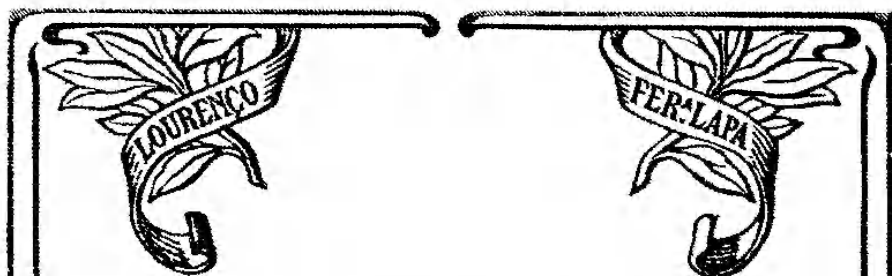




REVISTA DE CHIMICA PURA E APPLICADA



V Anno - n.ºs 1 a 4

1954



Orgão da **SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA E FÍSICA**
Fundada em 1905 pelos Professores: A. J. Ferreira da Silva, Alberto de Aguiar
e José Pereira Salgado

SÉRIE IV — ANO V — JANEIRO A DEZEMBRO — 1954 — N.ºS 1 A 4

Editor: PROF. ABÍLIO BARREIRO — *Administrador*: DR. C. CASTRO FERNANDES

SUMÁRIO

NOTAS DE LABORATÓRIO — ENG.º AGR.º CÉSAR AUGUSTO VIEIRA.

AS PARTÍCULAS ELEMENTARES DA FÍSICA (1949) — CARL D. ANDERSON.

O QUE É UMA PARTÍCULA ELEMENTAR (1950) — E. SCHRÖDINGER.

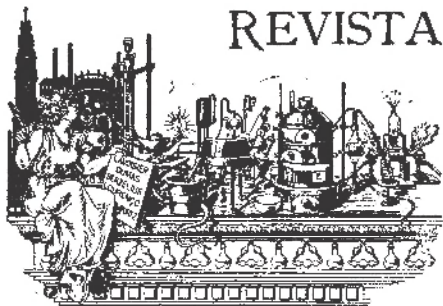
À MEMÓRIA DE ENRICO FERMI (1901-1954) — PROF. DR. CARLOS BRAGA.

INFORMAÇÕES:

Biblioteca.

Dirigir toda a **correspondência** destinada: à **Redacção** ao Prof. Abílio Barreiro,
à **Administração**, incluindo as importâncias das assinaturas, ao Dr. Castro Fernandes.

LABORATÓRIO FERREIRA DA SILVA — FACULDADE DE CIÊNCIAS
P O R T O



REVISTA DE QUÍMICA PURA E APLICADA

IV SÉRIE — V ANO — 1954

(VOL. XXXVII DA COLEÇÃO)

NOTAS DE LABORATÓRIO

PELO

Eng.º Agr.º César Augusto Vieira

Chefe do Laboratório Químico-Fiscal do Porto

I — Resina de sandaraca

Houve em tempo necessidade de apreciar no Laboratório Químico-Fiscal do Porto uma resina conhecida pela designação de «sandaraca», que tem grande aplicação no fabrico de vernizes e nos apareceu com a indicação de servir para aplicar nos confeitados, com o fim de lhes dar brilho, melhorar a qualidade e a apresentação.

A sandaraca é um produto de secreção exsudado pelas fendas naturais ou espontâneas do caule da planta, ou pelas incisões provocadas na mesma resinosa com *habitat* no Norte de África (Marrocos) denominada *Collitris quadrivalvus*, Vent., ou *Thuya articulata* Lin., assim como na de outras coníferas a saber:

Sandaraca do Mogador

- » de Alexandria
- » da Austrália, *Collitris calcarata*
- » » Alemanha, *Junperus cummunis* Lin
- » » Suíça, » » »

A última destas plantas mencionada tem o nome vulgar de Zimbro. Com a sua baga fabrica-se a «genebra» bebida alcoólica muito conhecida e apreciada entre nós.

A resina de sandaraca comercial é constituída por grãos gotas ou lágrimas solidificadas, às vezes em forma de estalactites de 0,3 a 0,5 cm de comprimento com invólucro poeirento, friáveis, transparentes, de fractura conchóide e lustrosa. De uma composição química bastante complexa a resina de sandacara contém ácidos orgânicos diversos, com predominância do ácido sandaracólico ($C_{24}H_{36}O_6$). Contém também uma essência e uma substância amarga, de que não se conhece bem a composição.

As propriedades físicas e químicas desta resina têm sido estudadas por Acury, Schmildt e Erbeau, Thirch e Wolf, Dietrich e Coffignier, segundo a literatura científica de E. Thorpe (1), D. Hold (4), A. Soler et Battle (7), Marcel Boll et Paul Band (2), Ulmann (5) e outros, pela qual se orientou o trabalho analítico do Laboratório. Segundo uns o produto deve investigar-se analisando-o depois de solubilizado no álcool e de filtrado para o separar de qualquer impureza que possa conter; segundo outros deve ser analisado directamente, tal qual como se encontra. Deu-se preferência a esta última técnica, indicada por D. Hold (4), por se reconhecer de resultados mais práticos e fáceis de obter, dar menos perdas de substância, mas, conseqüentemente, com índices de apreciação discordantes dos obtidos, como é natural, usando a primeira das técnicas referidas.

Como o produto se apresentasse em solução alcoólica, evaporou-se o álcool, e, no resíduo, procedeu-se directamente à análise (1).

Resultados

a) Na amostra inicial para verificar o soluto alcoólico

Volume da amostra 200 c.c.

(1) Esta análise foi executada pelo químico-analista Ruy Luiz da Silva Lic. em Físico-químicas que a este trabalho consagrou a sua costumada dedicação.

Aspecto: líquido limpo; cor amarela-citrina; aroma e sabor a álcool e resina

Densidade a 20° C	0,862
Álcool 0/0 em volume	68,50 c.c.
» » » peso	54,30 gr
Resíduo seco a 100°-105° C.	23,42 »

b) Na amostra residual (depois de eliminado o álcool):

Este resíduo apresentou as características de uma resina de cor amarela-citrina, tanto no aspecto como no aroma e sabor, ardendo com chama fuliginosa, despreendendo aromas desagradáveis e não deixa cinza.

Solubilidades:

No álcool	completamente solúvel	
Na acetona	»	»
Em (OH) K a 0,1 0/0	»	»
No éter na proporção de 1/3	»	» mas turvando com nova [adição de éter:

Ponto de gota	140° C
Índice de acidez	114
» » saponificação (Koettstorfer)	144
» » éster	30
» » iodo (Hanus)	52
Cinza	nula.

Entre as propriedades físicas mais características da resina sobressaiu a sua combustão sem deixar resíduo mineral e a solubilidade nos reagentes acima indicados, especialmente no éter, com os pormenores que lhe são peculiares.

Quanto aos índices de acidez, éster, de saponificação e de iodo, o primeiro e o segundo estão dentro dos limites de apreciação indicados por Hold para a sua resina; o índice de Koettstorfer e o de iodo (Hanus) apresentam-se um pouco inferiores aos limites mínimos de apreciação encontrados pelo mesmo autor, respectivamente 145 e 55, mas como se vê bastante próximos dos nossos números. O índice de iodo afastou-se um pouco mais, talvez devido à diferença do método seguido, o qual, pela solubilidade do produto no álcool, deveria deter-

minar-se pelo método de Hübl, mas como também é solúvel no ácido acético cristalizável, e por maior dificuldade em seguir aquele processo, resolveu-se determiná-lo pelo método oficial de Hanus. Analisando paralelamente uma amostra de sandaraca comercial, obtiveram-se resultados concordantes e, portanto, os números analíticos encontrados foram considerados normais.

A lei portuguesa sobre géneros alimentícios não diz que a sandaraca possa ser utilizada na confecção de produtos alimentares mas também o não proíbe. Sabe-se no entanto, que, esta resina serve para a preparação de vernizes e lacas, para betumes de vidros e porcelanas; e, que, em Farmácia tem várias aplicações, as quais estão caindo em desuso, (H. Soler y Battle (7)), utilizando-se também no fabrico de cimentos dentários.

Segundo a autorizada opinião de Saul Blumenthal (8) os americanos empregam a sandaraca na preparação dos seus alimentos. Pela nossa parte e conforme os conhecimentos expostos não houve relutância em classificar esta resina como inócua. Pelo que respeita à sua aplicação com fins alimentares somente poderá servir para embelezar o aspecto e a apresentação dos confeitos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) E. THORPE — *Enciclopedia de Química Industrial* — Tomo vi — Pág. 105 — Editorial Labor — Barcelona, 1926.
- (2) MARCEL BOLL PAUL BAND — *Mémento du Chimiste, II^e Parte Industrielle* — Pág. 245-255 — Dunod — Paris, 1928.
- (3) DR. P. E. ALESSANDRI — *Los Productos Comerciales — I — Primeras Matérias* — Pág. 337-338 — G. Gili — Barcelona, 1928.
- (4) DR. D. HOLD HUILES — *Graisses Minerales, Vegetales, Leurs Dérivés, Leurs Succédanés*, Pág. 843-844 — Librairie Polytechnique C. Beranjer — Belgique, 1929.
- (5) ULMANN — *Enciclopedia de Química Industrial* — Tomo iv, pag. 737. Gustavo Gili — Barcelona, 1931.
- (6) DR. F. FIENRE — *And Saul Blumenthal* — Handbook of Food. Pág. 82. Mineral Publishing. C. O. New York, 1938.
- (7) H. SOLER Y BATTLE — *Medicamenta* — Tomo 1, Pág. 933 — Editorial Labor — Barcelona, 1940.
- (8) SAUL BLUMONTAL — *Food Products*, Pág. 24, Chemical Publishing. C. O. New York — 1947.

II — Ovos em pó

Utilizam-se em substituição dos ovos frescos nas regiões de grande produção em que haja dificuldade em conservá-los neste estado, oferecendo grande comodidade quando tenham de colocar-se e transportar-se a distância, ou, mesmo, para efeito de abastecimento, em caso de emergência pois que um quilograma do pó equivale a 100 ovos.

Os ovos em pó, de Chambort, obtêm-se submetendo as claras e as gemas, dispostas em camadas delgadas, a correntes de ar durante algumas horas, pulverizando depois o produto e expondo-o de novo ao ar, a correntes aquecidas com calor brando, de modo que a temperatura não exceda 38° a 40°, para evitar a coagulação dos albuminóides.

Nos Estados Unidos da América faz-se a extracção da humidade em aparelhagem apropriada, e, modernamente, na Rússia, já se fabricam ovos em pó a partir dos ovos congelados (Industries Alimentaires et Agricoles — n.º 5, Maio 1956).

O consumo dos ovos em pó limita-se, no nosso país, a algumas confeitarias e pastelarias, mas pode ter grande interesse como indústria a criar nas nossas Províncias Ultramarinas, aonde a matéria-prima abunda.

Como se sabe o ovo fresco consta de:

Casca com o peso médio de	6,72	gramas
Clara » » » » »	32,48	»
Gema » » » » »	16,80	»
	56,00	
Sendo o peso médio do ovo, portanto	56,00	»

A parte comestível dos ovos tem a composição química média (W. C. Winton) seguinte:

Constituintes	Humidade	Prótidos	Glicéridos	Colesterol	Lectina	Glucose	Cinza
Clara	87,0	12,0	—	—	—	0,4	0,6
Gema	48,8	16,0	18,0	6,0	10,0	0,2	0,1

e a composição química dos ovos secos segundo alguns autores estrangeiros é resumidamente:

Autores	Humidade	Proteína	Gordura	Cinza
Beythien	—	47,80	45,70	4,06
Lindet	7,2	46,0	42,40	3,50
Lhamon	9,08	51,68	36,55	3,18
Garnier.	8,90	41,55	45,88	3,58
Leprince et Lecoq.	8,96	44,35	43,28	3,41
W. L. Winton	7,42	46,38	35,60	3,56
Kate. B. Winton	—	47,81	45,99	4,25

Entre estes componentes e segundo os mesmos autores figuram os gliceridos 18,0%, a lecitina (10%); o P_2O_5 lecitínico (1,60%); o colesterol (6,0%); a glucose (0,2%); o ferro (4 mmg); o arsénico (0,3 mmg).

Como se vê muitos investigadores têm procurado desvendar a composição química dos ovos da galinha sem que até aos nossos dias tenham conseguido determiná-la com exactidão pela complexidade dos componentes que a formam.

Em uma análise de ovos em pó de origem desconhecida realizada no Laboratório Químico-Fiscal do Porto, de bom aspecto, cor amarelada, aroma e sabor próprios obteve-se o resultado seguinte:

Humidade.	10,67 %
Acidez expressa em SO_4H_2	2,82 "
Cinzas insolúveis na água.	1,20 "
» » no Cl H a 10 %	0,0 "
» totais	3,39 "
Azoto	7,98 "
Substâncias azotadas ($N \times 6,25$).	49,87 "
Gordura	34,96 "
Índice de refração de gordura a 40.º C	1,4659
» » Iodo	78,37
Açúcares redutores	0,2 "
Colecterina	2,40 "
Ácido fosfórico lecitínico	1,38 "

A análise físico-química dos ovos em pó tem considerável merecimento para os diferenciar de muitos produtos de substituição e de imitação destinados às confeitarias, os quais, na generalidade, contêm féculas e amidos de milho em mistura com sal, albumina e caseína do leite, bicarbonato de sódio, leite desnatado em pó, adicionados de corantes orgânicos sintéticos amarelos com o fim de imitar a cor natural do ovo e de anti-sépticos ou conservadores não permitidos pelas autoridades sanitárias, sendo as mais usuais os ácidos bórico e fluorídrico e os seus sais; o ácido salicílico; o anidrido sulfuroso e os sulfitos, o sulfato de sódio, o nitrato de potássio e o formol que, a não ser os antioxidantes e os sinérgicos, para evitar a rancificação da gordura, também não se devem empregar. Para não alongar o assunto com considerações de ordem analítica reportamo-nos à literatura científica pela qual se orientou o respectivo trabalho de laboratório e caracterização do produto cuja fraude os Laboratórios Portugueses sabem distinguir.

BIBLIOGRAFIA

E. THORPE — *Enciclopédia de Química Industrial* — Tomo IV — Editorial Labor — Barcelona, 1932.

M. LEPRINCE ET LECOQ — *Guide Pratique de Analyses Alimentaires* — Editeurs Vigot Frères — Paris, 1930.

J. F. LIVERSEGE — *Adulterations and Analysis of Drugs* — J. A. Churchill — London, 1932.

V. VILLAVECCHIA — *Dizionario de Merceologia et di Chimica Applicata Edizione* — U. Hoepli Milano, 1930.

ULMANN — *Enciclopédia de Química Industrial* — Tomo X — Editor Gustavo Gili — Barcelona, 1933.

ANDREW L. WINTON — *The Structure And Composition of Foods* — Vol. III — John Wiley & Son — New York, 1937.

AUGUSTO MATON — *Diccionario de Agricultura Zootécnica e Veterinária* — Tomo II — Primera Edición. Editores Salvat S. A. Barcelona, 1939. *Manuel Suisse des Denrées Alimentaires* — Quatrième Edition. Editeurs Zirmerment & Cie — Berne, 1935.

Official and Tentative Methods of Analysis of The Association of Official Agricultural Chemists — Sixth Edition, 1945.

