivíduos maior do que o que agora foi observado). Formando-se os poliplóides a partir de diplóides, seria natural que, pelo cruzamento entre eles, se originassem formas com diversos graus de poliplóidia e que as populações fôsseem mixtas. O facto das populações serem puras significa, talvez, que, na natureza, se dá a eliminação de certos e determinados poliplóides persistindo sòmente os melhores adaptados. O facto de, até hoje, ainda não termos encontrado formas triplóides é muito significativo.

N. bulbocodium encontra-se pois em plena evolução, seguindo especialmente o caminho da poliplóidia. Muitos poliplóides são vigorosos e perfeitamente férteis, podendo, por isso, considerar-se espécies distintas.

Como exemplo disto temos os exemplares de S. Martinho do Pôrto, que apresentam em relação ao tipo diferenças tão acentuadas que, estamos convencidos, poucos taxonomistas os não considerariam como uma espécie nova.

Como 14 é o número somático mais baixo encontrado, *N. bulbocodium* tem 7 como número fundamental. A série poliplóide, é, então, constituída pelos números 7, 14, 21, 28, 35, 42, etc..

As formas de S. Martinho do Pôrto e de Pôrto de Moz (Mira) a-pesar-de serem tetraplóides quanto à sua massa cromosómica,

possuem só 26 cromosomas, em lugar de 28. Os 26 cromosomas foram originados a partir dos 28 por fusão, tópo a tópo, dos pares de cromosomas Lp que possuem o ramo curto mais pequeno. A fusão originou o aparecimento de um par de cromosomas LL, de um tipo diferente daqueles que se encontram nos diplóides e noutras formas poliplóides.

Em face destas observações, nós sugerimos que a poliplóidia, associada com a fusão de cromosomas, pode ter uma grande importância na evolução do complexo cromosómico, ocasionando o aparecimento de números de cromosomas aneuplóides e de novos tipos de cromosomas. Muitos números de cromosomas, cujas relações nos parecem actualmente bastante obscuras, poderão ser explicados por estes fenómenos.

As relações entre a poliplóidia e o tamanho dos indivíduos apresentam-se muito complicadas. Apesar do tamanho celular aumentar progressivamente das formas diplóides às hexaplóides, o tamanho dos órgãos e das suas partes varia irregularmente nas diversas formas poliplóides. Tentamos, em face dos conhecimentos genéticos actuais, dar a explicação provável dos factos observados.

O modo de formação das formas poliplóides de *N. bulbocodium* não se encontra ainda esclarecido. Presumimos que elas devem ser originadas, na maior parte, pelo cruzamento de gametos haplóides e poliplóides, formados estes últimos por irregularidades nas divisões de redução. Novos estudos são necessários a fim de elucidar este problema.

EXPLICAÇÃO DAS ESTAMPAS

Est. I

Fig. 1 — *Narcissus bulbocodium* L. var. *genuinus* dos arredores de Coimbra. Forma diplóide. $\frac{1}{4}$ do tamanho natural.

Fig. 2 — *Narcissus bulbocodium* L. var. *genuinus* dos arredores de Coimbra. Placa equatorial, numa célula do periblema do vértice vegetativo da raiz, mostrando 14 cromosomas. Notar o tamanho das células e a existência, na parte média da placa, de um cromosoma Pp'. Nawaschin (Bruun). $\times 1.140$.

Fig. 3 — *Narcissus bulbocodium* L. de S. Martinho do Pôrto. Forma tetraplóide. Notar as particularidades morfológicas comparando com a fig. 1. $\frac{1}{4}$ do tamanho natural.

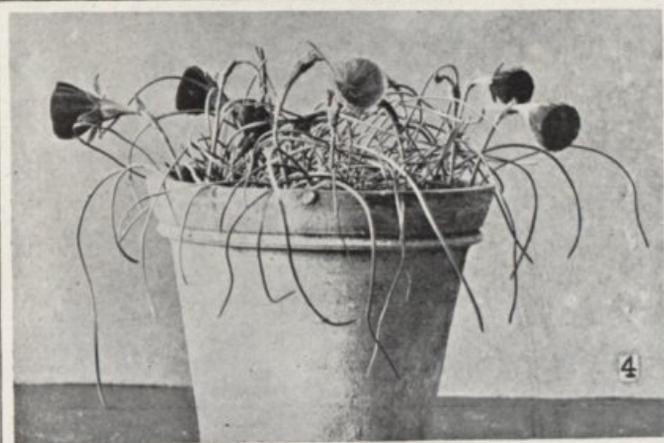
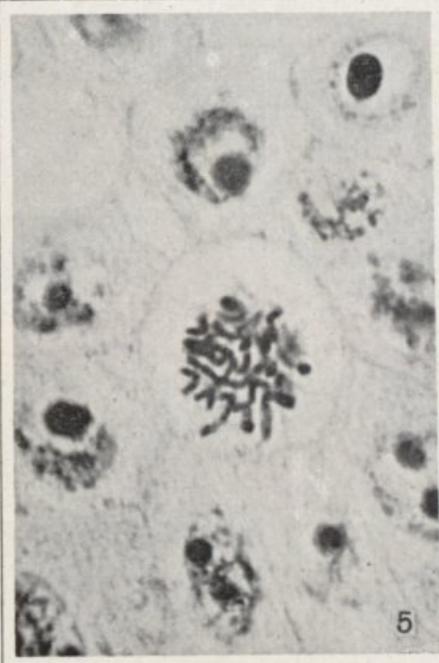
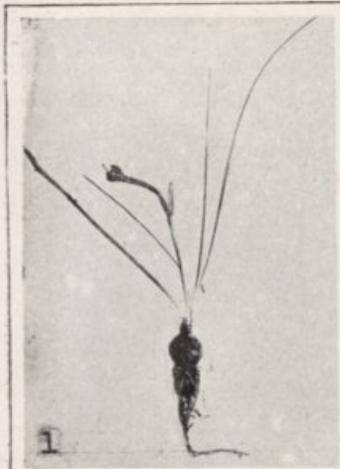
- Fig. 4 — *Narcissus bulbocodium* L. de S. Martinho do Pôrto. Plantas crescendo num vaso das nossas colecções.
- Fig. 5 — *Narcissus bulbocodium* L. de S. Martinho do Pôrto. Metafase, numa célula do periblema do vértice vegetativo da raiz, que mostra 26 cromosomas. Comparar com a fig. text. 6 e notar o tamanho celular. Nawaschin (Bruun). $\times 1.140$.

