

## Progressos recentes em Física Corpuscular

por MAX HOYAUX e PAUL GANZ

*«Gazeta de Física» inicia neste número a publicação do excelente artigo de Max Hoyaux e Paul Ganz do Département «Études et Recherches», Division Nucléaire, da firma ACEC (Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi), da Bélgica.*

*Este artigo foi publicado em ACEC Revue, N.º 4 — 1960 e N.º 2 — 1961, com o título original «Récents progrès de la physique corpusculaire». Na «Gazeta de Física» a sua publicação far-se-á em quatro números.*

*Aos Autores e à Direcção da ACEC Revue expressamos aqui o nosso reconhecimento pelas facilidades concedidas.*

É necessário remontar ao século sexto A. C. para se encontrar a primeira referência (será realmente a primeira?) a uma possível estrutura descontínua da matéria. Isto significa que a Física Corpuscular não é, de forma alguma, um assunto de origem recente.

Contudo, que diferença entre os átomos, os «indivisíveis», de Leucipo e Demócrito, e as partículas com spin, de Luís de Broglie e continuadores! E que diferença ainda entre a pequena esfera elástica da teoria cinética dos gases, a as complicadas estruturas que as descobertas recentes no campo da Física Nuclear tornaram familiares!

Como o viajante que ao fim de longa jornada gosta de olhar para trás e rever o caminho percorrido, também o nosso desejo é rever o passado para compreendermos a forma como chegámos ao ponto em que estamos agora. Apesar disso, esta parte do presente artigo será apenas auxiliar, pois não nos sentimos qualificados para escrever uma História da Física, ou de apenas um dos seus capítulos. Preferimos descrever o conhecimento actual e mostrar a grande unidade que se está agora evidenciando em termos matemáticos (pelo preço, é certo, do que é geralmente considerado como um excessivo grau de abstracção). Mas queremos também destacar os numerosos problemas que conti-

nuam sem resposta, principalmente devido à descoberta recente dum grande número de «partículas estranhas» e aos progressos teórico e experimental em relação ao conceito de paridade.

Este artigo destina-se aos leitores com algum conhecimento geral do assunto, mas sem treino especial no campo da Física Matemática.

Apesar de uma vez ou outra se apresentarem algumas equações bem conhecidas, não se faz nenhuma dedução matemática. Contudo, com a ajuda da bibliografia indicada no fim do artigo, o leitor encontrará o trabalho onde os cálculos aqui esquematizados estão feitos em detalhe.

Desta maneira esperamos alcançar um duplo objectivo: interessar os que leiam este artigo para além da curiosidade geral, e encorajar aqueles que pretendem estudar o assunto mais profundamente.

Os nossos leitores dirão se alcançámos o fim em vista.

### BREVES FUNDAMENTOS HISTÓRICOS

A hipótese atómica remonta a Leucipo e Demócrito, que viveram cerca do ano 500 A. C. Nunca se saberá se isto se deve a uma

intuição genial ou a mero acaso, pois os textos incompletos que chegaram aos nossos dias não permitem qualquer decisão.

De qualquer forma, em virtude da mentalidade que prevalecia entre os físicos gregos, que geralmente tinham prazer em discussões filosóficas sem fim, excluiu-se completamente a hipótese de que tenham chegado àquele resultado por meio dum raciocínio lógico baseado em dados experimentais concludentes. Tais experiências foram efectuadas apenas muitos séculos depois, quando o verdadeiro método científico estava suficientemente bem estabelecido. Antes o assunto não podia ser convenientemente tratado.

Os factos experimentais de base foram observados nos primeiros anos do século dezoito. Um certo número de leis, estabelecidas empiricamente, foram deduzidas. Estas leis (associadas aos nomes de Lavoisier, Proust, Dalton, Boyle<sup>(1)</sup>, Gay-Lussac) são expressas por forma a convidarem a uma síntese. Em breve se compreendeu que a sua explicação era simples desde que se considerasse a matéria formada por moléculas, e estas por átomos semelhantes ou diferentes, de acordo com o carácter simples ou composto da substância química considerada.

Em 1811, Avogadro formulou a primeira lei importante da física corpuscular: «Sob as mesmas condições de pressão e temperatura, volumes iguais de gás contêm o mesmo número de moléculas». Foi o início da teoria cinética dos gases, a que os nomes de Maxwell e Boltzmann estão intimamente ligados. Considerando as moléculas como pequenas esferas elásticas com velocidades distribuídas ao acaso, colidindo umas com as outras e com as paredes do recipiente que as contém, é possível demonstrar todas as propriedades mecânicas dos gases.