XX

AS PARTÍCULAS ELEMENTARES DA FÍSICA (1949)

POR

Carl D. Anderson

Instituto de Tecnologia da Califórnia, Pasadena

A ideia de partículas elementares de matéria, de partículas indivisíveis, discretas, pequenas, de que é constituída toda a matéria do Universo, é tão antiga como a história. Os gregos nas suas especulações filosóficas discutiam há muito a questão da natureza última da matéria. Consideravam só duas alternativas possíveis; ou a matéria devia ser julgada indefinidamente divisível em unidades cada vez mais pequenas, ou formada de pequenas unidades totalmente indivisíveis. Muitos dos filósofos gregos experimentavam dificuldades filosóficas em conceber a divisibilidade infinita, enquanto outros achavam igualmente difícil conceber uma partícula verdadeiramente indivisível. A dificuldade é muito semelhante à que se experimenta, contemplando os limites do Universo, e tentando decidir no nosso próprio espírito se lhe agrada mais julgá-lo sem limites estendendo-se ao infinito, ou imaginar um Universo finito com limites definidos, atrás dos quais não há nada, nem mesmo espaço. A ideia da existência de partículas materiais indivisíveis parece todavia ser mais grata aos gregos, e a hipótese atômica foi exposta e desenvolvida no quinto século a. C., principalmente por Thales, Leucippo, e seu notável discípulo Demócrito, dum modo que a muitos respeitos se parecia com a teoria actual.

As ideias de Demócrito eram em voga pelo ano 500, mas começaram a declinar depois do princípio da era cristã e, cerca

de 200 anos d. C., tinham desaparecido quase totalmente do pensamento filosófico da Europa. A ideia de átomos materiais não apareceu realmente de novo na Europa até cerca dos meados do século xvii, que marca o começo da grande era da experimentação científica em progresso sempre até hoje.

Durante este período, através da pesquisa científica baseada na experiência, a teoria atômica da matéria desenvolveu-se ligeiramente. Os pontos culminantes neste desenvolvimento foram a lei das proporções químicas, descoberta e enunciada por Dalton no começo do século xix, e por último os sucessos da teoria cinética dos gases. No começo do século xx o conceito do átomo químico tinha encontrado a aceitação geral como uma teoria baseada em experiência científica. A ideia dos átomos tinha assim sido transportada do domínio da especulação filosófica e tinha-se tornado um facto cientificamente provado. Segundo esta representação toda a matéria, conforme a sua natureza, consiste numa mistura de números variáveis de noventa e tantos átomos químicos diferentes. O tamanho, a massa e outras propriedades da maior parte dos átomos químicos tinham sido determinados, embora sem grande precisão.

Descoberta das primeiras partículas elementares

Durante o tempo em que o átomo químico foi firmemente estabelecido como um facto científico, outras investigações científicas se foram sucedendo a mostrar a existência duma partícula, pelo menos, de matéria de carácter mais elementar que os átomos químicos. Na década de 1890 a 1900, a descoberta de raios-X e da radioactividade, e estudos dos fenómenos associados com a descarga eléctrica através de gases, cedo mostraram a existência do *electrão* e que os átomos da química devem ser todos considerados como estruturas complexas, construídas de partículas de carácter mais elementar.

O electrão distinguia-se das outras partículas estudadas antes pelos físicos e químicos a um respeito muito importante. Foi estabelecido como partícula única, no sentido de que todos os electrões são idênticos, qualquer que seja a matéria de que derivam. Pela primeira vez então, a presença duma partícula de carácter verdadeira-

mente elementar foi revelada à ciência. Achou-se com uma carga eléctrica negativa e massa cerca 2.000 vezes menor que a do átomo de hidrogénio, o mais simples e de menor massa de todos os átomos químicos. O electrão tomou imediatamente o seu lugar como uma das partículas elementares comuns a todas as formas de matéria.

Os 30 anos seguintes, de 1900 a 1930, foram extremamente frutíferos no avanço do nosso conhecimento sobre as propriedades dos átomos químicos. O trabalho de Moseley mostrou que os átomos químicos eram membros duma família, sendo todos relacionados uns com os outros dum modo simples e perfeitamente definido. Em 1911 o génio experimental de Rutherford em Cambridge, Inglaterra, mostrou a existência do núcleo atómico, e em 1919 conseguiu pela primeira vez produzir um átomo de oxigénio pela ruptura do núcleo dum átomo de azoto. Assim em 1919 pela primeira vez a vontade do homem conseguiu fazer a desintegração dum elemento estável ordinário, com a libertação concomitante de energia nuclear. Esta e outras investigações concorrem a provar que o *protão*, núcleo do hidrogénio, o mais simples de todos os átomos químicos, é um constituinte de todos os outros, e de facto uma das partículas elementares da matéria.

Em 1930 o fisico tinha à sua disposição duas partículas materiais elementares, o electrão e o *protão*, em termos de experimentar compreender a estrutura de toda a matéria. Nesta tentativa o fisico realizou sucessos muito grandes, mas em muitos exemplos os seus esforços resultaram em faltas graves. Aparentemente, o mundo não podia compreender-se em termos tão simples.

Em geral o fisico era bem sucedido compreendendo os fenómenos que podemos classificar, à falta do melhor termo, como extranucleares, e era mal sucedido na compreensão dos fenómenos que podemos classificar como nucleares. Por fenómenos extranucleares entendemos os processos em que os electrões, que formam as camadas exteriores do átomo, são os agentes activos; neste tipo de fenómenos a massa central do átomo, ou núcleo, é presente mas fica sem modificação e não participa activamente. Fenómenos nucleares, por outro lado, são aqueles em que o núcleo é o participante activo.

Fenómenos extranucleares e nucleares tem características muito distintas. Uma das características distintivas mais interessante e

importante refere-se ao nível das energias participantes. Os fenómenos extranucleares envolvem energias muito menores que os fenómenos nucleares. O físico usa o *electrão-volt* como medida de energia. As energias dos fenómenos extranucleares são geralmente duma fracção dum electrão-volt a vários electrões-volts, enquanto que os fenómenos nucleares correspondem geralmente a vários milhões de electrões-volts.

No nosso meio quase todos os fenómenos naturais são extranucleares: por exemplo a combustão do carvão, o crescimento das plantas, a geração da energia eléctrica por meios convencionais, a fermentação do vinho, a explosão do dinamite, e outros inúmeros fenómenos. Os fenómenos nucleares não são tão comuns, mas podem mencionar-se alguns exemplos: a geração do calor solar, a queda do radium, a manufactura do plutonium, a absorção dos raios cósmicos na atmosfera terrestre, a explosão duma bomba atómica.

O conceito de energia foi aqui introduzido por causa da grande importância que tem na discussão de alguns fenómenos físicos. Tenho verificado que os fenómenos extranucleares são de baixa energia e os nucleares de alta energia. Para ser mais rigoroso direi que nos fenómenos extranucleares encontramos baixas *concentrações* de energia; isto é, as mudanças de energia que associamos a uma partícula elementar são baixas nos fenómenos extranucleares e altas nos fenómenos nucleares. Além disso, nos últimos anos, os físicos, tem estudado certos fenómenos que representam concentrações de energia muitos milhares de vezes maiores que as representadas pelos próprios fenómenos nucleares. Esta ordem de energias tem sido chamada a ordem das energias *inverosimilmente* altas. Na verdade a única oportunidade dos físicos estudarem fenómenos da ordem de energias inverosimilmente altas é nas observações dos raios cósmicos, e veremos em breve o conhecimento importante das partículas elementares da matéria provenientes do estudo de fenómenos na ordem de energias extremamente altas.

Como se verificou, em 1930 eram conhecidas do físico duas partículas elementares de matéria, o electrão que aparecia sempre com uma carga eléctrica negativa e o protão com uma carga positiva. Considerados duma maneira compatível com os conceitos teóricos adoptados neste tempo em termos da mecânica quântica, o elec-

trão negativo e o prótão positivo serviam eficazmente como peças para compreender a estrutura dos átomos em relação com os fenómenos extranucleares. Mas quando se fizeram tentativas para representar os fenómenos nucleares, essas tentativas falhavam geralmente.

Então, de repente, em 1932 foram descobertas duas novas partículas elementares: o *neutrão* e o electrão positivo, ou *positrão*. Os números de partículas elementares conhecidas dobrou de duas a quatro, provendo o fisico de mais material para trabalhar.

A descoberta do neutrão, que apareceu como resultado de experiências realizadas na Alemanha, na França e na Inglaterra, foi logo bem recebida porque agora os neutrões com prótões podiam servir como pedras construtoras dos vários tipos de núcleos atômicos. Um problema fundamental muito grave que tinha aparecido primeiro foi imediatamente afastado, porque não é mais necessário supor *dentro* do núcleo a existência de electrões, o que sempre tinha sido acompanhado de sérias dificuldades teóricas.

A descoberta do electrão positivo, o positrão, sobreveio durante uma série de experiências realizadas com o fim de medir as energias das partículas produzidas pelos raios cósmicos. A descoberta do positrão foi inesperada, apesar dum fisico inglês, Dirac, ter anunciado dois anos antes uma nova teoria que predizia realmente a existência de positrões. Todavia esta nova característica da teoria física não foi bem recebida pelos fisicos; mas pelo contrário considerada como um defeito infeliz na teoria, e, para a afastar, foram feitas muitas tentativas, todas sem sucesso, pelo próprio Dirac e outros. Se algum fisico no mundo tivesse tomado a sério a teoria de Dirac teria tido um guia admirável levando-o directamente à descoberta do positrão. Se isto tivesse sucedido, o positrão teria sido descoberto quase certamente por 1930, em vez de 1932. Todavia, depois que se mostrou existir realmente o positrão, pouco tempo decorreu antes que muitas das suas propriedades fossem compreendidas em termos da teoria de Dirac.

Partículas elementares e radiação

A descoberta do positrão representou o primeiro exemplo conhecido duma partícula elementar de matéria com uma existência transitória. De ordinário, por exemplo, a duração média dum positrão é apenas de algumas bilionésimas de segundo, porque quando um positrão e um electrão negativo se encontram aniquilam-se um ao outro — as duas partículas desaparecem e em seu lugar acha-se sòmente radiação. Toda a substância material constituindo as partículas é transformada espontâneamente em energia radiante. As medidas mostram que este processo é quantitativamente de acordo com a famosa equação de Einestein, $E = mc^2$, que relaciona a massa com a energia. O processo inverso da aniquilação de partículas materiais, isto é, a produção de partículas a partir duma radiação, ocorre também. Se a radiação de energia suficientemente alta passa através da matéria, são gerados electrões e positrões. Neste processo a substância material das duas partículas é realmente criada à custa da energia representada pela radiação e igualmente conforme à equação de Einestein $E = mc^2$.

À luz destes factos deve-se mudar fundamentalmente o conceito de partículas elementares de matéria; estas partículas não devem mais ser consideradas como objectos permanentes que conservam a sua identidade, e que servem unicamente como peças de construção da matéria para juntar em grupos formando átomos químicos mais completos. Deve reconhecer-se na verdade a possibilidade da criação de partículas materiais pela radiação, e da aniquilação de partículas materiais com produção de radiação. Tal possibilidade era, na verdade, completamente inconcebível aos gregos na sua longa discussão filosófica sobre a indivisibilidade em face da divisibilidade da matéria.

Em 1935 foi dado mais um passo para a compreensão da grande complexidade das relações entre as partículas elementares da matéria, com a descoberta dos *mesotrões positivos e negativos* ou *mesões positivos e negativos*, como agora são chamados muitas vezes. Esta descoberta foi feita também em investigações dos fenómenos de alta energia, produzidos quando os raios cósmicos são absorvidos na sua passagem pela matéria.

O mesotróo é uma partícula de massa cerca 200 vezes a dum electrão, e, portanto, cerca de um décimo da dum protão ou dum neutrão. Aparece com carga eléctrica positiva ou negativa. A descoberta do mesotróo não foi rápida e accidental como as do positróo e do neutrão. Foi somente depois da execução duma série ininterrupta de observações, durante um período de 4 anos, que foram realizadas para afastar certas incompatibilidades aparecendo sempre que tentávamos compreender certos fenómenos dos raios cósmicos por meio das partículas elementares então conhecidas. Estas incompatibilidades foram afastadas com a hipótese da existência do mesotróo, cuja descoberta foi anunciada publicamente em 1936.

Ao contrário do neutrão, o mesotróo não foi imediatamente bem recebido pelos físicos. Os físicos fazem os seus progressos simplificando a compreensão da natureza; portanto, o mundo físico que podia ser explicado apenas por uma ou duas partículas elementares distintas teria mais a sua simpatia. A descoberta do mesotróo não introduziu uma simplificação; pelo contrário, complicou a situação porque aumentou o número de partículas elementares materiais de quatro a seis. Na aparência o Criador não favoreceu um mundo demasiado simples.

Antes da descoberta do mesotróo um físico japonês, Yukawa, tinha postulado em bases teóricas a existência possível de partículas de massa intermediária entre um protão e um electrão. Todavia a sua teoria não foi geralmente conhecida dos físicos desse tempo, e não teve parte alguma na descoberta do mesotróo. Mesmo que essa teoria tivesse sido geralmente conhecida ainda seria duvidoso que tivesse afectado a marcha das pesquisas dos raios cósmicos, visto que, ao contrário da teoria de Dirac do positróo, ela não teria servido de guia tão útil para apontar as direcções mais eficazes nas pesquisas a seguir.

Semelhante ao positróo, o mesotróo tem a expectativa duma vida muito curta. No espaço livre tanto os mesotróos positivos como negativos têm uma vida normal de cerca de duas milionésimas de segundo, depois do que se desintegram espontaneamente. Observações muito recentes têm mostrado que a desintegração espontânea dum mesotróo produz com toda a probabilidade um electrão e dois *neutrinos*. Neutrinos são partículas elementares interessantes que foram

antes inventadas para contrabalançar a energia e momento nos processos em que se produz um electrão quando desaparece um núcleo radioactivo. Existe uma situação semelhante no caso do desaparecimento dum mesotrão, excepto que neste é necessário postular a emissão de *dois* neutrinos de modo a contrabalançar a energia e momento, em vista de mesotrão desaparecer inteiramente.

No espaço livre os mesotrões desaparecem espontâneamente depois de cerca de duas milionésimas de segundo. Em presença da matéria um mesotrão de carga negativa pode terminar a sua existência num tempo ainda mais curto. Isto sucede por entrar num núcleo atómico, ou, em linguagem do fisico, por captura nuclear.

Os mesotrões observados nos raios cósmicos são produzidos por partículas de energia muito alta do feixe de raios cósmicos primários quando vem do espaço exterior à terra e mergulha na atmosfera terrestre.

Dum modo algum tanto análogo à criação de positrões e electrões, os mesotrões nascem da enorme energia conduzida pelo feixe de raios cósmicos primários.

Há fenómenos muito interessantes envolvidos no nascimento e morte dos mesotrões e nos processos nucleares violentos que os acompanham, mas não é possível discuti-los aqui. Todavia, apraz-me mencionar a este respeito, dois progressos importantes feitos nos últimos dois anos.

Progressos recentes nas pesquisas nucleares

Um destes é o trabalho em curso em Bristol, Inglaterra, por Powell e seus colaboradores, que consiste numa análise detalhada dos traços produzidos por mesotrões nas emulsões de chapas fotográficas. Estes investigadores descobriram um mesotrão dum tipo novo mais pesado que o mesotrão ordinário. É cerca de 285 vezes tão maciço como um electrão, enquanto que o mesotrão ordinário é cerca 215 vezes. O mesotrão pesado tem uma vida muito curta; vive somente cerca duma centésima da vida de mesotrão leve, depois do que se desintegra num mesotrão leve-pesado e outra par-

tícula, provavelmente um neutrino. O mesotróo leve-pesado negativamente carregado pode também entrar directamente num núcleo atómico e dar origem a uma violenta explosão nuclear.