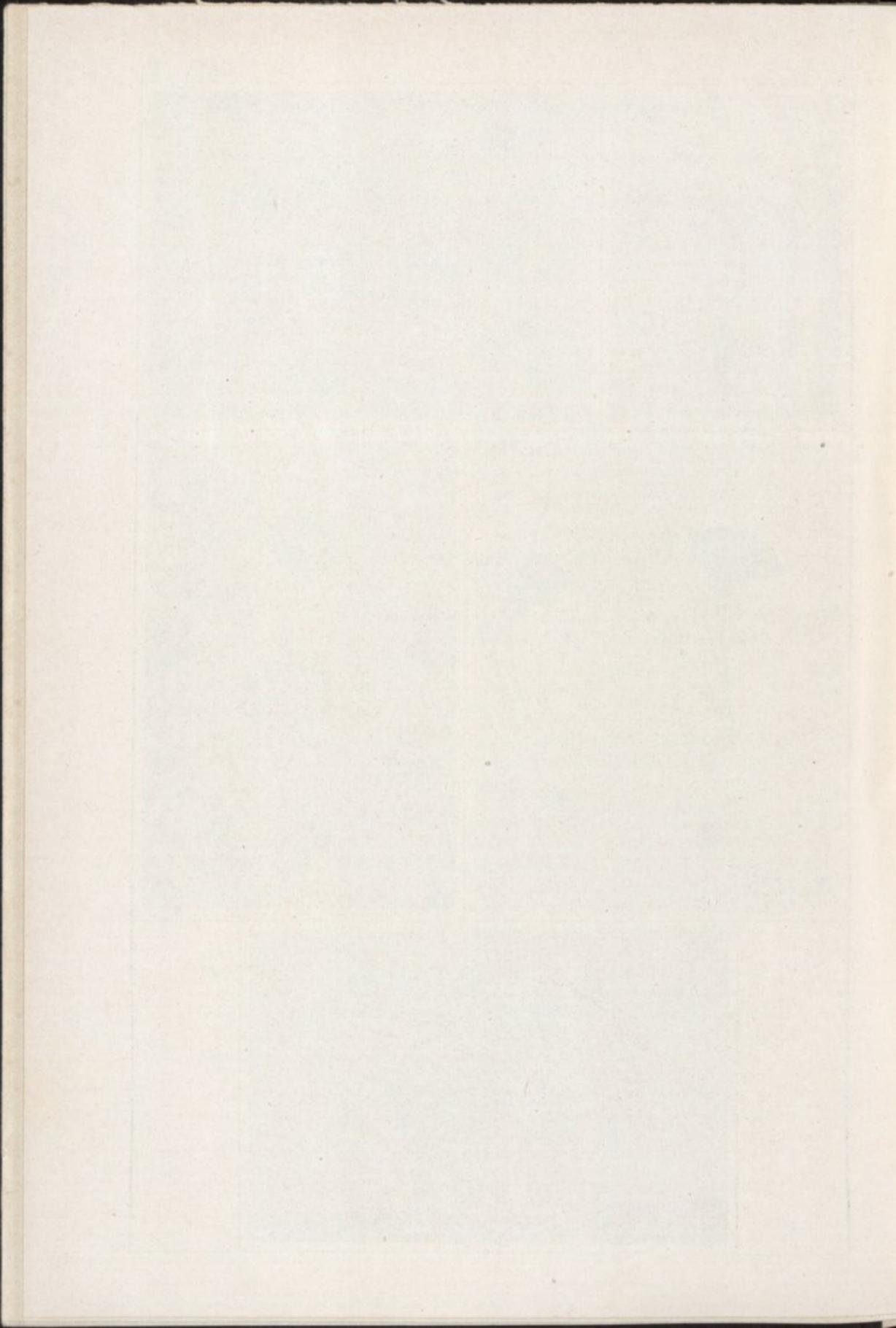
Est. II

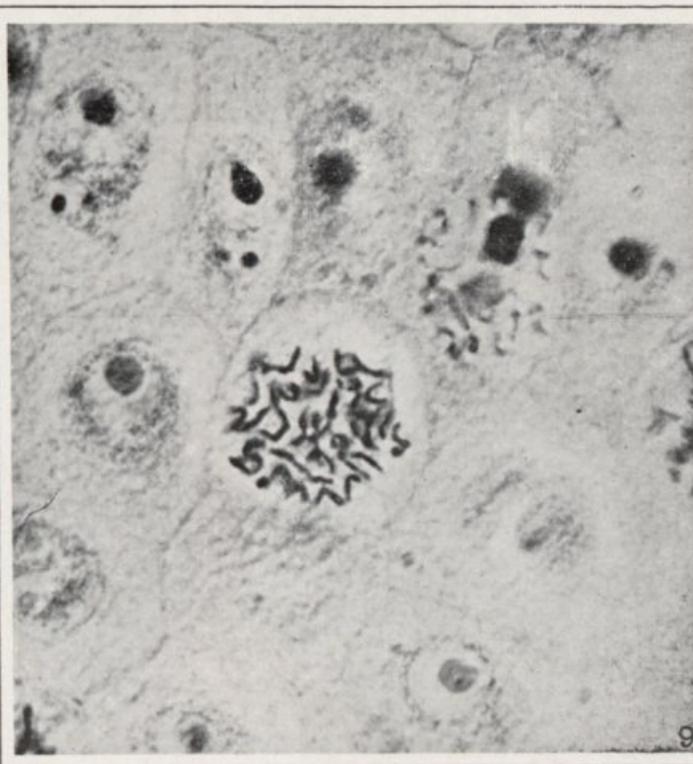
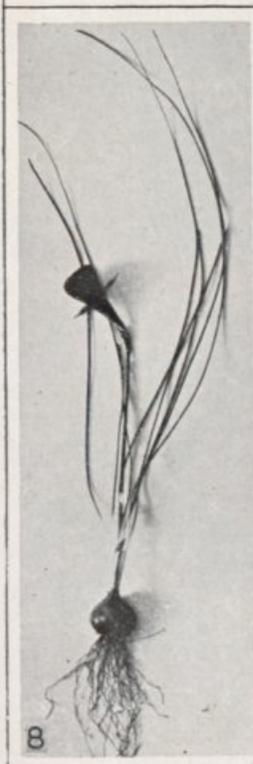
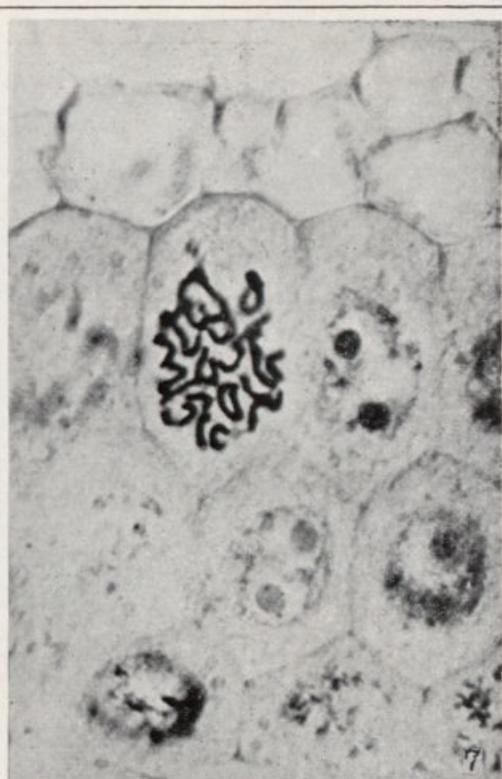
- Fig. 6 — *Narcissus bulbocodium* L. de Pôrto de Moz (à esquerda) e *N. bulbocodium* de Póvoa de Lanhoso, (à direita). Notar a diferença de tamanho entre os dois exemplares. $1/4$ do tamanho natural.
- Fig. 7 — *Narcissus bulbocodium* L. de Pôrto de Moz (Mira). Placa equatorial numa célula do periblema do vértice vegetativo da raiz; 26 cromosomas dois dos quais do tipo LL, provenientes da fusão de pares de cromosomas Lp. Um dos cromosomas LL nota-se, distintamente, em cima, à direita. Comparar com a fig. text. 10. Nawaschin (Bruun). $\times 1.140$.
- Fig. 8 — *Narcissus bulbocodium* var. *obesus* do Pinhal de Leiria, forma pentaplóide. Notar os seus caracteres morfológicos comparando com as figs. 1, 3, 4 e 6. $1/4$ do tamanho natural.
- Fig. 9 — *Narcissus bulbocodium* var. *obesus* do Pinhal de Leiria. Placa equatorial numa célula do periblema do vértice vegetativo da raiz mostrando 35 cromosomas. Notar o tamanho das células. Nawaschin (Bruun). $\times 1.140$.