A teoria atômica dá também uma explicação qualitativa das leis da Química e permite o estabelecimento dum simbolismo simples mas frutuoso. Dum ponto de vista

quantitativo, o progresso foi muito mais limitado, pois a natureza das forças que uniam os átomos dentro da mesma molécula era desconhecida. Só cem anos mais tarde, e com a ajuda da mecânica quântica, o problema pode ser resolvido.

Em 1887, Arrhenius utilizando a lei de Avogadro juntamente com a de Faraday, concluiu que a electricidade, tal como a matéria, devia ter uma estrutura corpuscular. O seu argumento é aproximadamente o seguinte: «Faraday afirma que o equivalente-grama da prata, por exemplo, se deposita no ânodo quando através da solução passa uma carga eléctrica de 96 400 coulombs. De acordo com Avogadro, este equivalente-grama é composto de  $6,02 \times 10^{23}$  átomos. Assim, cada átomo possui uma carga eléctrica de  $1,60 \times 10^{-19}$  coulombs».

Como o argumento apresentado é válido para qualquer espécie química, pode concluir-se que a Física Corpuscular apenas obriga à existência de cargas eléctricas iguais ao valor citado, ou a um múltiplo desse valor.

O valor da carga eléctrica elementar foi directamente confirmado por Millikan em 1909, usando a bem conhecida técnica da gota de óleo.

Entretanto, observaram-se novos factos que conduziram à descoberta do electrão. Com efeito, o estudo dos raios catódicos mostrou que a electricidade negativa consistia em partículas muitas vezes mais leves do que os átomos (tendo cada partícula uma carga eléctrica de valor igual ao indicado acima). Vários métodos (deflexão por um campo eléctrico, deflexão por um campo magnético, aquecimento provocado pelos choques no anticátodo) permitem-nos calcular, quer a razão carga-massa, quer directamente a massa. Esta última tem um valor cerca de 1840 menor do que a do átomo de hidrogénio.

Donde vêm estes electrões? Da matéria, evidentemente. Assim, o átomo, ou partícula de matéria, contém electrões; e não mais

(1) Mais antigo, mas deve logicamente ser citado aqui.

pode ser considerado como indivisível, ao contrário do que se depreende da sua etimologia.

Contudo, como o átomo é, pelo menos no seu estado normal, electricamente neutro, permanecia a questão: onde está a electricidade positiva que deve compensar as cargas electrónicas? Está distribuída numa nuvem central difusa como J. J. Thomson postulou? «Não», disse Rutherford em 1911, «está concentrada na forma dum núcleo central muito pequeno, que além dela possui quase toda a massa do átomo. Esta conclusão baseia-se em experiências concludentes, de Geiger e Marsden, sobre a difusão de partículas alfa do rádio por folhas metálicas finas». Rutherford descreveu o primeiro modelo planetário do átomo. No centro está um núcleo pesado com uma carga eléctrica  $+Ze$ ; à volta dele,  $Z$  electrões cada um com a carga  $-e$ . O número  $Z$  caracteriza a natureza química do elemento e é exactamente igual ao número de ordem do mesmo elemento no quadro periódico de Mendeleev. A fig. 1 mostra

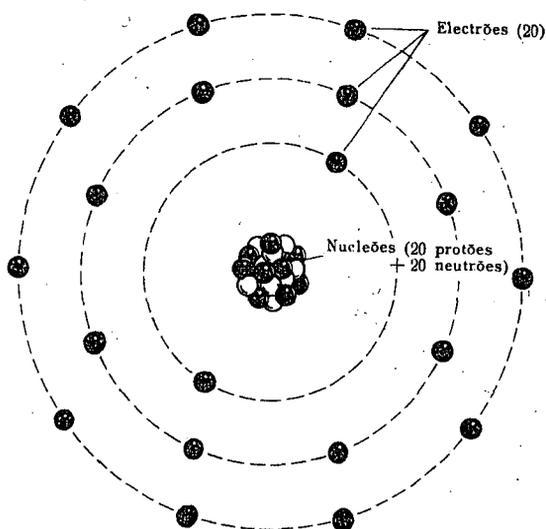


Fig. 1 — O mais bem conhecido dos modelos atómicos: no centro, o núcleo obedecendo à teoria proto-neutrónica de Heisenberg (v. texto); fora, os electrões obedecendo ao modelo de Bohr (id.). Um tal modelo é susceptível de interpretar grande número de factos, mas se se entra nos detalhes aparecem dificuldades intransponíveis.

uma versão ligeiramente modernizada deste modelo planetário.