Embora os mesotróes pesados recentemente descobertos, tanto como os mesotróes leves descobertos em 1936, tenham algumas propriedades comuns — v. g. ambos aparecem com cargas positivas e negativas, ambos tem vidas curtas, e ambos se encontram nos raios cósmicos —, todavia, a alguns respeitoos muito fundamentais, são tipos de partículas elementares inteiramente diferentes. O mesotróo pesado actua muito fortemente sobre os núcleos atómicos, enquanto o mesotróo leve actua muito fracamente. Outra diferença reside nos respectivos valores daquela propriedade importante conhecida como o spin ou momento angular; pesquisas recentes indicam que o mesotróo pesado tem um spin integral, enquanto que o mesotróo leve tem um spin semi-integral.

Com toda a probabilidade é o mesotróo pesado, e não o mesotróo leve, que deve ser identificado, com a partícula primeiro postulada em bases teóricas por Yukawa em 1934. A teoria de Yukawa, mesmo no estado actual, é muito primitiva. Todavia ainda fornece o melhor conceito básico para compreender processos envolvendo mesotróes e pode possivelmente, depois de ultteriores desenvolvimentos, por meio das forças trocadas pelo mesotróo, fornecer a compreensão do problema muito importante da natureza das forças actuando entre as partículas dum núcleo. Tanto mais que nenhuma teoria satisfatória tem sido desenvolvida para compreender muitos dos fenómenos, mesmo os mais simples, respeitantes ao núcleo. Uma das grandes tarefas actuais da fisica teórica é adquirir uma compreensão quantitativa das acções entre as partículas elementares da matéria e dos processos nucleares fundamentais.

Para completar a nossa lista de partículas elementares devemos incluir também o *fotão*. Esta partícula, ao mesmo tempo que o neutrino como se notou, é, todavia, duma categoria alguma coisa diferente dos outros tipos de partículas. O fotão não é uma partícula material, no sentido de poder ser identificada com qualquer partícula que possa existir em repouso e estar associada a uma quantidade finita de substância material ponderável. Os fotões somente podem ser identificados com radiação ou energia radiante. O neutrino

também deve ser colocado numa categoria especial, visto não poder associar-se com uma quantidade apreciável de substância material ponderável e nunca foi observado directamente.

Em suma, presentemente, o físico reconhece pelo menos 10 partículas elementares distintas de matéria. Se esta lista é completa ou não, não se pode dizer com certeza. As indicações são de que a lista não é completa, porque parece accumularem-se rapidamente provas da existência duma partícula elementar adicional pelo menos. Esta partícula encontrada nos raios cósmicos parece ter uma massa algumas 1.000 vezes a massa do electrão. Mas as suas propriedades e relações com os mesotrões pesados e leves e outras partículas elementares de matéria é um assunto que deve esperar os resultados de observações ultteriores.

A consideração de adições ultteriores prováveis à lista das partículas elementares de matéria sugere uma questão completamente fora da física e referida apenas à designação de novas partículas. Temos aqui agora um exemplo interessante das grandes dificuldades que os físicos tem algumas vezes apenas em assinalar designações ou nomes aos vários conceitos, quer sejam partículas elementares de matéria ou alguma outra coisa, antes de serem conhecidos todos os factos relativos. Em 1937 foi sugerido o termo mesotrão para designar a nova partícula de massa intermediária descoberta nos raios cósmicos em 1936. Desde então este termo tem sido contraído muitas vezes para mesão e assim empregado. Desde a descoberta da nova partícula de massa maior que a do mesotrão original dos raios cósmicos, o termo mesotrão ou mesão tem sido empregado para designar os dois tipos de partículas que são diferenciadas pelos prefixos das letras gregas π e μ . Assim o termo π -mesotrão ou π -mesão designa a partícula mais pesada e μ -mesotrão ou μ -mesão a mais leve. Esta nomenclatura pareceu satisfatória até que a experimentação continuada começou a mostrar cada vez mais claramente as diferenças básicas importantes entre os dois tipos de partículas. Começa a tornar-se aparente que as propriedades destes dois tipos de partículas são tais que elas não cairão naturalmente na mesma classificação. Assim o uso dum termo genérico comum, tal como mesotrão ou mesão, para designar esses dois tipos de partículas pode mostrar-se no futuro completamente inconveniente e ilógico. Precisamente o que

será feito a respeito da nomenclatura não é ainda claro, mas é um assunto que receberá uma consideração muito séria, especialmente em face da entrada aparente no grupo, de novas partículas elementares.

Outro progresso importante que desejo mencionar é o sucesso recente de produzir mesotrões no grande ciclotrão no campo da Universidade da Califórnia em Berkley. É a primeira vez que foi possível por métodos laboratoriais ou artificiais projectar uma só partícula de matéria com energia suficientemente alta para tornar possível a criação de mesotrões. Isto tem sido conseguido em Berkley com o feixe de partículas α , ou núcleos de helium, acelerados a uma energia de 400 milhões de electrões-volts. Observou-se a produção de mesotrões pesados e leves, e há todas as indicações de que estes mesotrões são idênticos aos observados previamente entre as partículas produzidas pelos raios cósmicos.

Agora estão em projecto outras máquinas aceleradoras de partículas que produzirão energias de partículas várias vezes os 400 milhões de electrões-volts conseguidos no ciclotrão de Berkley. Quando estas máquinas estiverem em actividade, trabalhando com energias até 6 ou 7 biliões de electrões-volts, podemos esperar aprender muito mais acerca dos mesotrões e doutras partículas elementares da matéria. Além disso, devemos esperar que uma continuação de pesquisas sobre os raios cósmicos alargará o nosso conhecimento neste campo, visto que nas partículas dos raios cósmicos são utilizáveis para estudo energias mesmo 10 a 100.000 vezes maiores que as esperadas de qualquer dos aceleradores actualmente planeados.

Em conclusão eu gostaria de indicar a significação possível destas novas descobertas para a ciência e para o mundo.

Nesta discussão tenho classificado os fenómenos físicos, segundo a energia associada, em três categorias: (1) fenómenos extranucleares ou de baixa energia, (2) fenómenos nucleares ou de alta energia, e (3) de energia extremamente alta ou que podemos chamar, à falta de melhor termo, fenómenos de partículas elementares. O conhecimento dos primeiros destes, fenómenos extranucleares ou de baixa energia, tem afectado já profundamente a vida de quase todos os seres humanos sobre a terra. A revolução industrial, a nossa civilização mecanizada, o encurtamento do mundo pelos progressos de

comunicação e transportes aparecem como uma aplicação directa do nosso conhecimento dos fenómenos extranucleares ou de baixa energia. Indirectamente ele tem sido responsável pela organização económica e política de todo o mundo. A nossa idade pode ser classificada como idade extranuclear.

Desde a explosão da bomba atómica e a realização da libertação de energia nuclear em larga escala, parece tornar-se claro que estamos agora entrando num novo período em que os fenómenos nucleares estão destinados a uma parte importante na formação do mundo, pelo menos politicamente, se não economicamente, num futuro muito próximo. Mas não se pode dizer quão grande será a influência do nosso conhecimento dos fenómenos nucleares sobre o mundo.

Há apenas 50 anos que o nosso conhecimento directo do electrão não passava dum fraco luar verde num tubo de vidro — e agora não podemos negar que o nosso conhecimento das propriedades do electrão tem tido um efeito de importância profunda na formação da nossa civilização. Há também apenas 50 anos que o conhecimento do mundo dos fenómenos nucleares consistia apenas nos pensamentos de Becquerel quando examinava uma área escurecida numa chapa fotográfica. Presentemente o nosso conhecimento de todos estes campos é incompleto, particularmente dos fenómenos nucleares, e mais particularmente dos fenómenos de alta energia ou das partículas elementares.

De modo que o conhecimento do mundo dos fenómenos de altas energias, ou das interacções entre as partículas elementares, é representado apenas por algumas páginas impressas nos jornais científicos, por discussões entre os físicos, ou talvez por uma leitura ocasional. Mas podemos olhar para diante antecipadamente e mesmo com entusiasmo para as novas descobertas a realizar seguramente nos estudos conduzidos sobre as partículas elementares e processos de energia muito alta. Novos fenómenos de grande beleza, extrema complexidade, e novidade devem certamente ser revelados e finalmente compreendidos. Se o nosso conhecimento destes novos fenómenos exercerá grande ou pequena influência sobre o mundo não se pode dizer. Creio desavisado, todavia, esperar pouca influência, à luz da história do desenvolvimento científico.

O QUE É UMA PARTÍCULA ELEMENTAR (1950)

POR

E. Schrodinger

Do Instituto Dublin para altos estudos, Dublin, Irlanda
do relatório smithsoniano de 1950, págs. 183-196

1. Uma partícula não é um indivíduo

Na sua última forma o atomismo chama-se mecânica quântica. Alarga-se de modo a compreender, ao lado da matéria ordinária, todas as espécies de radiação, incluindo a luz — em resumo, todas as formas de energia, sendo uma delas a matéria ordinária. Na forma actual da teoria, os «átomos» são electrões, prótons, fotões, mesões, etc. O nome genérico é partícula elementar, ou simplesmente partícula. O termo «átomo», embora tornado impróprio, têm-se atribuído muito geralmente aos átomos químicos.

Este ensaio trata da partícula elementar, mais particularmente, duma certa feição que este conceito adquiriu — ou antes perdeu — na mecânica quântica. Quero dizer: Que a partícula elementar não é um indivíduo; não pode ser identificada, carece de «identificação». O facto é conhecido de todos os físicos, mas raras vezes se lhe dá qualquer relevo ao alcance dos não especialistas. Em linguagem técnica isto é dissimulado dizendo que as partículas «obedecem» às novas estatísticas de Einstein-Bose ou de Fermi-Dirac. A implicação, longe de ser óbvia, é que o epíteto insuspeito «este» não é aplicável apropriadamente, por exemplo, a um electrão, excepto num sentido restrito, com cautela, e algumas vezes de modo nenhum.

O meu objectivo aqui é explicar este ponto e dar-lhe o sentido que lhe compete. Permitam-me resumir nos parágrafos 2-5 o que se diz usualmente acerca de partículas e ondas, na nova física, de modo a criar matéria, ou base para discussão.

2. Ideias correntes: A amalgamação de partículas e ondas

A nossa imagem do mundo material tem sido feita de duas espécies de representações — ondas e partículas. As primeiras compreendiam principalmente, se não exclusivamente, ondas de Maxwel da energia electromagnética, abrangendo as de rádio, da luz, dos raios-X, e raios-gama. Dizia-se que os corpos materiais eram constituídos de partículas. Estava-se também familiarizado com jactos de partículas, chamados raios corpusculares, tais como raios catódicos, raios-beta, raios-alfa, raios anódicos, etc. As partículas emitiriam e absorveriam ondas. Por exemplo, os raios catódicos (electrões), retardados pelos choques com os átomos, emitiam raios-X. A distinção entre partículas e ondas era, todavia, considerada tão clara como entre um violino e o seu som. Um examinando que assimilasse os raios catódicos a ondas, ou os raios-X a jactos de partículas teria obtido muito más notas.

Na nova posição de ideias a distinção desapareceu, porque se descobriu que todas as partículas têm também propriedades de ondas, e vice-versa. Nenhum dos dois conceitos deve ser afastado; eles devem ser amalgamados. O aspecto que se impõe não depende do objecto físico, mas dos meios experimentais para o examinar. Um jacto de raios catódicos, por exemplo, produz na câmara de vapor de Wilson traços discretos de gotazinhas de água, — traços curvos se há um campo magnético a deflectir os electrões, doutro modo alinhamentos rectos de gotazinhas. Só podemos interpretá-los como rastros dos percursos de electrões simples. Ainda o mesmo fecho, depois de atravessar um estreito tubo em ângulo recto com ele e contendo pó cristalino, produzirá numa chapa fotográfica, atrás do tubo, à mesma distância, uma figura de círculos concêntricos. Esta figura pode compreender-se em todos os seus detalhes quando considerada

como figura de interferência de ondas, e de nenhum outro modo. Na verdade, apresenta uma estreita semelhança a figuras produzidas do mesmo modo pelos raios-X.

Surge a dúvida: são realmente raios catódicos os jactos cónicos que caem na chapa fotográfica e formam a figura de círculos; não são eles antes raios-X secundários? A dúvida tem de ser afastada, porque todo o sistema de círculos pode ser deslocado por um magnete, o que não sucede com os raios-X; além disso, pondo no lugar da chapa fotográfica um diafragma de chumbo com um pequeno buraco, pode isolar-se dum dos jactos cónicos um jactozinho e fazê-lo manifestar algum dos caracteres típicos das partículas dos raios catódicos: produzirá traços discretos numa câmara de vapor, descargas discretas num contador Geiger-Müller; e carregará um cilindro de Faraday que o intercepte.

Grande quantidade de provas experimentais firmam a convicção de que as características de ondas e as de partículas nunca se encontram sós, mas sempre unidas: elas formam aspectos diferentes do mesmo fenómeno e na verdade de todos os fenómenos físicos. A união não é vaga ou superficial. Não seria de modo algum satisfatório considerar os raios catódicos como consistindo ao mesmo tempo em partículas e ondas. Nos primeiros dias da nova teoria sugeriu-se que as partículas podiam ser pontos singulares dentro das ondas, actualmente singularidades no sentido matemático. As cristas brancas num mar moderadamente agitado serão uma imagem belamente adequada. A ideia foi muito cedo abandonada. Parece que os dois conceitos, o de ondas e o de partículas, tem de ser consideravelmente modificados, de modo a atingirem uma verdadeira amalgamação.

3. Ideias correntes: A natureza das ondas

As ondas, como dissemos, não devem ser consideradas completamente reais. É verdade que elas produzem figuras de interferência, — ensaio crucial que no caso da luz removeu todas as dúvidas quanto à sua realidade. Todavia, nós agora consideramos todas as ondas, incluindo a luz, antes como «ondas de probabilidade». Elas são sòmente um expediente matemático para calcular a probabilidade de

achar uma partícula em certas condições, por exemplo (no exemplo acima), a probabilidade de um electrão encontrar a chapa fotográfica dentro duma pequena área especificada. Fica registado actuando sobre um grão de brometo de prata. A figura de interferência deve ser considerada como um registo estatístico desses electrões. As ondas são neste contexto algumas vezes consideradas como dirigentes — guiando ou dirigindo as partículas nos seus percursos. A direcção não deve ser considerada como rígida; constitui apenas uma probabilidade. A nitidez da figura é um resultado estatístico, devido ao enorme número de partículas.

Aqui não posso deixar de mencionar uma objecção que decerto não ocorrerá ao leitor. Qualquer coisa que influencia o comportamento físico dalguma outra coisa não deve, por qualquer aspecto, ser considerada menos real que a influenciada — qualquer que seja a significação do qualificativo «real». É certamente útil recordar agora que todos os modelos quantitativos ou imagens concebidas pelos físicos, são, epistemologicamente, apenas expedientes matemáticos para calcular acontecimentos observáveis, mas não me parece que isto se aplique mais, por exemplo, a ondas de luz que a moléculas de oxigénio.