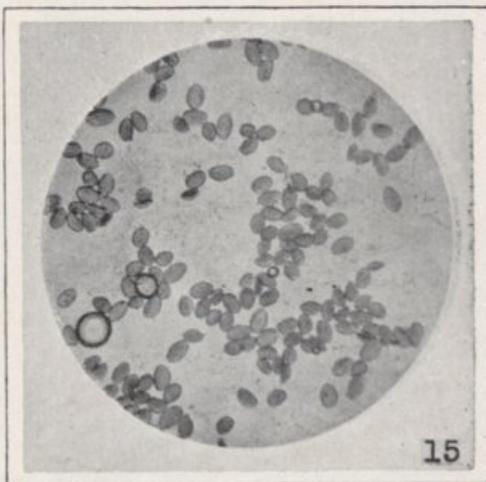
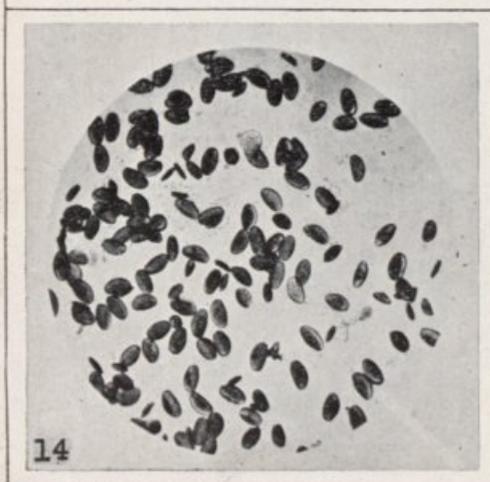
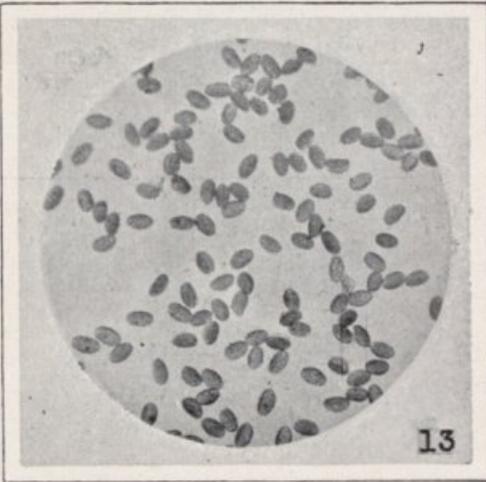
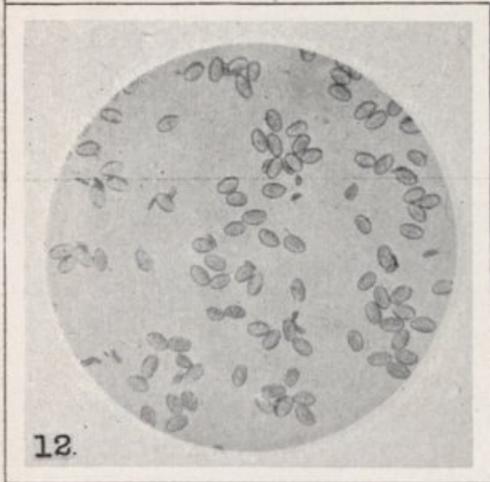
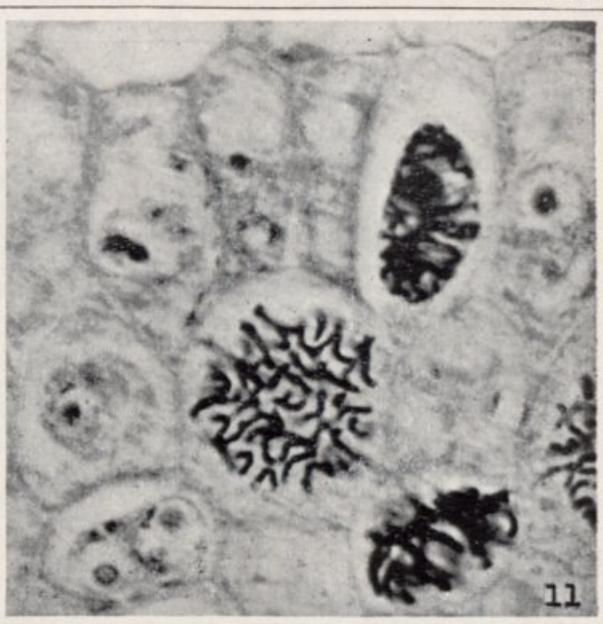
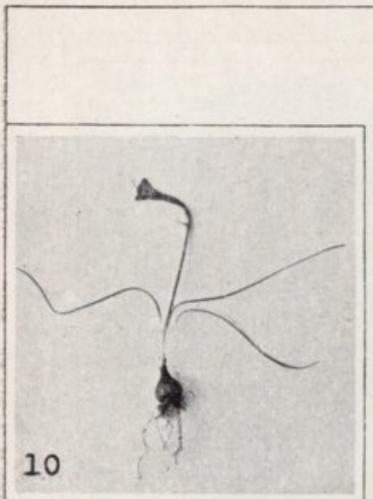
Est. III

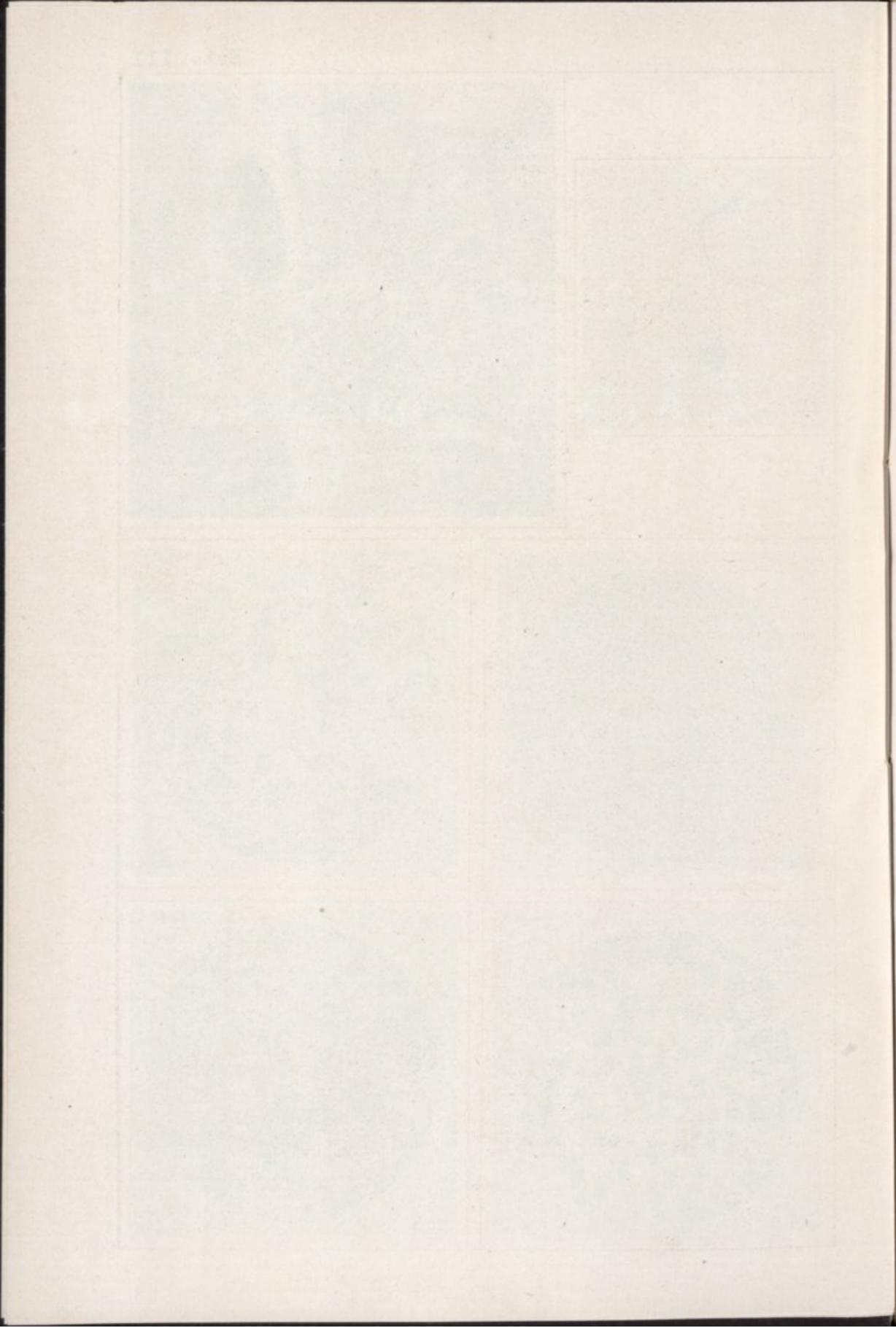
- Fig. 10 — *Narcissus bulbocodium* L. de Póvoa de Lanhoso, forma hexaplóide. Notar as suas exíguas dimensões comparando com as figs. 1, 3, 4, 6 e 8. $2/7$ do tamanho natural.
- Fig. 11 — *Narcissus bulbocodium* L. de Póvoa de Lanhoso. Metafase no periblema do vértice vegetativo da raiz; 42 cromosomas. Notar o tamanho celular. Nawaschin (Bruun). $\times 1.140$.
- Fig. 12 — *Narcissus bulbocodium* var. *genuinus* dos arredores de Coimbra, forma diplóide. Grãos de pólen montados numa gota da solução de sacarose a 7,5%. Notar que entre os grãos normais se encontram, em grande quantidade, grãos mal conformados incapazes, provavelmente, de germinar. $\times 47$.
- Fig. 13 — *Narcissus bulbocodium* L. de S. Martinho do Pôrto, forma tetraplóide. Grãos de pólen montados no meio mencionado na legenda da fig. 12. Verificar que não existem grãos mal conformados e que eles são mais volumosos do que os da fig. 12. $\times 47$.
- Fig. 14 — *Narcissus bulbocodium* L. de Pôrto de Moz (Mira), forma tetraplóide. Meio de montagem como os anteriores. Verificar que existe uma elevada percentagem de grãos mal conformados, e que os normais são mais compridos do que os do narciso de S. Martinho do Pôrto. $\times 47$.