Mas uma outra questão se pôs: são os núcleos partículas simples ou complexas? «Complexas», respondeu Rutherford na mesma ocasião, «pois que a radioactividade, descoberta por Becquerel, frequentemente nos mostra núcleos que se desintegram espontaneamente em dois novos núcleos».

Em 1898, Becquerel estudava a fluorescência dos sais de urânio quando descobriu

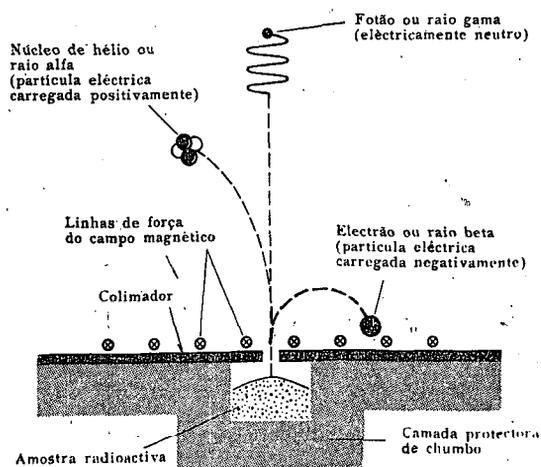


Fig. 2 — Os três tipos de radiações do rádio: o rádio, ou seus descendentes radioactivos, emitem três espécies bem definidas de radiações (Rutherford, 1902) separáveis entre si por um campo magnético. A emissão alfa é uma interacção «forte»; a emissão beta uma interacção «fraca»; e a emissão gama, uma interacção electromagnética (V. texto).

que estes emitiam radiações duma natureza desconhecida. Mais tarde Rutherford deu uma explicação parcial do facto, e distinguiu três espécies de radiações:

- (a) Raios alfa, constituídos por partículas positivas, mais tarde identificadas com núcleos de hélio;
- (b) Raios beta, constituídos por electrões rápidos;
- (c) Raios gama, semelhantes à luz ordinária, mas com um comprimento de onda muito mais pequeno.

Mais tarde Pierre e Marie Curie descobriram novos elementos muito mais activos do que o urânio; foi o começo duma classificação em três famílias radioactivas. Ao mesmo tempo compreendeu-se que a emissão duma partícula alfa ou beta corresponde a uma mudança nas propriedades químicas do elemento (leis de Soddy), isto é, no número  $Z$ . Os núcleos são assim susceptíveis de se transformarem noutros; é aconselhável admitir-se que eles são formados por um certo número de partículas elementares.

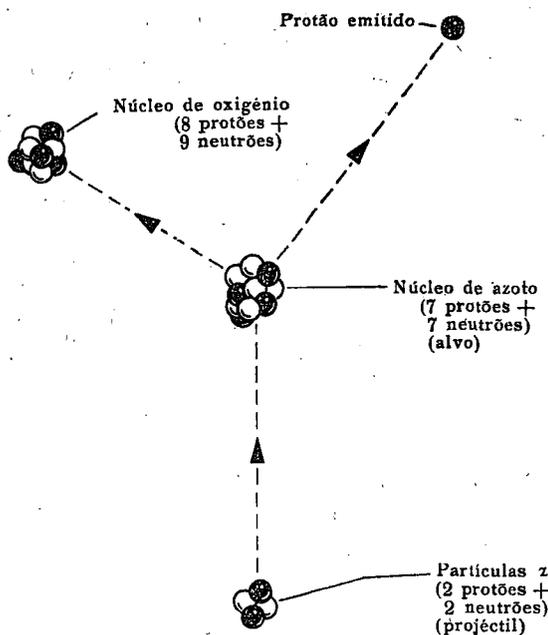


Fig. 3 — A primeira transmutação nuclear (Rutherford, 1919), representada aqui na interpretação da teoria proto-neutrónica de Heisenberg (1930).