4. Ideias correntes: A natureza das partículas (relação de incerteza)

A modificação no conceito de partícula, é requerida pela relação de incerteza de Heisenberg. A mecânica chamada clássica fundava-se na descoberta de Galileu e Newton de que aquilo que num corpo móvel é determinado a cada instante pelos outros corpos que o cercam é somente e precisamente a sua aceleração, ou, em termos matemáticos, as segundas derivadas, das coordenadas em relação ao tempo. As primeiras derivadas, comumente chamadas velocidades, devem portanto ser incluídas na descrição do estado do corpo num dado instante juntamente com as próprias coordenadas que marcam o lugar momentâneo no espaço ou situação («whereness») ou local (ubiqy, para usar uma palavra antiquada mas con-

veniente). Assim, para descrever o estado duma partícula num dado instante são requeridos dois dados independentes: as suas coordenadas e as primeiras derivadas em relação ao tempo, ou situação e velocidade. Segundo a nova teoria é requerido menos e menos se pode obter. Qualquer dos dois dados pode ser fornecido com rigor arbitrário, contanto que nenhuma posição seja dada ao outro, visto que não podem ser ambos conhecidos juntamente com precisão absoluta. Não pode mesmo conceber-se que nò mesmo instante ambos tenham valores absolutamente definidos. É como se se obscurecessem mutuamente um ao outro. Grosseiramente falando, o produto das amplitudes das suas respectivas incertezas não pode ser reduzido abaixo duma constante fixa. Para um electrão sucede que esta constante é cerca de 1 se forem usadas as unidades centímetro e segundo. Assim, se a velocidade dum electrão for considerada com aproximação unicamente de 1 centímetro por segundo, a sua localização tem de ser considerada como obscurecida dentro da latitude de 1 centímetro. A estranheza não reside apenas na existência de incertezas, porque a partícula pode ser uma coisa de extensão vaga e mutável, dentro da qual em pontos diferentes prevaleçam velocidades ligeiramente diferentes. Todavia nesse caso uma localização ou situação rigorosa implicaria provávelmente uma velocidade rigorosamente definida e vice-versa. Actualmente admite-se exactamente o contrário.

5. Ideias correntes: A significação da relação de incerteza

Dois laços unem esta constatação estranha e certamente muito fundamental a outras partes da teoria. Pode declarar-se que uma partícula é equivalente à sua onda guia, e não tem senão as características indicadas por esta segundo uma certa regra. A regra é bastante simples. A situação é indicada pela extensão da onda, a amplitude da velocidade pela ordem de números de onda. «Número de onda», é, em resumo, recíproco do comprimento de onda. Cada número de onda corresponde a uma certa velocidade que lhe é proporcional. Esta é a regra. É um axioma matemático que quanto

menor é o grupo de onda maior é a extensão (mínima) dos seus números de onda.

Por outro lado, podemos escolher o processo experimental de determinar a situação ou a velocidade. Cada meio de medida implica uma transferência de energia entre a partícula e qualquer instrumento de medida — eventualmente o próprio observador, que tem de fazer uma leitura. Isto significa uma interferência física simultânea com a partícula. A perturbação não pode ser reduzida arbitrariamente, porque a energia não é transmitida continuamente mas por porções. Nós inclinamo-nos a compreender que, quando medimos um dos dois itens, situação ou velocidade, interferimos com o outro tanto mais violentamente quanto mais alta a precisão que pretendemos. Nós obscurecemos o seu valor dentro duma amplitude inversamente proporcional à amplitude do erro deixado no primeiro.

Em ambas as explicações a enunciação parece sugerir que a incerteza ou falta de previsão se refere mais ao conhecimento possível duma partícula do que à sua natureza. Na verdade, dizendo que alteramos ou mudamos uma quantidade física mensurável, logicamente implicamos que ela tem certos valores antes e depois da nossa interferência, quer a conheçamos quer não. E na primeira explicação, envolvendo a onda, se lhe chamamos uma onda guia como pode ela guiar a partícula no seu percurso, se a partícula não tem um percurso. Se dizemos que a onda indica a probabilidade da partícula se achar em A, ou em B, ou em C — isto parece implicar que a partícula está num, somente num, desses lugares; e do mesmo modo para a velocidade. (De facto a onda indica simultaneamente duas probabilidades, uma pela sua extensão, outra pelos seus números de onda). Todavia, a vista corrente não aceita nem situação nem velocidade como realidades objectivas permanentes. Ela força a palavra «achar». Achar a partícula no ponto A não implica que ela aí tenha estado antes. Nós inclinamo-nos mais ou menos a compreender que a prática da nossa medida a levou aí ou a «concentrou» nesse ponto, ao mesmo tempo que perturbou a sua velocidade. E isso não implica que a velocidade «tenha» um valor. Se a medimos, somente alteramos ou mudamos a probabilidade de achar este ou aquele valor da velocidade. As implicações como «ser» ou «ter» são concepções erradas de que deve acusar-se a linguagem.

Atribui-se à filosofia positiva não distinguir entre o conhecimento que podemos obter dum objecto físico e o seu estado actual. Os dois são um.

6. Crítica da relação de incerteza

Não discutirei aqui essa doutrina da filosofia positiva. Concordo plenamente que a relação de incerteza não tem nada a ver com o conhecimento incompleto. Ela, comparada com as vistas anteriores não reduz a quantidade de informação alcançada acerca duma partícula. A conclusão é que essas vistas eram más e devemos abandoná-las. Não devemos crer que seja concebível, mas na prática inatingível, a descrição mais completa que elas pedem acerca da doutrina do que se passa realmente no mundo físico. Isto significará aderir à velha doutrina. Além disso, não se segue necessariamente que devamos renunciar a falar e pensar em termos do que se passa realmente no mundo físico. Tornou-se um hábito conveniente representá-lo como uma realidade. Em todos os dias da vida todos nós seguimos este hábito, mesmo aqueles filósofos que teoricamente se lhe opõem, tais como, Bishop Berkeley. Essa controvérsia teórica está num plano diferente. A física não tem nada a ver com isso. A física toma o seu impulso da experiência diária, que continua pelos meios mais subtis. Ela fica-lhe ligada, geralmente não a transcendendo, não pode entrar noutro reino. As descobertas em física não podem por si — segundo creio — ter autoridade para nos forçar a pôr um fim ao hábito de representar o mundo físico como uma realidade.

Creio que a situação é esta. Temos tomado da teoria anterior a ideia duma partícula e toda a linguagem técnica respectiva. Esta ideia é inadequada. Arrasta constantemente o nosso espírito a pedir informações sem significação. A sua estrutura imaginativa apresenta aspectos alheios à partícula real. Uma representação adequada não deve perturbar-nos com essa obrigação inquietante; deve ser incapaz de representar mais do que há; deve recusar qualquer adição. A maior parte da gente parece pensar que não pode achar-se tal representação. Podem, na verdade, apontar-se indícios procedentes (que lamento dizer não mudarão com este ensaio) de que, de

facto, nenhuma foi achada. Fora da genuína embrulhada do caso, penso, todavia, nalgumas razões em abono. O paliativo, tomado da filosofia positiva e apresentando-se razoável, foi administrado muito cedo e com autoridade. Parecia dispensar-nos da pesquisa daquilo que chamarei compreensão real; dava-nos mesmo a suspeita de tal esforço atraiçoar um espírito não filosófico — o espírito duma criança que temesse perder o seu brinquedo favorito (a representação ou modelo) e não realizasse o que sempre procurou. Como segundo ponto, sugiro que a dificuldade pode ser intimamente relacionada com o principal assunto deste artigo, a que voltarei sem mais demora. A relação de incerteza refere-se à partícula. A partícula, como veremos, não é um indivíduo identificável. Pode ser na verdade que não se possa conceber nenhuma entidade individual correspondendo aos requisitos da representação adequada acima referida.

Não é muito fácil realizar esta falta de individualidade e achar palavras próprias. Um sintoma é que a interpretação de probabilidade, a não ser expressa na linguagem mais altamente técnica dos matemáticos, parece ser vaga quanto à informação dada pela onda acerca duma partícula ou dum conjunto de partículas. Nem sempre é completamente claro se ela indica a probabilidade de achar «a» partícula ou de achar «uma» partícula, ou indica a probabilidade ou número médio de partículas, por exemplo, num dado pequeno volume. Além disso, a vista mais vulgar sobre probabilidade tende a obliterar estas diferenças. É verdade que instrumentos matemáticos exactos são úteis para as distinguir. Isto envolve um ponto de interesse geral, que explicarei. O método de tratar o problema de muitas partículas foi indicado pelo autor em 1926. O método usa ondas num espaço multidimensional, num espaço a $3N$ dimensões, sendo N o número de partículas. Conhecimento mais profundo levou ao seu aperfeiçoamento. O passo que leva a este aperfeiçoamento é de significação importante. O tratamento multidimensional foi ultrapassado pela chamada segunda quantização, que é matematicamente equivalente a unir numa formulação tridimensional os casos $N=0, 1, 2, 3, \dots$ (ao infinito) do tratamento multidimensional. Este expediente altamente engenhoso inclui as chamadas novas estatísticas, das quais eu tratarei abaixo em termos muito mais simples. É a única formulação precisa das vistas actuais, e que é

sempre usada. O que é muito significativo no nosso presente contexto é que não se pode evitar deixar indeterminado o número das partículas de que se trata. É assim óbvio que elas não são individuais.

7. Noção duma peça de matéria

Desejo expor sobre a matéria e o universo material uma vista a que Ernst Mach (1) (1), Bertrand Russel (2), e outros foram levados por uma análise cuidadosa de conceitos. Difere da vista vulgar. Todavia não tratámos da origem psicológica do conceito de matéria, mas da sua análise epistemológica. Esta atitude é tão simples que dificilmente pode reclamar completa novidade; alguns pré-Socráticos, incluindo o materialista Demócrito (3), estavam mais perto dela do que os grandes homens que ressuscitaram a ciência e a moldaram durante os séculos XVII a XIX.

Segundo esta vista, uma peça de matéria é o nome que damos a uma série contínua de acontecimentos que se sucedem no tempo uns aos outros, sendo como regra estreitamente semelhantes os imediatamente sucessivos. O acontecimento singular é um complexo inextricável de sensações, e imagens associadas na memória, e de perspectivas associadas com as primeiras duas. As sensações prevalecem no caso dum objecto desconhecido, por exemplo uma mancha branca distante sobre a estrada, que pode ser uma pedra, neve, sal, um gato ou um cão, uma camisa branca ou blusa, um lenço. Mesmo assim, dentro da próxima série de acontecimentos nós conhecemos usualmente da experiência geral como descontar as mudanças causadas pelos movimentos do nosso próprio corpo, em particular da direcção da nossa vista. Logo que se reconhece a natureza do objecto, as imagens e perspectivas começam a prevalecer. As últimas referem-se a sensações como duro, mole, pesado, flexível, áspero, liso, frio, salgado, etc., associadas com a imagem do toque e manejo; elas referem-se também a movimentos espontâneos ou ruidos, tais

(1) Os números em parêntesis referem-se aos autores citados no fim deste artigo.

como latido, miar, grito, etc. Notar-se-á que eu não falo dos nossos pensamentos ou considerações acerca do objecto, mas do que forma parte e parcela da nossa percepção dele — do que ele é para nós. Todavia, o limite não é rígido. Quando a nossa familiaridade com uma peça de matéria cresce e em particular quando nos aproximámos do seu aspecto científico, a ordem de perspectivas a respeito dele alarga-se, para incluir eventualmente todas as informações que a ciência forneceu, v. g., ponto de fusão, solubilidade, continuidade eléctrica, densidade, estrutura química e cristalina, e assim por diante. Ao mesmo tempo, o fundo sensacional de momento recua tanto mais quanto mais o objecto se torna familiar, quer pelo conhecimento científico quer pelo uso diário.

8. Individualidade ou «identidade»

Depois dum certo valor de associação enriquecer o fundo das sensações, estas não têm mais necessidade de guardar o complexo. Ele persiste mesmo quando cessa temporariamente o contacto dos nossos sentidos com o objecto. E mais do que isso: o complexo conserva-se latente mesmo quando toda a ordem é interrompida pelo nosso afastamento do objecto para outros e esquecimento de tudo á volta dele. Na verdade, isto não é excepcional, mas uma regra que — desde que dormimos algumas vezes — não tem excepção. Mas adoptamos o expediente útil de preencher estas lacunas. Suprimos as partes omissas dos laços que ligam as peças da matéria nas nossas vizinhanças mais próximas e afastadas, cobrindo os períodos em que nunca as vemos nem pensámos nelas. Quando um objecto familiar reentra na nossa vista, é geralmente reconhecido como uma continuação de aparências prévias, como sendo a mesma coisa. A permanência relativa de porções individuais de matéria é a característica mais importante da vida de cada dia e da experiência científica. Se um artigo familiar, um jarro de faiança por exemplo desaparece do vosso quarto, ficais absolutamente seguros de que alguém o deve ter tirado. Se depois de algum tempo ele reaparece, podeis duvidar que ele seja realmente o mesmo — em tais circunstâncias objectos quebráveis não são muitas vezes os mesmos. Vós

podeis não ser capaz de decidir a questão, mas não tendes nenhuma dúvida de que a identidade duvidosa tem uma significação indisputável — que há uma resposta sem ambiguidade à vossa pergunta. Tão firme é a vossa crença na continuidade das partes não observadas das séries!

A noção de individualidade das porções de matéria data sem dúvida de tempos imemoriais. Suponho que os animais a devem ter do mesmo modo, e um cão, manifesta-a plenamente procurando a sua bola que foi escondida. A ciência tem-na adoptado como matéria corrente. Tem-na aperfeiçoado de modo a compreender todos os casos de aparente dissemelhança da matéria. A ideia de que uma acha que arde primeiro se torna em fogo, depois em cinzas e fumo, não é alheia ao espirito primitivo. A ciência tem-na substanciado; embora possa mudar a aparência em tamanho, os últimos constituintes da matéria não mudam. Foi este (a despeito do seu cepticismo ocasional acima mencionado) o ensino de Demócrito. Nem ele nem Dalton duvidavam de que um átomo, originariamente presente no bloco de madeira fosse outro nas cinzas ou no fumo.

9. Influência sobre o atomismo

Na nova forma do atomismo, que começou com os trabalhos de Heisenberg e de Broglie em 1925, tal atitude tem de ser abandonada. Esta é a revelação emergente mais assustadora, e a característica destinada com o tempo às mais importantes consequências. Para manter o atomismo somos forçados, por factos observados, a negar aos últimos constituintes da matéria o carácter de indivíduos identificáveis. Até recentemente, os atomistas de todos os tempos, por tudo que eu sei, transferiram aquela característica das porções visíveis e palpáveis de matéria aos átomos, que não podiam ver ou tocar ou observar singularmente. Agora nós observamos partículas individuais; vemos os seus traços na câmara de vapor e nas emulsões fotográficas; registámos as descargas praticamente simultâneas produzidas por uma só partícula veloz em dois ou três contadores Geiger colocados a várias jardas de distância uns dos outros. Apesar disso, devemos negar à partícula

a dignidade de ser um indivíduo absolutamente identificável. Anteriormente, se um físico fosse interrogado de que substâncias os átomos eram feitos, podia sorrir-se e iludir a resposta. Se o inquiridor insistisse na pergunta se ele podia imaginá-los pequenos bocados imutáveis de matéria ordinária, ele replicaria sorrindo que não se tinha chegado a esse ponto, mas que não havia nisso nenhum mal. A pergunta, primeiramente sem sentido, ganhou-o agora. A resposta é definitivamente negativa. Falta ao átomo a propriedade mais primitiva que nós associávamos a uma porção de matéria na vida ordinária. Se o caso pudesse ser posto a alguns filósofos do passado, eles diriam que o átomo moderno não tem substância, mas é pura forma.