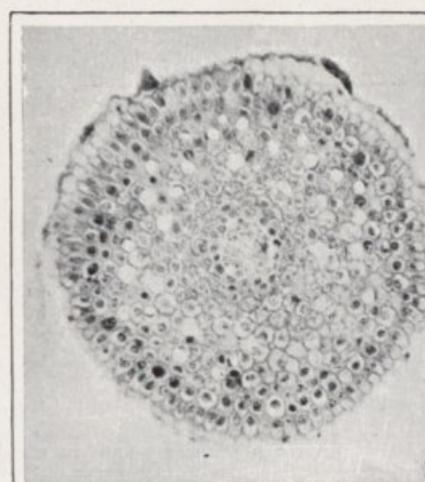
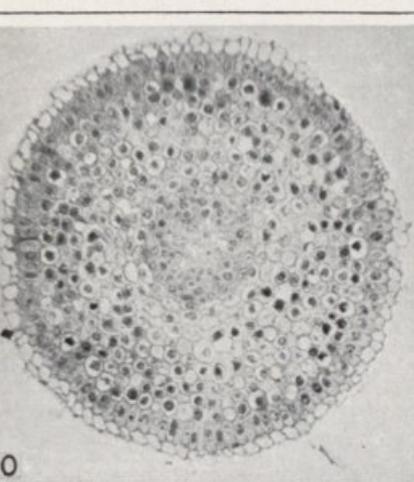
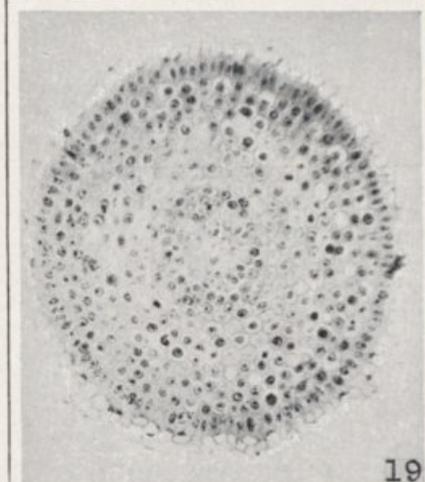
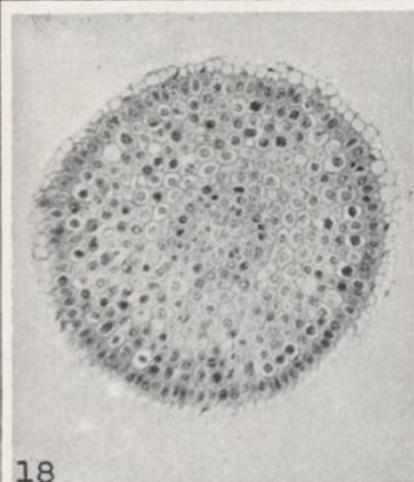
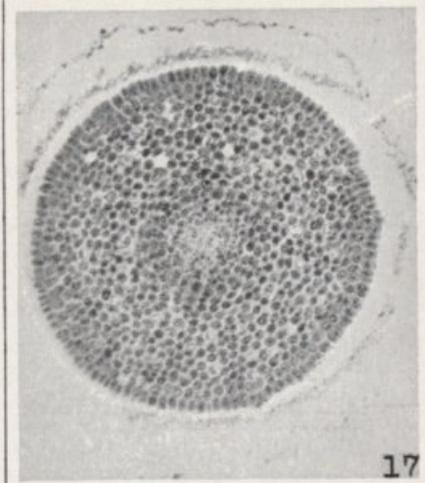
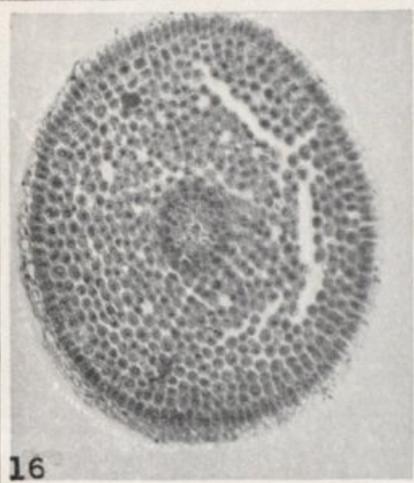