Em 1919, Rutherford confirmou directamente esta ideia realizando a primeira transmutação artificial. Observou-se que um núcleo de azoto bombardeado por uma partícula alfa se desintegrava num núcleo de oxigênio e noutro de hidrogênio. Este, o mais leve de todos os núcleos, é considerado como elementar e designado por «próton». Como resultado de experiências semelhantes efectuadas com outros elementos, foi considerado como um componente básico na estrutura de todos os núcleos.

Para se explicar a radioactividade beta admitia-se (erradamente, como se verá adiante) a existência de electrões nucleares. Como a massa dos electrões é desprezável, qualquer massa nuclear deve ser um múltiplo inteiro da massa do próton. Assim parecia ser desde que os trabalhos de Soddy sobre elementos radioactivos e de Thomson e Aston sobre elementos não-radioactivos conduziram à introdução da noção de isotopia: por exemplo, mostrou-se que o cloro de massa atómica 35,5 era uma mistura de dois isótopos, cloro 35 e cloro 37, em certa proporção. Ambos são idênticos do ponto de vista químico, mas têm densidades diferentes.

A partícula alfa, cuja massa é quatro vezes, e a carga duas vezes, maior do que a do próton, considerava-se formada por quatro prótons e dois electrões.

Esta estrutura electro-prótica da matéria foi aceite, com maior ou menor confiança, até cerca de 1930. Nessa altura considerou-se inadequada para explicar um certo número de factos novos, e foi substituída pela estrutura proto-neutrónica de Heisenberg (fig. 1).

Em 1932, ao realizarem experiências sobre a transmutação artificial (mais ou menos semelhantes às de Rutherford), Bothe e Becker descobriram uma nova espécie de radiação muito penetrante; depois de importantes experiências de Joliot-Curie, o fisico inglês Chadwick concluiu que esta radiação era formada por partículas muito semelhantes aos prótons, mas sem carga eléctrica. Estas partículas receberam o nome de «neutrões».

A descoberta do neutrão, intuitivamente pressentida por Rutherford, foi como que um presente inesperado para se removerem as dificuldades da teoria electro-prótica. Assim a hipótese de Heisenberg de que os núcleos eram formados apenas por prótons e neutrões foi aceite imediatamente, com muito pouca dificuldade.

Electrões, prótons e neutrões são os

constituintes normais da matéria; os outros corpúsculos, que mais adiante descreveremos, aparecem apenas durante curtos instantes, e são incapazes de modificar duma forma significativa a representação actual do átomo.

Ao mesmo tempo que a estrutura corpuscular da matéria se tornava cada vez mais evidente, encontravam-se provas aparentemente convincentes de que a luz tinha a estrutura dum movimento ondulatório.

Recordemos, em primeiro lugar e duma forma breve, que a hipótese do movimento ondulatório não foi aceite imediatamente. De princípio, a propagação rectilínea da luz parecia derivar duma estrutura corpuscular.

Newton defendeu enérgicamente a teoria corpuscular; o seu único antagonista importante foi Huyghens, defensor da teoria ondulatória, mas incapaz de fazer aceitar tais ideias pelos físicos do seu tempo.

Experiências seguintes de Newton, Young e Fresnel, permitiram a este último acumular argumentos convincentes a favor da teoria ondulatória.

O génio de Maxwell conseguiu então a síntese fundamental de todos os fenómenos electromagnéticos, simbolizada na forma de quatro equações com derivadas parciais. De acordo com estas equações pode mostrar-se que todos os parâmetros electromagnéticos fundamentais obedecem, no vácuo, à equação de D'Alembert:

$$\nabla^2 U - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0.$$

A análise matemática mostra que qualquer grandeza que satisfaça esta equação se pode propagar na forma de uma onda com a velocidade  $c$ ; as equações de Maxwell estabelecem a estrutura dos campos que formam a onda.

Maxwell conseguiu mostrar que a velocidade destas ondas electromagnéticas é a mesma que a da luz ordinária; e não hesitou em afirmar que a luz é apenas um caso particular dessas ondas.

É bem conhecido que as ideias de Maxwell foram depois brilhantemente confirmadas. Não só Hertz produziu, usando campos eléctricos e magnéticos convenientes, ondas como as que Maxwell tinha previsto, mas também Lorentz mostrou que o átomo, com os seus electrões em movimento, é equivalente a um pequeno emissor ou receptor, e conseguiu deduzir algumas das propriedades dos espectros ópticos.