10. A significação das novas estatísticas

Por último devemos tratar de dar as razões desta mudança de atitude numa forma mais compreensível que no fim do parágrafo 6. Elas residem nas chamadas novas estatísticas. Há duas. Uma é a estatística Bose-Einstein, cuja novidade e relevo foram primeiro apontadas por Einstein. A outra é a estatística Fermi-Dirac, cuja expressão mais fértil é o princípio de exclusão de Pauli. Experimentarei explicar as novas estatísticas e a sua relação com a velha estatística clássica ou de Boltzmann àqueles que nunca ouviram nada acerca de tais assuntos e talvez possam embaraçar-se com o que neste contexto significa «estatística». Usarei um exemplo da vida diária. Pode parecer ingenuamente simples, particularmente porque temos de escolher pequenos números — presentemente 2 e 3 — de modo a tornar vigiável a aritmética. Fora disto, a ilustração é completamente adequada e corresponde à situação actual.

Três estudantes, Tom, Dick, e Harry, merecem uma recompensa. O professor tem duas recompensas para distribuir por eles. Antes disso, ele deseja saber por si quantas distribuições diferentes são possíveis ao todo. É esta a única questão que nós investigamos (não nos interessa a sua decisão eventual). É uma questão estatística: contar o número de distribuições diferentes. O ponto é que a resposta depende da natureza das recompensas. Três espécies

diferentes de recompensa ilustrarão as três espécies de estatísticas.

a) As duas recompensas são duas medalhas com os retratos respectivamente de Newton e Shakespeare. O professor pode dar Newton a Tom ou a Dick ou a Harry, e Shakespeare a Tom ou a Dick ou a Harry. Assim temos 3 vezes 3, isto é, 9 formas diferentes de distribuição (estatística clássica).

b) As duas recompensas são duas moedas-xelim (que, para o nosso fim, devemos considerar como quantidades indivisíveis). Podem ser dadas a dois rapazes diferentes, ficando o terceiro sem nenhuma. Além destas três possibilidades, há mais três: ou Tom ou Dick ou Harry recebem 2 xelins cada um. Assim há seis formas diferentes de distribuição (estatística de Bose-Einstein).

c) As duas recompensas são duas vagas para a escola gozar no team de futebol. Neste caso dois rapazes podem juntar-se no team, e fica de fora um dos três. Assim há três formas diferentes de distribuição (estatística de Fermi-Dirac).

Deixai-me esclarecer ainda: as *recompensas* representam as partículas, duas da mesma espécie em cada caso; os rapazes representam os estados que a partícula pode assumir. Assim, «Newton é dado a Dick» significa: a partícula Newton toma o estado Dick.

Notem que a contagem é natural, lógica, e indisputável em cada caso. É desigualmente determinada pela natureza do objecto — medalhas comemorativas, xelins, vagas. Há diferentes categorias. Medalhas comemorativas são indivíduos distintos um do outro. Xelins, para todas as intenções e fins, não são, mas podem ainda ser possuídos. Há uma diferença se nós temos 1 xelim, ou 2 ou 3. Não há diferença se dois rapazes trocam seus xelins. Todavia a situação muda se um rapaz dá a outro o seu xelim. Com as sociedades, nenhuma tem significação. Podemos pertencer a um team ou não. Não podemos pertencer aos dois.

A experiência prova que os cálculos estatísticos referidos a partículas elementares nunca devem seguir o modelo a), mas b) ou c). Alguns sustentam que para todas as partículas genuinamente elementares c) é competente. Tais partículas, por exemplo electrões, correspondem a sócios de um clube; quero dizer à noção abstracta de sócio não aos sócios. Qualquer pessoa ilegível para sócio de determi-

nado clube representa um estado bem definido que pode tomar um electrão. Se a pessoa é sócio, isso significa que há um electrão naquele estado particular. Segundo o princípio de exclusão de Pauli, nunca pode haver mais de um electrão num estado particular. O nosso simile ou comparação toma conta disto declarando sem significação o duplo sócio — como seria na maior parte dos clubes. No decurso do tempo muda a lista dos sócios e o sócio é agora ligado a outras pessoas: os electrões têm aparecido noutros estados. Depende das circunstâncias poder dum modo vago, falar dum certo sócio indo de Dick a Tom depois de Tom a Harry, etc. Elas podem sugerir ou não esta vista, mas nunca duma maneira absoluta. Nisto a nossa comparação é perfeita, porque se dá o mesmo com um electrão. Além disso, é completamente apropriado considerar como flutuando o número de sócios. Na verdade, os electrões também são criados e aniquilados.

O exemplo pode parecer estranho e invertido. Pode-se pensar, «Porque não pode o povo ser os electrões e vários clubes os seus estados? Que seria muito mais natural». O fisico lastima, mas não pode obrigar. E é este justamente o ponto dominante: o comportamento estatístico actual dos electrões não pode ser ilustrado por qualquer comparação que os represente como coisas identificáveis. E esta a razão porque se segue do seu comportamento estatístico actual que eles não são coisas identificáveis

O modelo (b), ilustrando a estatística Einstein-Bose, é competente, interalia, para os quanta de luz (fotões). Ele dificilmente suporta discussão. Não nos impressiona como tão estranho pela grande razão de que inclui a luz, i. e., energia electromagnética; e a energia, nos tempos prequânticos, tinha sido sempre considerada, sobretudo como a nossa comparação a representa, como tendo quantidade, mas não individualidade.

11. Noção restrita de identidade

A questão mais delicada é a do estado, por exemplo, dum electrão. Na verdade eles devem ser definidos não classicamente, mas à luz da relação de incerteza. O tratamento rigoroso referido no fim

do parágrafo 6 não é realmente baseado na noção de « estado dum electrão » mas na de « estado do conjunto de electrões ». Têm de ser encarados juntamente como se fosse toda a lista dos membros do clube ou antes várias listas de sócios, correspondendo a várias espécies de partículas que vão compor o sistema físico em consideração. Menciono isto, não para entrar em detalhes acerca dele, mas porque, rigorosamente, o símile clube tem dois defeitos. Primeiro, os estados possíveis dum electrão (que temos comparado às pessoas elegíveis para sócios) não são absolutamente definidos: dependem do arranjo da experiência — real ou imaginária. Dado este arranjo, os estados são indivíduos bem definidos, que os electrões não são. Eles formam também — e é esta a segunda falta da comparação — um conjunto bem ordenado. Isto é, há uma significação em falar em estados vizinhos como contrária aos mais afastados uns dos outros. Além disso, creio ser verdade dizer que esta ordem pode ser concebida, de tal maneira que, como regra, se um estado ocupado cessa de o ser torna-se ocupado um estado vizinho.

Isto explica que, em circunstâncias favoráveis, possam produzir-se longas séries de estados sucessivamente ocupados, semelhantes aos referidos nos parágrafos 7 e 8. Uma tal série dá a impressão dum indivíduo identificável, justamente como no caso de qualquer objecto do nosso ambiente diário. É deste modo que devemos considerar os traços na câmara de vapor ou numa emulsão fotográfica, e as descargas « praticamente » simultâneas de contadores Geiger alinhados, e que dizemos serem causadas pela mesma partícula atravessando um contador depois do outro. Em tais casos seria extremamente inconveniente abandonar esta terminologia. Na verdade, não há razão para isso, contanto que estejamos prevenidos, em bases experimentais sensatas, de que a identidade duma partícula não é um conceito absoluto. Tem somente uma significação restrita e desaparece completamente nalguns casos.

São óbvias as circunstâncias em que esta identidade restrita se manifestará: nomeadamente, quando são ocupados somente poucos estados na região do estado múltiplo de que tratamos, ou, por outras palavras, quando os estados ocupados não são muito impelidos para esta região, ou quando a ocupação é um acontecimento raro — os termos « pouco », « impellido », e « raro » referem-se todos ao estado

múltiplo. Doutro modo, as séries intermeiam-se inextricavelmente e revelam a verdadeira situação. No último parágrafo formularemos a condição quantitativa para prevalecer a individualidade restrita. Agora perguntamos o que sucede quando ela é obliterada.

12. Amontoado e aspecto onda

Adquire-se a impressão de que, à medida que a individualidade das partículas se apaga pela acumulação, o aspecto partícula torna-se cada vez menos conveniente e tem de ser substituído pelo aspecto onda. Por exemplo, na camada electrónica dum átomo ou molécula, sendo ocupados por electrões quase todos os estados dentro duma certa região, a acumulação é extrema. O mesmo sucede com os chamados electrões livres dentro dum metal. Na verdade, nos dois casos o aspecto partícula se torna inteiramente insuficiente. Por outro lado, num gás ordinário as moléculas são extremamente raras na larga região dos estados em que elas se difundem. Não é ocupado mais dum estado pouco mais ou menos em 10.000. E, na verdade, a teoria dos gases, baseada no aspecto partícula, atingiu grande perfeição muito antes de ser descoberta a natureza onda da matéria ordinária. (Na última nota eu falei das moléculas como se fossem as últimas partículas; isto é legítimo sempre que se trata do seu movimento de translação).

É tentador atribuir aos dois rivais, o aspecto partícula e o aspecto onda, capacidade completa respectivamente nos casos limites de extrema «rarefacção» e extrema «condensação». Isto separaria-os, como se faltasse unicamente alguma espécie de transição para a região intermediária. Esta ideia não é inteiramente má, mas também está longe de ser correcta. Pode-se lembrar os modelos de interferência referidos no parágrafo 2, pondo em evidência a natureza onda do electrão. Podem ser obtidos com um feixe arbitrariamente fraco de raios catódicos, contanto que a exposição seja prolongada. Assim se produz um fenómeno típico de onda, independente da condensação. Um outro exemplo é este. Uma investigação teórica competente da colisão de duas partículas, da mesma ou de diferente espécie, tem de tomar conta da sua natureza onda. Os resultados são devidamente

aplicados às colisões das partículas dos raios cósmicos com os núcleos atômicos da atmosfera, sendo ambos extremamente rarefeitos no verdadeiro sentido da palavra. Mas talvez isto seja trivial; significa somente que mesmo uma partícula isolada, que nos dá a ilusão de individualidade transitória, não deve ser comparada a uma partícula clássica. Fica sujeita à relação de incerteza, da que a única imagem tolerável é o grupo de ondas guia.

13. A condição para o aspecto partícula

A condição quantitativa para as séries a desenvolver que dissimulam os indivíduos e sugerem o aspecto partícula é a seguinte: o produto do momento p pela distância média l entre partículas vizinhas deve ser muito grande comparado com a constante h de Planck ⁽¹⁾; assim

$$pl \gg h.$$

(O momento p — e não a velocidade — é aquilo que realmente deveríamos ter referido quando, nos parágrafos 4 e 5, tratamos da relação de incerteza; p é simplesmente o produto da massa pela velocidade, a não ser que a última seja comparável à da luz).

Um grande l significa baixa densidade no espaço ordinário. Todavia o que importa é a densidade numa multidão de estados — ou espaço fásico para usar o termo técnico. É por isto que aparece o momento p . Apraz-nos lembrar que estas séries muito óbvias — traços visíveis na câmara de vapor ou na emulsão fotográfica, e descargas simultâneas de contadores alinhados — são todas produzidas por partículas com momento relativamente muito grande.

A relação acima é familiar na teoria dos gases, onde exprime a condição que deve ser satisfeita em muito boa aproximação para que a velha teoria clássica das partículas dos gases se aplique em muito boa aproximação. Esta teoria tem de ser modificada, segundo a teoria *quântica*, quando a temperatura é muito baixa e a densi-

(1) A. Barreiro: Química-Física — Vol. II — pág. 125.

dade muito alta, de modo que o produto pl não é muito grande comparado com h . Esta modificação é chamada a teoria dos gases degenerados, cuja aplicação mais famosa é, por A. Sommerfeld, aos electrões dentro dum metal; nós já os mencionámos como um exemplo de extrema acumulação.

Há a seguinte conexão entre a nossa relação e a relação de incerteza. A última permite distinguir em qualquer momento uma partícula das vizinhas, localizando-a com um erro consideravelmente menor que a distância média l . Mas isto transmite uma incerteza a p . Por causa disso, quando a partícula se move, aumenta a incerteza da situação. Se se pergunta se ela ainda fica muito abaixo de l depois da partícula ter percorrido a distância l , chega-se precisamente à relação anterior.

Mas devo de novo precaver contra uma concepção errada que as considerações precedentes podem sugerir, a saber, que a acumulação nos impede apenas de registar a identidade duma partícula, e de tomar uma partícula por outra. O caso é que elas não são indivíduos que possam ser confundidos ou tomados um pelo outro. Tais observações não tem sentido.

REFERÊNCIAS

1. MACH, ERNST.
1905. Erkenntnis und Irrtum. Leipzig.
 2. RUSSELL, BERTRAND.
1948. Human knowledge, its scope and limits. London.
 3. DIELS, HERMANN.
1903. Die Fragmente der Vorsokratiker. Berlin. (The reference is mainly to the fragment 125 of Democritus).
- N. T. — L. BRILLOUIN.
1930. *Les Statistiques Quantiques* et leur application aux electrons libres dans les Metaux.

À MEMÓRIA DE ENRICO FERMI ⁽¹⁾ (1901-1954)

POR

Prof. Dr. Carlos Braga

Ao evocar aqui a vida e a obra do Prof. Enrico Fermi, recentemente falecido, pretendo não só homenagear o grande sábio, cientista teórico e hábil experimentador, considerado um dos principais fundadores da física contemporânea e um dos mais notáveis precursores da era atômica mas também o grande professor que nos legou livros em que se evidenciam as suas invulgares qualidades pedagógicas.

Numa época em que parece que a hegemonia no estudo das ciências exactas passou para os povos de origens saxónica ou germânica, é-me grato verificar que na Itália de hoje se encontram ainda dignos sucessores de Galileu, Torricelli, Volta e Marconi como Enrico Fermi e tantos dos seus colaboradores D'Agostino, Almadi, Rasetti, Pontecorvo e Segré.

São de *Sir Henry Dale*, presidente da Royal Society, as seguintes palavras:

«Professor Fermi's work is characterized throughout by profound insight and great experimental skill. In the fields which he has made his own he is universally acclaimed a leader».

Por sua vez o Professor de Universidade de Columbia, George Pegram, escreveu:

(1) Conferência realizada a convite da S. P. Q. F. na Faculdade C. do P. em 20/12/954 com a assistência dos Senhores Cônsules dos U. S. A. e de Itália no Porto.

«Very direct and clear in this thought and speech, sincere but not too serious using few unnecessary words, he is recognised as an outstanding teacher. In experimental work also he achieves the direct and simple approach and in his discoveries he exemplifies well the fact that only the clearest mind can for the first time do the things that immediately there after are so simple and obvious for any one».

Em 29 de Agosto de 1901 nasce, em Roma, Enrico Fermi, filho de Alberto e de Ida Fermi. Dotado duma memória prodigiosa ao serviço duma inteligência penetrante, adquire dos 13 aos 17 anos, orientado por um seu amigo, engenheiro Adolfo Amidei, uma preparação matemática normal num jovem de 23. Digámos, aos 17 anos tinha a bagagem matemática suficiente para um doutoramento em física teórica, e foi com esta bagagem que ingressou, em 1918, como bolseiro, na Escola Normal Superior da Universidade de Pisa, onde se doutorou em 4 de Julho de 1922. Graduado em 1922, foi para Göttingen em cuja Universidade prosseguiu os estudos, onde se dedicou especialmente ao estudo da «teoria dos quanta» como discípulo dum dos fundadores da mesma teoria Paulo Ehrenfest e do famoso matemático Max Born, Prémio Nobel 1954, e condiscípulo do, mais tarde célebre, Werner Heisenberg, Prémio Nobel 1932. Frequenta em seguida a Universidade de Roma tendo estado algum tempo na Universidade de Leyde, em 1923. Na primavera de 1923 trava conhecimento em Roma com uma jovem de 16 anos, de nome Laura Capone de raça judia, com quem casaria em 19 de Julho de 1928.