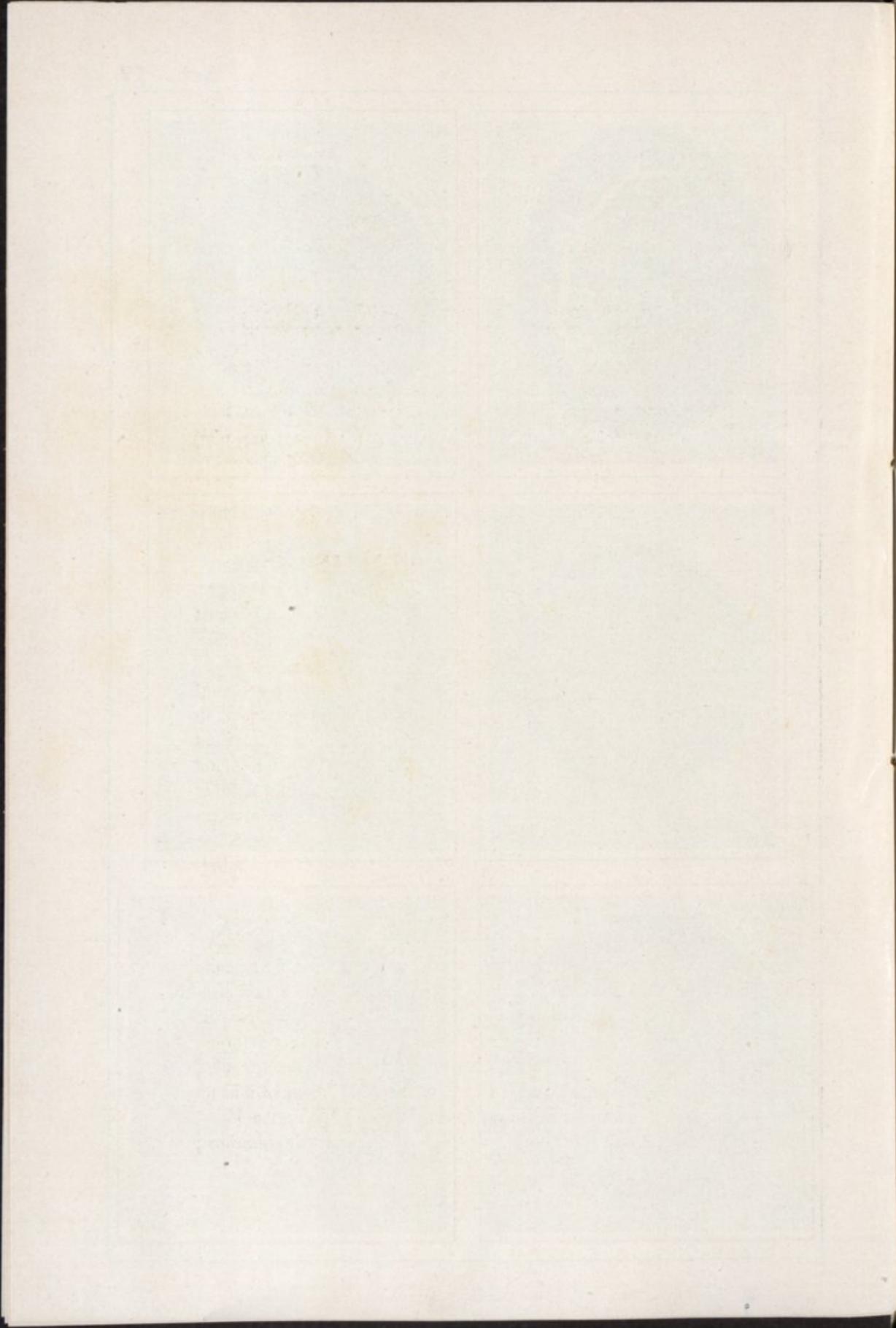


Fig. 15 — *Narcissus bulbocodium* var. *obesus* do Pinhal de Leiria, forma pentaplóide. Meio de montagem como os anteriores. Observar a diversidade de tamanhos dos grãos de pólen. $\times 47$.

Est. IV

Fig. 16-21 — Cortes transversais de vértices vegetativos de raízes das formas heteroplóides de *N. bulbocodium* (16, forma diplóide; 17, forma trisômica; 18 e 19, formas tetraplóides, respectivamente de, S. Martinho do Pôrto e Pôrto de Moz (Mira); 20, forma pentaplóide, e 21, forma hexaplóide) feitos aproximadamente ao mesmo nível. A sua comparação mostra que o diâmetro dos vértices vegetativos se mantém aproximadamente constante em tôdas as formas, aumentando, por isso, o volume celular nas formas de valência mais elevada e diminuindo, concomitantemente, o número de células que os constituem. Nawaschin (Bruun). $\times 100$.

(Continua).

ABÍLIO FERNANDES.

... e a orla de separação da meseta ibérica, desde o litoral, em Espinho, até às proximidades de Tomar.

VI. 2.3

... e a orla de separação da meseta ibérica, desde o litoral, em Espinho, até às proximidades de Tomar.

Granitos e formações precâmblicas portuguesas

... e a orla de separação da meseta ibérica, desde o litoral, em Espinho, até às proximidades de Tomar.

Cerca de três quartos do território português pertencem, pelo que respeita à sua constituição geológica, à meseta ibérica. O grande bloco de formações arcáicas, primárias e eruptivas divide-se naturalmente em duas secções — submeseta setentrional e submeseta meridional, com extensões proximamente iguais em Portugal.