Conseguiram deduzir-se apenas algumas, pois apareceu um estranho dilema. Quando Rayleigh e Jeans tentaram aplicar os métodos de Lorentz ao cálculo da radiação do corpo negro foram conduzidos a uma equação absurda, impossível! Contudo, na teoria não se encontrou erro algum.

Para poder reconciliar a teoria com a experiência, Planck foi obrigado a admitir que a emissão duma onda electromagnética de frequência  $\nu$  apenas se podia fazer na forma de grupos de onda ou quanta de energia  $h\nu$ , sendo  $h$  uma constante universal que recebeu a designação de «constante de Planck». Um tal resultado é incompatível com a teoria ondulatória.

Einstein, o pai da relatividade, realçou ainda o dilema mostrando que não apenas a emissão, mas também a absorção e outros fenómenos mostram a mesma estranha descontinuidade. E não hesitou em ressuscitar, numa forma algo diferente, a velha teoria de Newton, afirmando que a luz é feita de corpúsculos (agora chamados fotões), tendo cada um deles uma energia  $h\nu$  e um momento

$$\frac{h\nu}{c} \text{ ou } \frac{h}{\lambda}$$

A teoria fotónica explica um conjunto de fenómenos que não podiam ser compreendidos com a teoria de Maxwell-Lorentz. Mencionamos aqui o efeito foto-eléctrico, que consiste no arrancar de electrões por choque dos fotões na matéria, o efeito Compton (fig. 4) ou choque elástico dum fotão com um electrão, acompanhado por uma transferência de energia (isto é, uma redução da

frequência!) e, finalmente, o efeito Raman que é um pouco mais complicado.

A seguir, primeiro Bohr, depois Sommerfeld e Uhlenbeck e Goudsmit modificaram a teoria electromagnética do átomo à luz das novas ideias e foram capazes de explicar um

que

$$\lambda = h/mv.$$

A hipótese de Luís de Broglie permite-nos reconciliar os aspectos ondulatório e corpuscular da luz. Se é aplicada ao movimento dos electrões dentro do átomo, permite-nos demonstrar a teoria de Bohr duma maneira muito elegante. Apesar de tudo, é provável que a hipótese de Broglie apenas tivesse encontrado cepticismo se não fosse uma experiência simples, de Davisson e Germer, que demonstrou que os electrões, tal como os fotões, estão sujeitos aos fenómenos de difracção. Foi assim necessário admitir que também os electrões tinham um carácter ondulatório.

A mecânica ondulatória foi desenvolvida por Schrödinger que usou alguns resultados dum trabalho paralelo devido a Heisenberg; voltaremos a este ponto mais adiante, pois agora estamos tratando de partes da ciência que parecem estar mais ou menos em forma definitiva.

Durante algum tempo a Física Teórica esteve adiantada relativamente à Física Experimental. Em 1929, Dirac deduziu a teoria relativística do electrão; com ela conseguiu interpretar correctamente todos os factos importantes relacionados com esta partícula. As suas equações levavam, porém, à conclusão de que existia uma outra partícula, idêntica em tudo ao electrão, salvo que a sua carga era positiva em vez de negativa. Depois de ser recebida com algum cepticismo, esta previsão foi experimentalmente confirmada pela descoberta do positrão nos raios cósmicos, devida a Anderson em 1932.

Em 1935 apareceu uma situação semelhante. Com o fim de explicar a origem das forças nucleares o fisico japonês Yukawa postulou a existência duma partícula hipotética, chamada mesão porque a sua massa é intermédia entre a do electrão e a do protão.

Nos anos que se seguiram vários autores afirmaram a existência, ainda nos raios cósmicos, duma partícula agora chamada mesão  $\mu$ ,

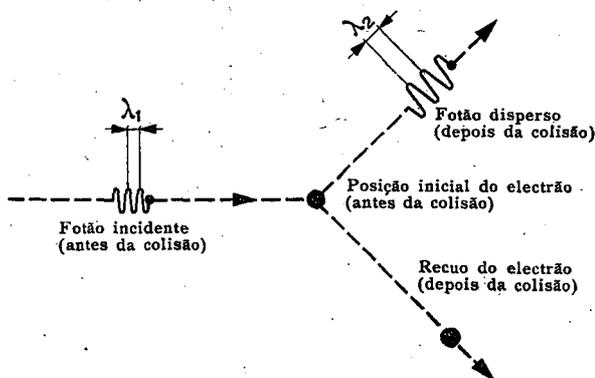


Fig. 4 — Efeito Compton: o comprimento de onda associado a um fóton muda se este sofre uma colisão; é uma das provas da teoria corpuscular da luz

grande número de factos, até então inexplicados, que se observaram na análise empírica dos espectros ópticos.