É esta que, já após as suas bodas de prata, o descreve no seu livro «Atoms in the Family», recentemente publicado, como sendo então um jovem de pernas curtas, ombros arqueados e pescoço estendido para a frente que, durante a lua de mel, tenta interessá-la pela Física expondo-lhe as equações de Maxwell e os seus conhecimentos sobre quanta e nucleões.

Em 1924 foi Fermi nomeado leitor da Universidade de Florença e foi de 1924 a 1926 que deu a sua primeira contribuição importante para a Física teórica, chegando a resultados que foram também obtidos independentemente por Dirac e hoje conhecidos por

Estatística de Fermi-Dirac. — Tornando extensivo às molé-

culas dum gás o princípio de exclusão, enunciado por Pauli, em 1925, de que num átomo não podem existir dois electrões no mesmo estado quântico, formulou Fermi a teoria estatística que regula o comportamento do gás electrónico nos metais e à qual obedecem todas as partículas elementares fundamentais e também todos os núcleos de número de massa ímpar. Pelo contrário, como é sabido, os fotões e os núcleos de número de massa par, seguem a estatística de Bose-Einstein segundo a qual, duas ou mais partículas, se podem encontrar num mesmo estado quântico.

As primeiras teorias electrónicas dos metais, de Dirac e de Lorentz, utilizando a estatística clássica, de Maxwell e Boltzmann, atribuíam a cada electrão a energia cinética média $\frac{3}{2} K T$. Como para explicar a condutividade se tornava necessário admitir a existência de um electrão livre por átomo, e como além dos três graus de liberdade correspondentes à translação tem os iões, que constituem a rede cristalina do metal, outros três graus devidos às vibrações em torno das suas posições de equilíbrio, resultava para a capacidade calorífica do átomo-grama $\frac{9}{2} R$, ou seja, cerca de 9 calorias/grau; este resultado era inaceitável visto que os metais bons condutores obedecem à lei de Dulong e Petit, que nos diz ser o calor atómico cerca de 6 cal/grau.

Foi Sommerfeld quem, em 1928, aplicando, aos electrões livres dum metal, a estatística de Fermi-Dirac, modificou a teoria de Dirac mostrando que a contribuição dos electrões para o calor específico dos metais é desprezável e que a energia dos electrões, já considerável, na proximidade do zero absoluto, pouco aumenta com o aumento da temperatura.

O gás electrónico comporta-se como um gás degenerado, em que a pressão não é nula no zero absoluto.

Nas teorias modernas da condução os electrões ocupam uma certa banda de energia de que o nível máximo normal é o chamado «nível de Fermi».

Abaixo desse nível encontram-se outros níveis ocupados por electrões. Acima desse nível existem níveis de fuga que permitem explicar a condução metálica.

A existência das bandas cheias, das bandas de condutividade e de

espaços interditos permite compreender o comportamento dos isoladores e dos semi-condutores.

Uma ulterior prova de que é correcta a ideia da existência dum gás electrónico nos metais, obedecendo à estatística de Fermi-Dirac, é fornecida pelo fenómeno de emissão termo-iónica.

A teoria do efeito termo-iónico foi feita em 1902 por Richardson aplicando aos electrões a estatística clássica e modificada posteriormente por aplicação da estatística de Fermi-Dirac.

Embora a expressão a que chegou Richardson

$$\log_e i = \log_e A - \frac{E_c}{K T} - \frac{1}{2} \log_e T \text{ só difira da fórmula de}$$

Dushman $\log_e i = \log_e B - \frac{W_c}{K T} + 2 \log_e T$ a que conduz a aplicação da estatística de Fermi-Dirac no valor das constantes e do coeficiente do termo $\log_e T$, é esta fórmula que é correcta, uma e outra conduzindo a valores sensivelmente concordantes com os resultados experimentais.

Aos 26 anos Enrico Fermi é nomeado professor de Física Teórica da Universidade de Roma e em 1928, ano do seu casamento, publica o seu livro «Introduzione alla Física atómica». Em Março de 1929 entra para a Academia de Itália. Data de 1934 a sua explicação da emissão $\bar{\nu}$ pela

Hipótese do neutrino. — É sabido que a descoberta da radioactividade por Becquerel, em 1896, foi seguida dos trabalhos de Madame Curie e de seu marido Pierre Curie, ainda no final do século XIX, levando à descoberta das três grandes famílias radioactivas naturais e à explicação da emissão de radiações α , β e γ pela teoria de Rutherford e Soddy. Imediatamente após a emissão duma partícula α ou $\bar{\nu}$, um átomo pode ficar num estado excitado mas, se tal acontece, num intervalo de tempo muito curto passa a um estado estável, de menor energia, emitindo uma radiação γ cuja energia é igual à diferença de energia do átomo nos 2 estados. Há portanto conservação da energia na emissão γ .

No caso da emissão α é fácil também verificar que o princípio da conservação ainda é respeitado, mesmo quando se verifique a existência da emissão de partículas α de diferente percurso. Assim, por ex., na transformação ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{218}\text{Rn}$, 98,8% dos átomos de rádio,

transmutam-se em radão, emitindo uma partícula α com uma energia de 4,878 MeV; porém uma pequena percentagem, os restantes 1,2%, transformam-se em duas etapas, por emissão duma partícula α de energia menor 4,694 MeV, seguida quase instantaneamente duma radiação γ , cuja energia 0,184 MeV, diferença das duas energias α , leva o átomo do estado excitado, em que ficara, ao estado estável que é atingido directamente pela partícula α de mais longo percurso.

Na emissão β as coisas passam-se dum modo diferente. O electrão emitido pelo núcleo e resultante da transformação dum neutrão em próton, pode ter uma energia variável de zero a um valor máximo, bem definido para um dada transmutação. Traçando o gráfico correspondente ao número de partículas emitidas em função da sua energia obtém-se um espectro β típico, espectro contínuo tendo um máximo para uma energia ligeiramente inferior a $\frac{1}{3} E_{\max}$.

Portanto 2 átomos iniciais idênticos podem transformar-se em 2 átomos finais idênticos por emissão de partículas β animadas de energias cinéticas muito diferentes, o que parece estar em contra-dição com o princípio da conservação da energia. Para que este seja respeitado, bem como o da conservação do momento angular e a obediência à estatística de Fermi-Dirac, admite-se hoje que, simultaneamente com a partícula β , é emitida uma partícula hipotética, sem carga eléctrica, o neutrino, de massa em repouso nula, de spin $\frac{1}{2}$ e obedecendo também à mesma estatística.

A soma das energias cinéticas da partícula β e do neutrino emitidas numa dada desintegração seria sempre a mesma e equivalente à perda de massa na transmutação.

Embora a ideia, de conciliar assim o fenómeno de emissão dum espectro β contínuo com o princípio da conservação da energia, tenha sido apresentado inicialmente por Pauli num Seminário de Física Teórica na Universidade de Michigan, no verão de 1931, não há dúvida de que foi Enrico Fermi quem, em 1934, desenvolveu esta teoria e deu à partícula hipotética o nome de neutrino [Zeits. f. Physik 88, 161 (1934)].

Aplicando os métodos da mecânica ondulatória à hipótese do neutrino, Fermi conseguiu estabelecer uma equação dando a probabilidade da emissão duma partícula β duma dada energia.

Numa determinada desintegração β a energia reparte-se entre o electrão e o neutrino; embora todas as repartições sejam possíveis e, em particular, possa essa energia ser cedida integralmente a uma qualquer delas, a verdade é que não são igualmente prováveis. O cálculo mostra que, para se obter a curva experimental dando a repartição dos electrões em função da sua energia, curva que é tangente ao eixo das energias para E_{\max} se torna necessário atribuir ao neutrino uma massa, em repouso, nula.

Em 1936, Kurie, Richardson, e Paxton, nos Estados Unidos mostraram que a equação de probabilidade de Fermi se poderia dar a forma $K \left(\frac{N}{f} \right)^{1/2} = C - (E + 1)$ em que N é o número de partículas β com uma dada energia E , K e C constantes e f uma função complexa da energia. De acordo com esta equação é possível construir um gráfico, conhecido na literatura científica por gráfico de Kurie, a que alguns chamam gráfico de Fermi, pondo, em abcissas, $E + 1$ e, em ordenadas, $\left(\frac{N}{f} \right)^{1/2}$. Excepto para as energias muito pequenas, os valores obtidos, experimentalmente, com elementos radioactivos artificiais de pequeno peso atómico, dispõem-se sobre uma linha recta, o que vem confirmar a teoria de Fermi. Esta teoria permite ainda interpretar teóricamente as curvas de Sargent que relacionam as constantes de desintegração dos emissores β com a energia E_{\max} das partículas β emitidas. A equação a que se chega $\lambda = K E_{\max}^5$ mostra que $\log \lambda$ varia proporcionalmente a $\log E_{\max}$.

Uma generalização da teoria de Fermi para a emissão β^+ , segundo a transmutação $p \rightarrow n + \beta^+ + \nu'$ permite explicar a transformação prótio-neutrão pela emissão simultânea dum positrão e dum anti-neutrino.

Compreende-se contudo que, para alguns físicos, a hipótese do neutrino fosse considerada, como no século passado a hipótese do éter, um mal necessário, cómoda à falta de melhor e que procurassem uma verificação experimental, embora reconhecendo de antemão a dificuldade dessa verificação por se tratar duma partícula neutra e de massa insignificante em relação à do electrão.

Parece que finalmente, após vinte anos de esforços de tantos cientistas, foram coroadas de êxito as experiências realizadas este

ano por dois físicos do Centro Americano de Los Alamos, Reines e Cowan. Estes, em vez de considerar a desintegração $n \rightarrow p + \beta^- + \nu$, tiveram a ideia de estudar a reacção $\nu + p \rightarrow n + \beta^+$ de captura dum neutrino por um protão. Esta reacção tem um rendimento extremamente pequeno, 10^{-20} vezes menos do que o da captura de neutrões. Atendendo porém a que nos grandes reactores de Hanford, cuja potência é de 1 GW, ou seja, de um milhão de quilowatts, o fluxo de neutrinos provenientes das diversas desintegrações β é considerável, calcularam ser possível observar aquela reacção, todos os cinco minutos, graças às cintilações produzidas sucessivamente pelo electrão positivo e pelo neutrão num grande contador líquido (tolueno) com $0,33 \text{ m}^3$ de capacidade ligado a um circuito de coincidências diferidas. A medida extremamente delicada foi feita por diferença entre o número de impulsos obtidos com o reactor em marcha e parado, neste último caso o efeito sendo principalmente devido à radiação cósmica e aos neutrinos provenientes do Sol. A diferença encontrada $0,41 \pm 0,20$ foi atribuída aos neutrinos emitidos pelo reactor, o número de impulsos por minuto sendo respectivamente $2,55 \pm 0,15$ e $2,14 \pm 0,13$ num e no outro casos.

Radioactividade artificial. — Baseado nas descobertas da radioactividade artificial por I. Curie e F. Joliot e do neutrão por J. Chadwick, Enrico Fermi pensou que os neutrões, devido à falta de carga, deveriam poder atravessar facilmente os núcleos, especialmente os de número atómico elevado que repelem enèrgicamente os protões e as partículas α . Pôde verificar esta sua previsão quase imediatamente e mostrar que os átomos bombardeados capturavam o neutrão transformando-se em elementos radioactivos, emissores β . De 1934 a 1938, Fermi e os seus colaboradores da Escola de Roma conseguiram obter cerca de 40 elementos radioactivos artificiais a partir de 60 elementos que bombardearam com neutrões.

No decurso dos seus trabalhos Fermi e os seus colaboradores notaram que as reacções se tornavam muito mais eficazes quando os neutrões passavam, antes de atingir o alvo, através da água ou da parafina.

Este facto, particularmente importante, foi atribuído à moderação da velocidade dos neutrões por choque com protões na sua passagem através de substâncias ricas em hidrogénio. A descoberta

da transmutação por neutrões lentos é historicamente significativa porque conduziu à realização da cisão do núcleo e, consequentemente, à possibilidade prática da utilização da energia nuclear.

Os elementos transuranianos. — Visto que os isótopos dos elementos, obtidos a partir destes por captura do neutrão, eram instáveis e se tornavam estáveis por emissão dum electrão, o núcleo estável final deveria ter números atómico e de massa, superiores de uma unidade, aos do núcleo bombardeado.

Fermi e os seus colaboradores foram levados a suspeitar que dois dos elementos radioactivos artificiais que obtiveram, em 1934, bombardeando o urânio $^{238}_{92}U$ por neutrões lentos, eram elementos resultantes de duas desintegrações β sucessivas do isótopo $^{235}_{92}U$ de números atómicos 93 e 94. O urânio deixava de ser o último elemento da classificação periódica de Mendeleief, se se provasse a existência desses elementos transuranianos. Os primeiros físicos a discordar dessa formação foram Irene Curie e P. Savitch. Em Janeiro de 1939, Otto Hahn e F. Strassmann, são levados a concluir que os elementos obtidos, no bombardeamento do urânio por neutrões, são elementos relativamente leves como o Ba e o Kr, resultantes dum novo tipo de reacção nuclear, a cisão. Foi esta a interpretação proposta não só pelos experimentadores citados como também por Lise Meitner e Frisch, ambos alemães, refugiados em Copenhague e por Joliot, Thibaud e Moussa, em França.

Assim parece que só em 1940 foram obtidos e identificados os dois primeiros transuranianos, o neptúnio e o plutónio, de números atómicos 93 e 94, por Mac Milan e Seaborg em Berkeley, Estados Unidos. De então para cá foram sucessivamente fabricados vários isótopos dos elementos 95-amerício, 96-curio, 97-berkélio e 98-califórnia; finalmente em Janeiro de 1951 foi anunciada a obtenção dos elementos 99-einsteinio e 100-férmio; o elemento 101 será designado mendeleiéfio.

Deixemos por um momento a Física e voltemos à juventude e aos primeiros dez anos de casado de Fermi para encarar a sua personalidade sob outro aspecto.

Diz sua mulher: Quando, em Março de 1929, Enrico foi nomeado para a Academia de Itália, todos nos alegramos imenso. Enrico tinha apenas 27 anos e era, de longe, o mais jovem dos

acadêmicos. Não que Enrico se preocupasse com honorarias, entenda-se; era o primeiro a esquivar-se pois não lhe agradava a ideia de andar em evidência. Queria viver em paz e trabalhar. Mas o estipêndio que acompanhava o título de acadêmico era um elemento provável para... «viver em paz».

Enrico apreciava o dinheiro no seu justo valor, isto é, no poder que tem para satisfazer as necessidades, aliviar os sofrimentos e proporcionar tranquilidade e segurança. Todavia não procurava o dinheiro, dizendo que este mostra sempre tendência para se encaimhar para os bolsos de quem não o procura.

Enrico Fermi cuja fama como professor e como investigador ia crescendo não deixa, ao lado da cultura científica que constitui a razão principal da sua celebridade, de ser uma pessoa que se preocupa também com a cultura física praticando a natação, o ténis, o ski e o alpinismo.

Do livro de Laura Fermi ressalta a impressão de ser Fermi simultaneamente sério e alegre, capaz tanto de profundas abstrações como dotado de grande senso prático. Modesto quando se trata das suas maiores realizações (as suas descobertas em física), vaidoso em coisas de menos importância (as suas proezas em ski ou natação, a sua resistência física como alpinista).

Estimado por alunos e colegas estes dão-lhe o significativo epíteto de «Papa» o que mostra ser sempre «primeiro inter-pares».