O limite ocidental da secção norte é rectilíneo. É bem nítida na carta geológica a linha de separação entre a meseta e a orla mesozóica, desde o litoral, em Espinho, até às proximidades de Tomar.

O vale do Tejo separa as duas partes da meseta. Deve acentuar-se que um conjunto de factos conduz à hipótese da existência de fracturas, que se dispõem do oriente para occidente, relacionadas com movimentos relativos opostos, de *elevação* na parte norte, de *abatimento ou depressão*, na parte sul. Estes movimentos affectaram particularmente uma grande extensão da submeseta meridional portuguesa, originando a ampla bacia de sedimentações cenozóicas — a bacia terciária do Tejo e do Sado.

*

Na sub-meseta setentrional portuguesa são muito extensos os afloramentos graníticos. Rompem através das formações xisto-cristalinas arcáicas, ou das, tão variadas, do precâmbrico e do silúrico e elevam-se muitas vezes às maiores altitudes nas regiões de forte relevo do norte de Portugal, profundamente atacadas pela erosão. Culminam na Estrêla, na Gardunha, no Caramulo, no Montemuro, na Serra do Alvão, na Peneda e no Gerêz.

Mas também se encontram afloramentos graníticos em vales profundos das regiões em que as acções erosivas ainda não che-

garam a remover as formações espessas e resistentes que os magmas graníticos invadiram e dentro dos quais solidificaram. Muitas destas regiões são montanhosas, com altitudes elevadas, como as do Marão, das Serras de Bornes, da Nogueira e da Louzã. Nelas os mais profundos cortes de alguns vales atingem o recheio eruptivo, granítico, oculto nos seus enrugamentos.

Assim se originam pequenos afloramentos que apresentam o mais alto interesse para o estudo das relações entre as rochas eruptivas e as formações que invadiram. As acções metamórficas de contacto revelam-se aqui nas formas mais favoráveis para estudo.

Mas na orla das grandes áreas graníticas também, por vezes, se conjugaram condições de protecção das massas invadida e intrusiva, patenteando-se as mutuas transformações de tão complexo carácter químico e mineralógico.

*

Na vertente norte da Serra da Louzã, no fundo do vale de erosão que abre no Espinhal, encontra-se um pequeno afloramento de granito. O vale rasga-se nas formações precâmblicas de grauvaques, quartzitos e xistos argilosos; e abaixo da povoação das Relvas atinge a intrusão granítica, cortando as *pedras negras*, massa das corneanas (*hornfels*), em que a teitura xistosa da formação invadida se obliterou, e que constituem o envólucro imediato da rocha eruptiva. Para além desta zona de contacto, a textura xistosa mantém-se, mas as rochas são primeiro nitidamente cristalinas, desenvolvendo-se nódulos micáceos; depois a cristalinidade vai sendo menos aparente, até que a proximidade da rocha eruptiva é apenas indicada por pequenos nódulos, esbôço de formação da cordierite, da andalusite, da quiaistolite; ou por simples manchas, segregações de materias carbonosas dentro da rocha praticamente por alterar.

Estes xistos manchados ou nodulosos são freqüentes na Serra da Louzã. Assim, parece legítimo generalizar esta observação e considerar, no interior dos seus enrugamentos, núcleos graníticos, como os que a erosão pôs a descoberto nas montanhas mais orientais do Sistema Castelhana-lusitano, a que a Serra da Louzã pertence.

Os granitos serão portanto intrusivos dentro das formações precâmblicas e mais modernos do que elas.

*

Em geral o que se conhece dos grandes batolitos graníticos, mesmo dos que, em extensões enormes parecem formar a parte fundamental dos continentes, obriga a considerá-los, não como partes de um envólucro terrestre diferenciado numa das primeiras fases da história da terra, formações basilares, primitivas, mas como rochas verdadeiramente *eruptivas, intrusivas*, resultado da cristalização profunda de massas magmáticas.

Tratar-se-há de intrusões, por fusão local dêsse substracto continental granítico? Refusões, em períodos geológicos diversos, do envólucro granítico, seguidas por erupções tantas vezes na mais grandiosa escala?

Temos realmente em Portugal curiosos exemplos de invasão de formações geológicas de períodos diferentes por grandes massas magmáticas granitoides. Há intrusões destas no arcáico, no precâmbrico, no carbonífero inferior, e até no cretácico, como na Serra de Sintra.

Apontámos uma intrusão precâmbrica na Serra da Louzã, revelada por um pequeno afloramento granítico. Vamos apresentar outro exemplo e êsse em relação com um dos grandes batolitos da Beira Alta.

É uma ligeira contribuição para os estudos tão brilhantemente iniciados por Sousa Brandão, nas regiões de Espinho, Feira e Oliveira de Azemeis.

Na Beira Alta com freqüência aparecem as formações precâmblicas invadidas pelos granitos. O museu geológico de Coimbra tem em organização colecções de rochas da grande mancha granítica ocidental da Beira Alta e dos terrenos precâmbricos que a contornam. Pelo trabalho já executado, reconhece-se que, ao contacto dos granitos porfiróides, ricos por vezes em vestígios de acções pneumatolíticas, como as estudadas pelo illustre professor Amilcar de Jesus, se encontram espessas massas de *hornfels*, quartzitos pretos, endurecidos, de composição mineralógica muito simples, ou finos agregados granoblásticos de andalusite, biotite, muscovite e quartzo.

E, apenas em relação com um perfil geológico traçado ao

longo da linha da Beira Alta, desde a poente do Dão, por três ou quatro quilómetros na direcção de Mortágua, desenrola-se mais uma vez a sucessão das formas de metamorfismo de contacto entre rochas argilosas e graníticas, tão conhecidas pelo clássico trabalho de Rosenbusch sobre as regiões de Andlau-Hohwald (1).