Apesar de tudo, a situação não era de per si muito satisfatória. Em primeiro lugar, os fotões estavam associados com uma frequência  $\nu$  sem que se tivesse uma ideia precisa do modo de associação. Além disso, uma teoria da luz puramente corpuscular dificilmente explicava a refracção e conduzia a problemas insolúveis no que respeita à difusão e interferência.

Foi então que Luís de Broglie resolveu o dilema estabelecendo a base da mecânica ondulatória. Broglie formulou o célebre princípio de associação dos aspectos ondulatório e corpuscular:

«Qualquer onda com um comprimento de onda  $\lambda$  é acompanhada de corpúsculos de momento

$$mv = h/\lambda$$

e, inversamente, qualquer corpúsculo de momento  $mv$  é guiado por uma onda tal

tendo algumas das propriedades que devia ter a partícula da teoria de Yukawa. Contudo permaneciam algumas diferenças, pois que certas propriedades eram radicalmente diferentes.

Apesar de tudo lançou-se um aviso aos físicos teóricos, mais ou menos inclinados a acreditar que a teoria ia definitivamente avançada em relação à experiência; de facto, ninguém podia ver exactamente que posição

Fig. 5

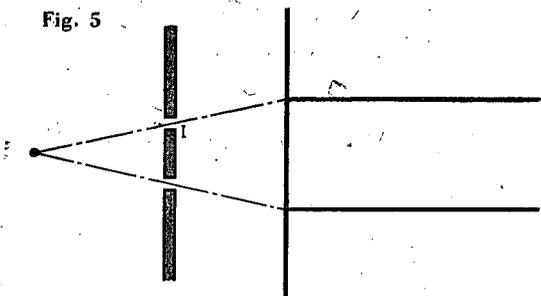


Fig. 6

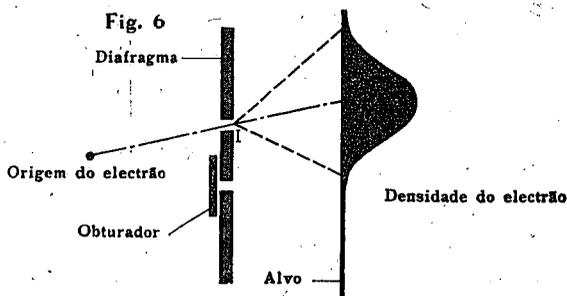


Fig. 7

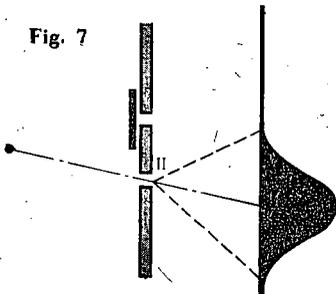


Fig. 8

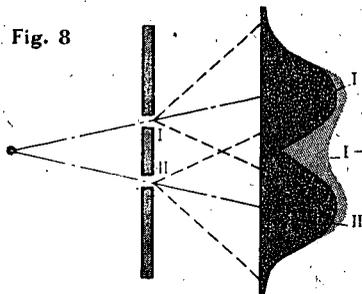


Fig. 9

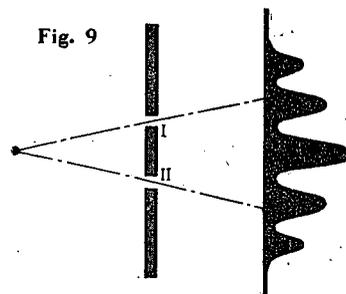


Fig. 5, 6, 7, 8 e 9 — Consequências do aspecto ondulatório do electrão: Consideremos uma fonte de electrões e um alvo com duas aberturas. A fig. 5 mostra o que aconteceria se o electrão fosse estritamente corpuscular e não houvesse qualquer interacção com os bordos das aberturas: uma mancha quase pontual no alinhamento da fonte e do orifício. A fig. 6 mostra o que acontece realmente com uma só abertura: devido a várias espécies de interacções a mancha é maior, e tanto maior quanto menor a abertura. Na fig. 7 representa-se o que acontece com a outra abertura, tapando-se a primeira. Logicamente podia esperar-se, com as duas aberturas destapadas, uma distribuição correspondente à sobreposição das duas primeiras, como se representa na fig. 8. Na realidade aparecem franjas de interferência (fig. 9), e assim se demonstra irrefutavelmente o aspecto ondulatório do electrão. Quando o electrão passa através duma das aberturas comporta-se como se, por um processo qualquer, «tivesse conhecimento» do que acontece com a outra abertura, isto é, se está tapada ou destapada.