Nas reuniões que se realizam em sua casa com colegas e os seus mais íntimos colaboradores a conversa toma por vezes uma tal animação que a criada julga que estão todos embriagados. Estamos em Novembro de 1938.

O Prémio Nobel e a ida para a América. — A Itália de então é a Itália fascista, onde o anti-semitismo de Hitler depois de ultrapassar os Alpes leva Mussolini a publicar uma série de decretos privando os judeus dos direitos de cidadão, da obtenção de passaportes, etc.

Fermi pensa seriamente em abandonar a Itália por causa de sua Mulher. O Prémio Nobel que lhe é concedido pelos seus trabalhos sobre reacções nucleares provocadas por neutrões, torna possível a sua saída da Itália. Acompanhado por sua mulher e dois filhos Nella e Ginglio dirige-se para Estocolmo em Dezembro de 1938

para receber o prémio mas daí, em vez de regressar a Itália, segue, com a família, para os Estados Unidos onde tomou posse do lugar de professor de Física na Universidade de Colúmbia.

É no ano de 1938 que é publicado em Londres o seu livro «Thermodynamics», exposição das lições na Univ. de Colúmbia, N. Y, no verão de 1936. Dos seus trabalhos na América que culminaram na entrada ao serviço do primeiro reactor nuclear e no lançamento da primeira bomba atómica sobre Hiroshima pouco poderei acrescentar ao que se lê no relatório Smyth.

Descoberta da cisão do urânio. — Em 16 de Fevereiro de 1939, Niels Bohr veio de Copenhague para passar alguns meses nos Estados Unidos em Princeton, ansioso por discutir alguns problemas abstractos com Einstein. Justamente pouco antes da sua partida da Dinamarca O. Frische e L. Meitner informaram Niels Bohr da sua ideia de que a absorção dum neutrão por um núcleo de urânio podia ser a causa da cisão do núcleo em dois fragmentos aproximadamente iguais, acompanhada duma libertação enorme de energia.

Logo que chegou aos Estados Unidos, Bohr comunicou esta ideia ao seu antigo aluno Wheeler e a outras pessoas de Princeton. Estes por sua vez espalharam a notícia que chegou à Univ. de Colúmbia e portanto a Fermi. Em 26 de Fevereiro realizava-se em Washington uma conferência de física teórica. Fermi deixou Nova Iorque para assistir a esta conferência e antes do fim desta soube que Dunning e Pegram, seus colegas da Universidade de Colúmbia, tinham conseguido confirmar experimentalmente a cisão do urânio. Bohr e Fermi discutiram, durante a conferência, o problema da cisão e Fermi mencionou então a possibilidade de serem emitidos neutrões durante o processo, tornando possível entrever uma reacção em cadeia.

O problema da moderação. — Para a manutenção da reacção em cadeia tornava-se necessário moderar a velocidade dos neutrões resultantes da cisão. Na escolha dum moderador importa procurar um elemento leve que não apresente uma grande afinidade para os neutrões. Se se trata de os absorver, o hidrogénio está naturalmente indicado mas, para os moderar, o H, o Li e o B não convêm, precisamente por ser grande a sua secção eficaz de absorção. O He é um gás e torna-se difícil pô-lo em contacto com o elemento cindível, U, Th ou Pu. Restam o D, o Be e o C. Não havendo nos Estados

Unidos água pesada nem berílio em quantidade suficiente e estando bastante desenvolvida a indústria da grafite, Fermi e Szilard sugeriram o emprego desta nas experiências subseqüentes.

Ao serviço da nação americana. — Em Março de 1939 numa conferência com representantes do Departamento da Marinha, Fermi foi o primeiro a sugerir a possibilidade de conseguir uma reacção nuclear controlada empregando neutrões lentos ou uma reacção explosiva com neutrões rápidos. A Marinha mostrou-se interessada e pediu para ser informada de tempos a tempos. A tentativa seguinte para interessar o Governo no problema da reacção em cadeia foi provocada por Szilard e Wigner que em Julho tinham uma conferência com A. Einstein e Alex. Sachs. Finalmente no outono de 1939 o Presidente Roosevelt constituía o «Comité consultivo do urânio» no qual Fermi começou a participar em 28 de Abril de 1940.

A reacção em cadeia. — Em Junho de 1940, praticamente, todo o trabalho sobre a reacção em cadeia estava concentrado em Colúmbia, sob a direcção de Pegrarn, com Fermi e Szilard como associados imediatos. Para que uma reacção em cadeia se possa manter é evidentemente necessário que o número de neutrões produzidos num dado instante compense o número de neutrões perdidos por fuga ou absorção, por outras palavras, que o factor da multiplicação k , razão do número de neutrões numa geração para o número de neutrões da geração anterior seja igual ou ligeiramente superior à unidade.

Vários métodos foram sugeridos para o cálculo do factor k mas um dos mais precisos foi o proposto por Fermi e desenvolvido por ele próprio e por Wigner.

Sendo o fenómeno da fuga dos neutrões para o exterior dum dada massa um fenómeno que depende da grandeza e da forma da superficie externa enquanto que os processos de criação e absorção de neutrões são fenómenos que dependem do volume, verifica-se imediatamente que se pode minimizar o primeiro em face dos outros aumentando as dimensões. Fermi, na teoria das pilhas, divide o problema em duas partes; o primeiro problema é o cálculo de k_{∞} , isto é, da constante de multiplicação num meio infinito; o segundo problema é o cálculo do tamanho crítico que não depende da estru-

tura interna da unidade em que se dá a reacção em cadeia mas sòmente do seu tamanho e formato.

Consideremos uma pilha constituída por urânio natural e um moderador, em funcionamento. Um núcleo de $U\ 235$ absorvendo um neutrão térmico cinde-se e emite η neutrões, mas nem todos estes neutrões ($\eta \simeq 2,5$) atingirão o estado térmico. Seja p a probabilidade de escape à absorção, do neutrão, antes de atingir o estado térmico; então será ηp o número de neutrões que atingem este estado. Designa-se habitualmente por f , a chamada «utilização térmica», isto é, a fracção de todos os neutrões que atingem o estado térmico que são, por sua vez, capturados por átomos cindíveis; nestas condições será $\eta f p$ o número de neutrões que contribuem para a manutenção da reacção em cadeia. Mas é preciso ter em consideração que os neutrões rápidos, imediatamente após a sua criação por cisão, são capazes de cindir os núcleos de $U\ 238$, gerando deste modo outros neutrões rápidos, o que equivale, em suma, a multiplicar o número η de neutrões rápidos iniciais por um factor $\varepsilon \simeq 1,03$, segundo Fermi.

Tendo em conta estes diversos factores, o k_∞ da pilha, isto é, o seu factor de multiplicação no caso da pilha ter dimensões infinitas e em que não haja portanto a considerar fugas pela superfície exterior, será dado pela relação $k_\infty = \varepsilon p f \eta$.

Se for $k_\infty < 1$ a pilha não poderá funcionar em regime permanente.

Se for $k_\infty > 1$, poder-se-á conceber uma pilha finita tal que $k_{ef} = 1$, a diferença $k_\infty - k_{ef}$ correspondendo à fuga dos neutrões pela superfície externa. Sendo a a dimensão da pilha, por exemplo, o comprimento de uma aresta numa pilha cúbica «dimensão crítica», a pilha funcionará a potência constante.

Uma forma de reduzir a dimensão crítica está na utilização do «albedo», isto é, do poder reflector do invólucro do núcleo reactor, em geral de grafite.

Seja t o seu valor. Se fosse $t = 1$, isto é, se as paredes do invólucro fossem perfeitamente reflectoras, ter-se-ia $k_{ef} = k_\infty$ quaisquer que fossem as dimensões da pilha. Na prática, porém, t é inferior à unidade embora não desprezável. Demonstra-se que $\frac{d'}{a} = 1 - t$

e, portanto, que com $t = 0,15$ é possível reduzir de 15 % as dimensões críticas da pilha.

Pelo contrário, os dispositivos de regulação e de refrigeração da pilha dando lugar a uma certa absorção de neutrões acarretam uma diminuição de k_{ef} e um aumento das dimensões críticas.

Em 15 de Junho de 1940 um grupo de especialistas entre os quais Briggs, Urey, Tuve, Wigner, Breit, Fermi, Szilard e Pegrarn insistiam sobre a necessidade de obter fundos que permitissem intensificar as investigações nos 2 aspectos seguintes: medida das constantes de que depende o valor de k e experiências com misturas de urânio e grafite correspondente a cerca de $1/4$ ou $1/5$ do que se calculava como mínimo necessário para conseguir a reacção em cadeia.

Em Novembro de 1940 firma-se o 1.º contrato com a Universidade de Colúmbia para que se ocupe desses 2 aspectos do problema. O «Comité do urânio» que o Presidente Roosevelt tinha reconstituído no outono de 1940 é remodelado, em bases mais largas, no verão de 1941 sendo Fermi nomeado presidente da subsecção dos aspectos teóricos da produção de energia e de água pesada, de que os vogais foram Breit, Eckart, Smyth, Szilard e Wheeler.

As primeiras pilhas experimentais. — A primeira pilha de urânio e grafite foi construída em Julho de 1941, sob a direcção de Fermi, na Universidade de Colúmbia. Tratava-se dum cubo de grafite, com 8 pés de aresta, contendo cerca de 7 toneladas de óxido de urânio, disposto em tubos de ferro, regularmente espaçados, no fundo do qual se encontrava uma fonte de neutrões, de Ra-Be.

Aparelhos apropriados permitiam medir o fluxo neutrónico em vários pontos da pilha, com ou sem urânio, de modo a calcular o factor de multiplicação. Em Setembro de 1941 foi construída uma pilha semelhante, embora maior, com a qual se obteve um factor $k = 0,87$.

Em Janeiro de 1942 Compton decidiu concentrar todos os trabalhos pelos quais era responsável na Universidade de Chicago.

Laura Fermi nada sabe do que se passa; verifica simplesmente que o trabalho de seu marido se rodeia, cada vez mais, de maior mistério.

Enrico Fermi estagia em Chicago temporadas cada vez mais longas sem dizer os motivos que ali o levam.

Na primavera de 1942 Compton decide a vinda para Chicago do grupo de cientistas que trabalham sob a direcção de Fermi, assim como os de Princeton, constituindo sob a sua direcção um laboratório que foi designado por «Laboratório Metalúrgico» que na realidade se destinava a estudar a possibilidade de realização duma bomba atómica, quer com U 235 quer com o Pu, e a dum reactor nuclear com urânio natural.

Dum modo geral o grupo de fisicos dirigidos por Fermi ocupava-se do problema experimental da reacção em cadeia.

O emprego de materiais sucessivamente mais puros permitiram atingir um valor de $k = 0,98$ em Maio de 1942, e na 9.ª pilha experimental conseguiu-se pela 1.ª vez em Julho de 1942 um valor de k superior à unidade $k = 1,007$.

Finalmente, em 2 de Dezembro de 1942, data que pode ser considerada como o início da era atómica, entra ao serviço em West Stands, Chicago, o primeiro reactor nuclear que recebeu a designação de C. P. 1.

Esse reactor tinha a forma dum esferóide achatado, com um volume de 180 m^3 , sendo o combustível 5,6 toneladas de urânio e 2 toneladas de UO_2 , o urânio metálico existente na altura, sendo insuficiente para completar a estrutura. Este reactor foi desmontado sendo o material aproveitado na construção do 2.º reactor de Chicago, o C. P. 2, que entrou ao serviço no verão de 1943.

Segundo Fermi, o C. P. 1 podia trabalhar indefinidamente a uma potência de 2 kW porque, neste regime, o consumo de U 235 era apenas de 2 mg por dia. Por curtos períodos a sua potência podia ultrapassar 100 kW mas a falta de refrigeração e de protecção obrigavam naturalmente a trabalhar com uma potência média continua bastante inferior.

O navegador italiano chegou ao Novo Mundo. — A revista americana «Time» no seu n.º de 6 de Dezembro de 1954, refere-se ao falecimento de Fermi num artigo que intitula «a morte do navegador» e em que descreve o que se passou no dia histórico de 2 de Dezembro de 1942, nos seguintes termos:

«A pilha estava pronta a funcionar. Os observadores presentes

sabiam que do êxito desta experiência, dependia o da bomba de plutónio e talvez o resultado da 2.^a Guerra Mundial. Calma e cautelosamente, Fermi deu as ordens necessárias. Polegada a polegada, uma vara de regulação, absorvedora de neutrões, vai sendo retirada do reactor. Os instrumentos que indicam o comportamento deste, começam a ouvir-se mais fortemente. Fermi não se precipita. Às 11 h. 35 min., diz: «Vamos almoçar» e o reactor deixa de trabalhar. Após um almoço sem precipitações, Fermi torna a juntar o seu grupo. As varas de regulação são retiradas; os instrumentos ouvem-se eada vez mais; o regime de funcionamento aproxima-se do nível crítico.

Às 3 h. 25 min. da tarde a pilha torna-se crítica, isto é, tinha-se escorvado a reacção em cadeia. Na pilha tudo estava silencioso e parado mas os físicos sabiam que dentro se estava realizando um novo tipo de combustão. O físico Artur Compton para dar telefonicamente conhecimento ao Presidente da Comissão de Investigação da Defesa Nacional do êxito obtido serve-se das seguintes palavras em cifra previamente combinada: «O navegador italiano chegou ao Novo Mundo». Nessa noite Laura Fermi deu uma recepção em sua casa a uma multidão de «metalúrgicos». Cada convidado que chegava ia cumprimentar o seu marido mas não dizia porquê. Por fim um segredou: «Ele meteu no fundo um almirante japonês».

Em 1943 recebe Enrico Termi a Hughes Medal da Royal Society.

A produção de plutónio. — Tendo sido atingido o primeiro objectivo, a manutenção duma reacção em cadeia, o Laboratório Metalúrgico começou em Janeiro de 1943 a encarar o segundo objectivo, a extracção do plutónio dum reactor, o que levou à construção dos grandes reactores de Hanford, refrigerados pela água do rio Cólumbia por meio de bombas accionadas por energia eléctrica fornecida pela grande central hidroeléctrica do Vale do Tennessee e que entraram ao serviço em Julho de 1945, tendo-se iniciado a sua construção em Setembro de 1944.

A produção de bomba atómica. — Simultaneamente com a produção de plutónio foi instalado por razões de segurança em Los Alamos, no Novo México, na primavera de 1943, um Laboratório sob a direcção de Oppenheimer destinado a conceber e construir a

bomba atômica. Neste novo laboratório, o mais completo do mundo como laboratório de física nuclear, trabalhavam então os mais célebres homens de ciências que se encontravam nos E. U. A. entre os quais o sábio inglês J. Chadwick e o famoso dinamarquês Niels Bohr.

Em 1944 o casal Fermi deslocou-se para Los Alamos onde Fermi foi encarregado de dirigir a Divisão dos aperfeiçoamentos, uma das 7 divisões porque se repartia o pessoal científico sendo a Divisão de Física Técnica dirigida por H. Bethe.

Embora Laura Fermi tenha contactado com todos e os descreva numa forma pitoresca no seu livro, nunca ultrapassou a barreira de arame farpado que protegia a «área técnica» nem procurou saber o que seu marido e tantos outros ali estavam fazendo.

Na madrugada de 16 de Julho de 1945, ano em que Fermi se naturalizou cidadão americano, diante dum grupo de cientistas e de militares reunidos na base aérea de Alamogordo, nas terras desérticas do Novo México, realizava-se a experiência da explosão da 1.^a bomba de plutónio.