À aureola dos *hornfels* compactos, adjacentes ao granito, aureola cuja espessura alcança uns sessenta ou oitenta metros, sucede uma zona intermédia de rochas menos duras, em que a xistosidade foi também completamente ou quasi completamente apagada, formadas por uma massa fundamental recrystalizada, onde dominam as micas e o quartzo, e nódulos constituídos por agregados de cristalização incipiente de andalusite.

Na zona exterior aparecem os xistos argilosos com a sua estrutura conservada e apenas manchados especialmente pelas segregações de materiais carbonosos.

As colecções que o Museu Geológico vai organizando permitirão o estudo das transformações desta ordem nas suas relações com a diferente composição das rochas precâmblicas invadidas.

*

Acumulam-se as provas sobre a natureza eruptiva dos granitos, passando assim, e pelo conhecimento da origem sedimentar de muitos xistos cristalinos, à categoria de mito o *terreno primitivo*, cuja concepção foi tão dominante nos estudos da geologia estratigráfica. Esse *terreno primitivo* foge às observações dos geólogos.

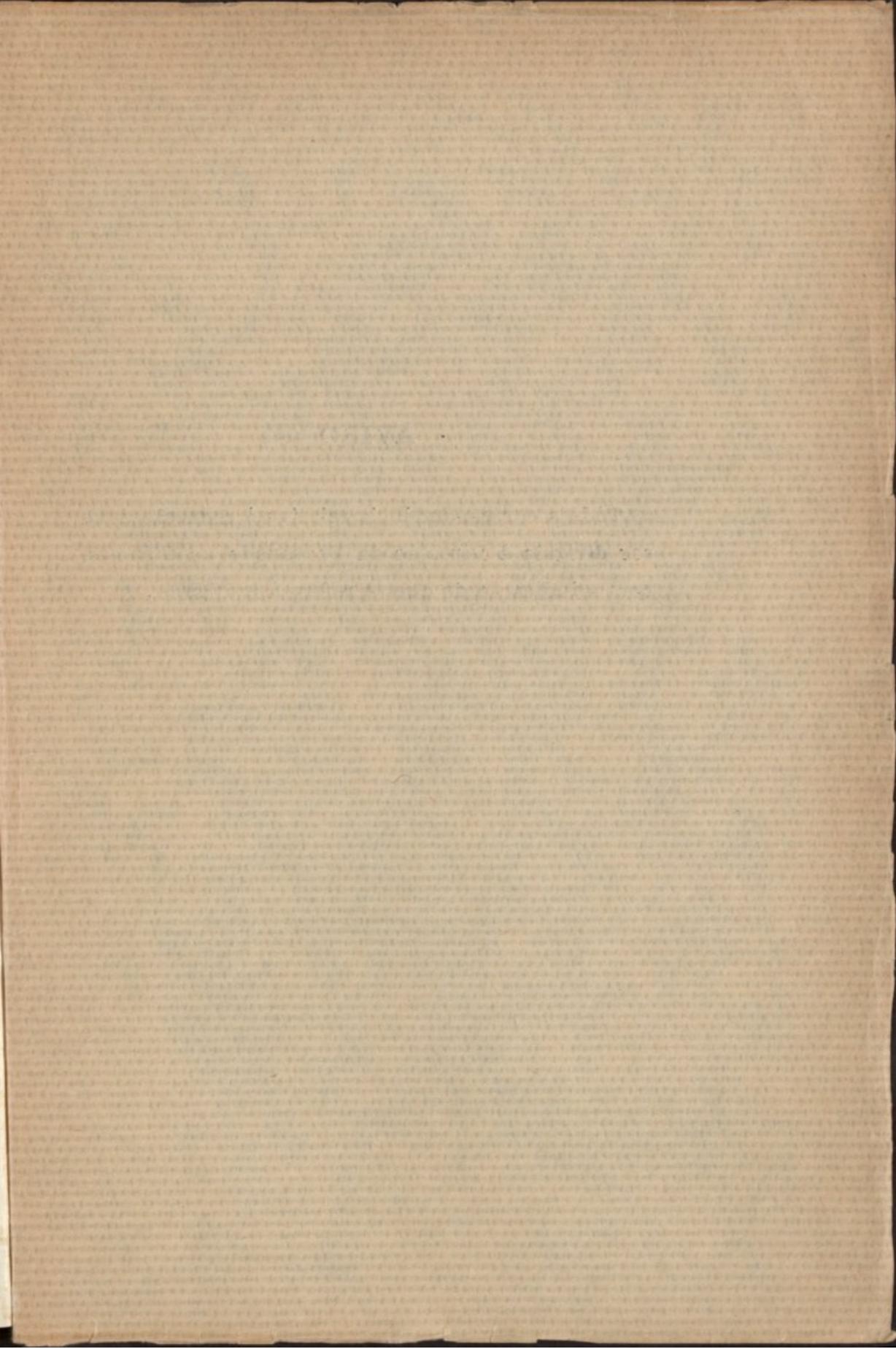
Pelo que respeita aos granitos, teremos de admitir que massas magmáticas profundas, constituídas quimicamente pelos seus componentes, mas contendo a mais componentes volateis, fugazes, se moveram em diversos períodos geológicos, passando a níveis mais elevados da crusta. Os seus movimentos seriam facilitados pela fluidez adquirida, mercê de agentes que ainda só confusamente entrevemos: acções mecânicas, no sentido imaginado por Mallet; complexas acções químicas, na dependência de compo-

(1) H. Rosenbusch, *Special karte von Elsass-Lothringen*, Strasbourg, 1877.

nentes fugazes dos magmas, como agora de novo se consideram ;
acções térmicas relacionadas com evolução de elementos radioac-
tivos?

Sempre os problemas do vulcanismo a dominar na antiga e
moderna geologia.

A. FERRAZ DE CARVALHO.



AVISO

Tôda a correspondência relativa à redacção deve ser dirigida à Direcção da Faculdade de Ciências, com a indicação de que se refere à REVISTA.