Na prática, a experiência não se realiza exactamente como aqui descrevemos pelo facto de o comprimento de onda associado ao electrão ser muito pequeno; mas (Davisson e Germer, 1924) utilizando um cristal, faz-se uma outra experiência que é estritamente equivalente a esta.

Mais recentemente, a natureza ondulatória do protão e do neutrão foi também provada experimentalmente duma maneira irrefutável.

Finalmente, em 1947, Powell e Occhialini demonstraram experimentalmente a existência duma outra partícula nos raios cósmicos, que se designa actualmente por mesão  $\pi$ , e que em breve se verificou ser idêntica em todos os aspectos à partícula hipotética de Yukawa.

ocupava o mesão  $\pi$  no quadro dos corpúsculos e, ainda hoje, este é um dos maiores mistérios da Física Corpuscular, como adiante se discutirá.

Com o fim de explicarem a radioactividade beta, os físicos teóricos postularam que

o mesão  $\pi$  é instável e que decai espontaneamente, depois de uma vida média da ordem de um microsegundo, num electrão (positivo ou negativo, de acordo com o sinal da carga do mesão  $\pi$ ) e numa outra partícula elementar hipotética, chamada neutrino, cuja existência provável foi prevista por Pauli, antes da teoria de Yukawa.

Na realidade, o mesão  $\pi$  decai geralmente num mesão  $\mu$  e num neutrino; foi necessário esperar até 1958 para que se provasse experimentalmente, dum maneira concreta, que uma vez em aproximadamente cada vinte mil, a desintegração se realiza da maneira prevista.

O próprio neutrino foi detectado experimentalmente em 1956 por um grupo de físicos de Los Alamos, usando um dispositivo experimental sem precedentes na história da Física. A dificuldade da detecção do neutrino é devida ao facto de que a sua massa própria, carga eléctrica e momento magnético são nulos; contudo a energia cinética e momento angular (relativistas) são diferentes de zero.

Há alguns anos, dois discípulos de Luís de Broglie, Gérard Petiau e Marie-Antoinette Tonnelat, mostraram que as propriedades dum corpúsculo chamado gravitão pareciam ser susceptíveis de explicar a gravitação newtoniana. Porém, o gravitão não foi até agora detectado experimentalmente, e não é geralmente admitido nas listas de partículas elementares.

Já em 1944 alguns físicos observaram, primeiro nos raios cósmicos e mais tarde no feixe de aceleradores gigantes, novas partículas não incluídas no quadro existente; desta forma a anomalia do mesão  $\mu$  estava a reaparecer, e novas partículas «elementares» iam sendo descobertas, sem qualquer razão teórica evidente, e aumentando a lista que muitos já consideravam excessivamente longa. Estas novas partículas, designadas colectivamente por «partículas estranhas», designação que se justifica a si mesmo por mais do que

uma razão, têm massas geralmente compreendidas entre as do mesão  $\mu$  e a do protão, mas nalguns casos maior do que a do protão. As primeiras são chamadas mesões  $k$ ; as segundas, hiperões.

Embora o papel exacto que estas partículas têm na interpretação da estrutura nuclear não seja ainda compreendido dum maneira clara, devemos a Gell-Mann um esquema semi-empírico genérico suficientemente preciso para que tenham sido possíveis algumas previsões confirmadas a seguir pela experiência. Presentemente este esquema é apenas qualitativo e tem que ser bastante melhorado para dar uma explicação verdadeiramente quantitativa. Voltaremos a este assunto mais adiante.

Com o fim de se explicar correctamente as propriedades das partículas estranhas, tornou-se necessário corrigir algumas leis que anteriormente se consideravam como evidentes. O exemplo mais conhecido é o da «lei da paridade», que pode ser expressa (dum maneira aproximada) em linguagem não técnica como segue:

«Se  $A$  é um fenómeno permitido pelas leis da Física, a reflexão de  $A$  num espelho plano é também um fenómeno permitido por aquelas leis».