Smyth descreve assim o que se passou: À hora H, um clarão formidável iluminou toda a região melhor do que em pleno dia. Uma cadeia de montanhas a 5 km do ponto de observação destacava-se no horizonte com um relevo feérico. Uma detonação prolongada e medonha e uma onda de choque que derrubou dois homens no abrigo colocado a mais de 10 km da torre de aço no cimo do qual tinha sido colocada a bomba, seguiram-se ao clarão. Imediatamente a seguir formou-se uma nuvem multicolor que se elevou a perto de 13 km. O ensaio tinha sido bem sucedido. A torre de aço volatilizou-se e no lugar onde se encontrava não havia mais do que uma imensa cratera. Para examinar a natureza da cratera, carros especialmente equipados conduziram lá observadores, entre os quais o Dr. Enrico Fermi, e do resumo das impressões do general Fawell destaco as seguintes palavras: O trabalho científico que parecia impossível tinha-se realizado. A cisão do núcleo não se encontrava já escondida nas fórmulas e nos sonhos dos físicos teóricos.

Todos pensávamos ter assistido ao nascimento duma nova era, a Era da Energia Atômica e sentíamos a nossa responsabilidade na utilização futura destas forças incríveis que acabavam de ser libertadas pela primeira vez na História.

Em 6 e 9 de Agosto eram lançadas 2 bombas atômicas sobre o Japão: uma de U 235 em Hiroshima e outra de Pu 239 em Nagasaki.

Churchill ao anunciar na Câmara dos Comuns em 6 de Agosto de 1944 o lançamento da bomba de Hiroshima referiu-se a Fermi dizendo:

«Foi o trabalho de Fermi de 1934 a 1938 que abriu o caminho para a bomba atômica».

No verão de 1945 Fermi é nomeado Prof. do Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago, onde apesar das honras que lhe foram prestadas, continuou sendo o homem de ciência modesto e estimado por colegas e estudantes que sempre foi.

Radiação cósmica. — Para terminar as breves referências que fiz à obra científica de Fermi, referir-me-ei apenas à sua contribuição para a explicação dos raios cósmicos. Estudos relativamente recentes da variação da intensidade da radiação cósmica com a latitude e a altitude bem como da assimetria este-oeste firmaram a opinião de que a radiação cósmica primária consiste essencialmente em protões de energia muito elevada. Em 1943 o cientista sueco Alfvén sugeriu a existência de campos magnéticos intensos entre as estrelas da Via Láctea, o que levou Fermi, em 1949, a sugerir que os protões da radiação cósmica adquirem a sua energia por repetidas interações com esses campos magnéticos. O principal óbice a esta teoria é o não explicar o aparecimento em películas fotográficas de trajectórias produzidas, a 30 km de altitude, por partículas pesadas que foram identificadas como sendo núcleos de hélio, lítio, carbono, azoto e oxigénio. O aparecimento de tais núcleos, como constituintes da radiação cósmica é talvez mais favorável à teoria de Millikan, Neher e Pickering segundo a qual as partículas cósmicas são devidas à desintegração de átomos pesados no espaço estelar.

Conclusão. — Muito mais se poderia acrescentar sobre a obra de Enrico Fermi e a sua influência na História da Humanidade.

O assunto não fica esgotado mas receio que o mesmo não tenha acontecido com a paciência dos que me escutam.

Nos tempos mitológicos Fermi poderia ter sido escolhido como Prometeu para personificar o génio humano, e alguns biógrafos chamam-lhe o Prometeu da era atômica.

Segundo a mitologia grega Prometeu roubou uma parcela do fogo celeste para dar vida ao Homem feito de argila

Fermi consegue apoderar-se da energia contida no núcleo e pô-la ao serviço da Humanidade.

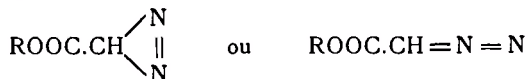
Mais do que ao Prometeu da tragédia de Eschylo que no-lo mostra espírito soberbo e orgulhoso, inflexível mesmo perante Hermes, enviado de Deus, o poderemos comparar ao Prometeu libertado, do drama de Shelley, símbolo da ambição humana em busca da Verdade.

Foi este o Homem que, vitimado por um cancro, faleceu em Chicago, no dia 28 de Novembro de 1954, numa idade em que muito ainda se poderia esperar do seu génio criador.

Informações

Réactions faites avec N¹⁵ pour établir la constitution de l'ester-diazo-acétique. — Résumé de la dissertation de Mile Ursula Lüthi (1954).

1.^o — On se propose de montrer si la structure de l'ester-diazo-acétique est cyclique ou aliphatique. Du glycolle est diazoté avec du nitrite marqué au N¹⁵, puis l'ester diazoacétique est scindé par réduction en ammoniac et glycine (1). Les analyses d'isotopes ne sont compatibles qu'avec la formule aliphatique.



2.^o — La répartition des isotopes atteint le 90 0/0 des chiffres calculés. La différence provient d'une augmentation de la concentration de N¹⁵ dans le glycolle et d'une diminution de celle-ci dans l'ammoniac, abaissement plus grand en valeur absolue que l'élévation dans la glycine.

3.^o — On recherche les causes de la différence entre les valeurs théoriques et celles obtenues. Les recherches donnent les conclusions suivantes:

a) Il est exclu que les dérivés de la réaction soient impurs.

b) Un échange entre l'hydrazine apparaissant au cours de la réduction et l'ammoniac n'existe pas. Il est improbable qu'un autre composé se présente lors de la réaction, avec lequel un échange pût avoir lieu.

c) Des changements dans le degré de purification de l'ester diazo-acétique restent sans effet sur la répartition trouvée des isotopes. Il s'en suit que l'ester en question était pur au point de vue chimique, mais non sous l'angle des isotopes.

d) L'isomère isotopique de l'ester diazo-acétique ROOC.CH = N¹⁵ = N doit provenir de réactions auxiliaires à la diazotation. Tous changements des conditions d'expérimentation capables d'influencer cette réaction auxiliaire

(1) Glycine = glicocolle.

dans un sens ou dans l'autre, n'ont aucun effet sur la repartition trouvée des isotopes. L'isomere isotopique doit donc provenir d'une reaction qui n'a pas encore été considerée.

e) Il est montré, que pendant la réaction il se forme de l'ammoniac dont l'azote provient de l'atome N directement lié au carbone. De ce fait, l'écart entre les valeurs attendues et obtenues de $N^{15}H_3$ prend une importance qualitative.

f) Les teneurs en isotopes de l'ammoniac et de l'hydrazine montrent une dispersion relativement grande. Comme la cause véritable de ces différences est inconnue, il ne faut pas considerer qu'elle reste constant dans les diverses experiences. C'est pourquoi on ne peut s'attendre à trouver une permanence des écarts.

g) Les teneurs en N^{15} de l'azote dans l'ester diazo-acétique concordent avec les valeurs théoriques, ce qui prouve que tout l'azote lourd introduit par le nitrite est utilisé pour la synthèse de l'ester.

h) L'azote lourd n'este pas introduit uniquement à l'extrémité de l'ester diazo-acétique. Il en résulte pour une faible part un marquage à l'atome C. Ainsi la diazotation aliphatique diffère fondamentalement de l'aromatique, dont le produit diazoté est nettement marqué à l'extrémité. (46, 47). Comme Clusius et Weiser (1952) l'ont montré, par diazotation de phenylhydrazine il se forme également une-nitroso-phenylhydrazine (47). Il est permis de penser que, lors de la diazotation de l'ester de glycolle, un intermédiaire — l'ester C-nitroso-glycinique — se present de manière analogue. Il livrerait par déshydratation l'ester diazo-acétique à l'atome de carbone marqué.

Biblioteca

Livros Recebidos:

Methoden der Organischen Chemie (Houben-Weyl) editado sob a direcção de Eugen Müller; Ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Trata-se da quarta edição, completamente refundida, duma obra verdadeiramente monumental sobre técnicas da química da orgânica. Os diferentes volumes vão saindo a lume sem ordem determinada e estão previstos uns 16 volumes compreendendo cada 2 ou 3 partes cada uma das quais constitui um livro de cerca de mil páginas.

Recebemos a 2.ª parte do volume IV que diz respeito aos métodos gerais da química (*Allgemeine Chemische Methoden, Teil 2, Band IV*) volume de 1.004 páginas, 77 gravuras, compreendendo os seguintes capítulos:

1. Catalise ácida e básica, da autoria do Dr. H. Henecka. 2. Catalise de reacções em que se formam catiões e aniões complexos, do Dr. G. Hesse. 3. Métodos de preparação de catalisadores, do Dr. K. Wimmer. 4 e 5. Técnica das reacções heterogéneas e catalíticas, dos Drs. G. Schiller e H. Körper. 6. Métodos gerais para a realização de reacções piroquímicas, do Dr. H. Koch. 7. Reacções electroquímicas, do Prof. Dr. F. Müller. 8. Métodos para obtenção de compostos opticamente activos a partir de inactivos do Prof. Dr. W. Theilacker. 9. Preparação de compostos orgânicos contendo isótopos, dos Drs. F. Weygand e H. Simon. 10. Métodos de obtenção e transposição de grandes núcleos cíclicos, do Prof. Dr. K. Ziegler. 11. Métodos gerais para a execução de reacções bioquímicas, dos Drs. B. Heflerich, H. Stetter e J. Krebs. 12. Métodos para a execução de reacções microbiológico-químicas, do Químico W. Reisner.

O desenvolvimento com que todos os assuntos são tratados tornam esta obra (como se diz no seu prefácio), um padrão internacional das técnicas da Química orgânica.

Methoden der Organischen Chemie (Houben-Weyl) 4.^a ed. Vol. III (Physikalische Forschungsmethoden) Parte 2 — *Physikalische Methoden*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

No nosso número anterior já nos referimos a esta notável obra de química orgânica que está a ser publicada, e da qual já vieram a lume 5 volumes. O presente volume, trata dos métodos físicos aplicados nos trabalhos de química orgânica. Encerra os seguintes capítulos: 1. Medidas de condutibilidade da autoria do Prof. Dr. E. Asmus. 2. Métodos de medidas do pH, do Prof. Dr. K. Cruse e Dr. U. Fritze. 3. Papéis reagentes e indicadores, do Dr. K. Rast. 4. Titulações potenciométricas e condutimétricas, do Dr. E. Abrahamczik. 5. Electroforese quantitativa, do Prof. Dr. H. J. Antweiler. 6. Potencial electroquímico de compostos orgânicos, do Prof. Dr. M. von Stackelberg. 7. Polarografia de corpos orgânicos, do mesmo autor. 8. Métodos para a determinação das propriedades dieléctricas, dos Drs. O. Fuchs e F. Würstlin. 9. Refractometria, do Prof. Dr. E. Asmus. 10. Polarimetria, do Prof. Dr. E. Asmus. 11. Dispersão da luz, do Dr. H. A. Stuart. 12. Fluorescência e fosforescência, do Prof. Dr. T. Forster. 13. Métodos de refração electrónica, do Prof. Dr. R. Brill. 14. Microscópio electrónico, do Prof. Dr. E. Brüche e Dr. W. Degenhard. 15. Métodos roentgenográficos, do Prof. Dr. W. Kast. 16. Espectroscopia de absorção no visível e no ultravioleta, do Prof. Dr. M. Pestemer e Dr. D. Brück. 17. Espectroscopia Raman, do Prof. Dr. J. Goubcau. 18. Espectroscopia no infravermelho, do Dr. H. Hoyer. 19. Espectroscopia das microondas, do Prof. Dr. R. Honerjäger. 20. Métodos magnetoquímicos, do Prof. Dr. E. Müller. 21. Ultrason, do Dr. W. Schaafes.

Revistas recebidas :

- Anais do Instituto de Medicina Tropical* — Vol. x — n.º 4 — Fasc. II — Dezembro 1953 e suplemento — Vol. XI — N.ºs 1 a 4 e Suplemento 1954.
- Anais do Instituto Superior de Agronomia* — Vol. XXI (1954).
- Anales de Bromatologia* — Tomo VI — 1 a 12 (1954).
- Anales de La Facultad de Medicina* — Universidad Nacional Mayor de San Marcos — Lima — Peru : Tomo XXXVII — N.ºs 1 a 4 (1954).
- Anales de la Real Sociedad Espanola de Fisica e Quimica* — Série B Química : Tomo L (B) — N.ºs 1 a 12 (1954).
- Arhiv Za Kemiju* (Arquivos de Química) — N.ºs 1 a 3 (1954).
- Arquivos de Bromatologia* — Órgão do Laboratório Bromatológico do Rio de Janeiro — Tomo II — N.ºs 1 a 4 (1954).
- Boletim da Academia das Ciências de Lisboa* — Nova série — Vol. XXVI de Maio-Julho e Outubro-Dezembro (1954).
- Boletim da Direcção dos Serviços Industriais* — Ano VI — N.ºs 271 a 313 (1954).
- Boletim da Ordem dos Engenheiros* — Vol. III — N.ºs 1 a 24 (1954).
- Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa* — 72.ª série, 1954, N.ºs 1 a 12.
- Boletim Pecuário* — Ano XXII — 1954 — N.º 3.
- Boletim de Normalização* — Vol. III — 1954 — N.ºs 1 a 12.
- Boletim de la Sociedad Química del Perú* — Vol. XX — 1954 — N.ºs 1 a 4.
- Boletim Bibliográfico* — Consejo Superior de Investigacion : Científicas — Madrid : N.º 74.
- Bulletin de La Societé de Pharmacie de Bordeaux* — Tomo 92 — 1954 — N.ºs 1 a 4.
- British Abstracts* — A¹ A² e A³ — Novembro e Dezembro de 1953.
- Currents Chemical Papers* — 1954 — N.º 12.
- Czechoslovak Journal of Physics* — Vol. 4 — 1954 — N.ºs 1 a 4.
- Farmacia y Química* — Ano VI e VII — 1954 — N.º 4.
- Guommi und Asbest* — 1956 — N.º 131.
- Índice Cultural Español* — Ano IX — 1954 — N.ºs 96 a 107.
- Journal of the Institute of Polytechnics* — Osaka City University — Série B, Physics : Vol. V — 1954 — N.º 6.
- The Journal of Physical Chemistry* — Vol. LVIII — 1954 — N.ºs 1 a 12.
- Lista Selectiva de novas aquisições* — Biblioteca Americana da Embaixada U. S. A. — Lisboa — N.ºs 24 e 25 (1954).
- Noticiário Neoprene de Pont* — 1954 — N.ºs 13 a 16.
- O Médico* — Semanário de Assuntos Médicos e Paramédicos : Ano V — 1954 — N.ºs 123 a 174.
- Portugal Médico* — Vol. XXXVIII — 1954 — N.ºs 1 a 12.
- PR* — Órgão Oficial da Associação dos Estudantes de Química — Uruguay — Vol. IV — N.ºs 1 a 6 (1954).

Radioactivity and Chemistry of some Indoñesian Euruptive Rockes — S. Westerveld — Amsterdam (1954).

Revista da Faculdade de Engenharia — Porto — Vol. xix, N.º 1 (1954).

Revista do Instituto Adolfo Lutz — Vol. xiv, N.º 1 e Vol. xiv número especial.

Revista de la Facultad de Farmácia y Bioquímica — Universidad Nacional Mayor de San Marcos — Lima — Peru: Vol. xvi, N.ºs 61, 62 e 63-64 (1954).

Revista Farmacéutica — Goa — Ano 1, 1954, N.ºs 1 a 4.

Revista Portuguesa de Farmácia — Vol. iv, 1954, N.ºs 1 a 4.

Revista de Plásticos — 1954 — N.ºs 25 a 30.

Trabalhos de Antropologia e Etnologia — Vol. xv, 1954, Fasc. 1-2.

Vakum — Technik — 1954 — 3/4.