Mais tarde examinaremos em que condições esta lei deixa de ser verdadeira.

No meio destas dificuldades, temos a satisfação de ver que a teoria de Dirac, de acordo com a qual a cada partícula corresponde uma antipartícula, idênticas em tudo excepto no sinal da carga eléctrica, continua verdadeira. O antimesão  $\mu$ , o antimesão  $\pi$ , o antimesão  $K$ , o antiprotão, o antineutrão, e três tipos definidos de antihiperões foram sucessivamente descobertos.

Embora continuem a faltar provas experimentais concretas da existência de alguns antihiperões, considera-se já como certa essa existência. Contudo a simetria entre a electricidade positiva e negativa não é absoluta; parece finalmente que, na sua forma verdadeira, a lei da paridade deve ser combinada

com a «lei da inversão da carga eléctrica» da maneira seguinte:

«Se  $A$  é um fenómeno permitido pelas leis da Física, a sua reflexão num espelho é também um fenómeno permitido desde que a electricidade positiva seja substituída por electricidade negativa, e vice-versa».

\* \* \*

É agora evidente como foi considerável o interesse e «suspense» na história da Física Corpuscular. Até cerca de 1925 foi essencialmente baseada na Física Experimental; caminhávamos para um melhor conhecimento das propriedades da matéria e da radiação.

De 1925 a 1950, a mecânica ondulatória caminhou de sucesso em sucesso e esteve frequentemente avançada em relação à confirmação experimental. Naquele momento parecia que bem poucos problemas básicos aguardavam solução. Uma representação relativamente simples tinha sido obtida das partículas e das suas interacções. Contudo, a descoberta do mesão  $\mu$ , e depois a do mesão  $K$ , desconcertaram os físicos. Logo a seguir, a Física Corpuscular entrou em crise

aguda devido ao aumento, aparentemente sem fim, do número de partículas estranhas. Em 1953, a crise estava no auge; tornou-se necessário, ou admitir a existência de várias espécies de partículas estranhas diferindo ligeiramente umas das outras, ou desprezar leis aparentemente evidentes; durante os anos seguintes, a experiência decidia a favor da segunda hipótese, e a crise foi transferida para os fundamentos da Física Teórica.

Esta situação é semelhante à que ocorreu no campo da Química quando a lista dos elementos, antes considerada como bastante limitada, se foi tornando cada vez maior. A sistemática de Gell-Mann tem um papel comparável ao do quadro periódico de Mendeleev, e bem pode, como aconteceu ao último, ser um passo decisivo para a solução final ajudando a descobrir, sob a multiplicidade das partículas «elementares», uma ou várias unidades básicas que corresponderiam, neste campo, ao próton, electrão e neutrão no campo da Física Atómica.

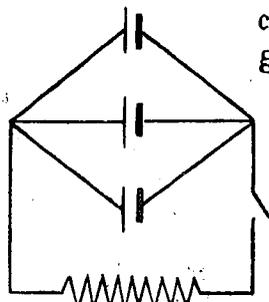
E talvez que mais tarde a história se volte a repetir.

(Continua)

## PONTOS DE EXAME

Ensino liceal — Ano de 1962 — Exame do 3.º ciclo  
— Prova escrita de Ciências Físico-Químicas  
— 1.ª chamada.

475 — Física — I — 1. Observe atentamente as condições a que obedece o circuito eléctrico representado, esquemáticamente, na figura 1.



$$R_e = 4 \Omega$$

Fig. 1

Características  
comuns aos  
geradores:

$$e = 1,5 \text{ V}$$

$$r_i = 6 \Omega$$

a) Deduza a expressão que lhe permite obter a intensidade da corrente fornecida pela associação representada.

b) Calcule o valor numérico da referida intensidade.

R: A expressão da intensidade da corrente, no caso considerado, é  $I = \frac{ne}{r_i + R_e}$ .

Como  $n = 3$ ;  $e = 1,5 \text{ V}$ ;  $r_i = 6 \Omega$ ;  $R_e = 4 \Omega$ , vem  $I = 0,25 \text{ A}$ .

c) Em que condições, relativamente aos valores das resistências em presença, há vantagem em usar este modo de associação?

476 — I — 2. a) Indique algumas vantagens dos acumuladores sobre os elementos de pilha.

b) Calcule a potência absorvida pela resistência  $R_e$ , expressa em unidades do sistema M. K. S.

Se não tiver podido calcular um dos números neces-