

- (8) J. VECINO — *Comportamento do electrodo de platina quando sobre ele se deposita um metal menos nobre* Comun. Congr. Luso-Espanhol para o Progr. das Ciências — Malaga, Dezembro 1951.
- (9) F. C. BARREIRA — *Estudo da adsorção de cations com o electrodo de gotas de mercúrio* — Com. Congr. Luso-Espanhol para o Progr. das Ciências — Malaga, Dezembro 1951.
- (10) A. J. R. BUSTORFF — *Da influência da fase gasosa nos potenciais dos electrodos solúveis* — Com. Congr. Luso-Espanhol para o Progr. das Ciências — Malaga, Dezembro 1951.
- (11) M. VOLMER — *Kinetic der Phasenbildung Verlag con Theodorsteinkopft*, — Dresden e Leipzig, 1939. Citado por C. HERRING e M. H. NICHOLDS, *Rev. of Modern Physics*, 21,159, 1949.

### O QUE É UMA PARTÍCULA ELEMENTAR?

O atomismo sob a forma mais recente chama-se mecanica dos quantos.

O seu domínio inclue, além da matéria ordinária, todas as radiações. No estado actual da teoria, os átomos são constituídos pelo agrupamento de particulas elementares, electrões, protões, fotões, mesões, etc.

Vamos estudar a partícula elementar sob o aspecto que a teoria mecanica dos quantos lhe deu. Uma partícula não é um *individuo*, isto é, não tem *identidade*. Este facto é conhecido por todos os Físicos, mas raramente se lhe dá a devida importância nas publicações destinadas a não especialistas. O facto apontado, como adiante veremos, corresponde a dizer que a partícula obedece a uma nova estatística.

A nossa representação do mundo material compreendia duas entidades: ondas e partículas. As primeiras compunham-se das ondas electromagnéticas de Maxwell: ondas hertzianas, radiações infravermelha, visível e ultraviolete, raios X e gama. Os corpos materiais eram considerados como constituídos por partículas. Conheciam-se ainda as radiações corpusculares: raios catódicos, raios beta, raios alfa, raios anódicos, etc. As partículas emitiam e absorviam ondas; assim, os raios catódicos (electrões) chocando com os átomos emitiam raios X. A distinção entre ondas e partículas era, no entanto, tão nítida como entre o violino e o som que ele emite. Um candidato que tivesse afirmado que os raios catódicos eram ondas e que os raios X eram formados por particulas certamente seria reprovado.

Actualmente, a diferença entre onda e corpúsculo, desapareceu, porque se verificou que

todas as partículas tinham propriedades das ondas e reciprocamente; por exemplo, um feixe de raios catódicos produz na câmara Wilson traços rectilíneos ou encurvados (se actuar um campo magnético) constituídos por *pequenas gotas*. Cada traço considera-se devido ao trajecto de um único electrão. No entanto, o mesmo feixe após ter atravessado um tubo estreito cujo eixo seja normal ao eixo do feixe, e contendo pó cristalino, formará sobre uma chapa fotográfica uma figura constituída por circunferências concêntricas. Esta figura explica-se considerando-a como um diagrama interferencial visto que é semelhante a um diagrama de raios X obtido da mesma forma.

Há no entanto, que fazer uma observação: O feixe que atinge a placa fotográfica e que dá origem às circunferências concêntricas será constituído por raios catódicos ou por raios X secundários?

Esta alternativa deve desprezar-se visto que se pode deslocar a figura de interferências utilizando um imã, o que é impossível fazer com os raios X além disso, colocando um alvo de chumbo com um pequeno orificio no lugar da placa fotográfica pode-se isolar um pequeno feixe cónico e por em evidência propriedades características dos raios catódicos.

Há um grande conjunto de experiências que mostram, a íntima ligação entre ondas e corpúsculos que são aspectos diferentes do mesmo fenómeno.

O conceito de onda deve ser profundamente modificado.

É verdade que as ondas produzem figuras de interferência, prova crucial, que, no caso da luz tinha afastado qualquer dúvida quanto

à realidade das ondas. No entanto, presentemente, concluiu-se que todas as ondas, incluindo a luz, deveriam ser considerados como *ondas de probabilidade*. Estas ondas são um *expediente* matemático, permitindo calcular a probabilidade de encontrar uma partícula em certas condições. Isto corresponderia, no exemplo anterior, a calcular a probabilidade de um electrão encontrar a chapa fotográfica num dado ponto. A sua acção sobre um grão de brometo de prata permite fazer o seu registo. Considera-se o diagrama de interferências como o registo estatístico dos electrões. Há que fazer aqui uma observação que certamente ocorrerá ao leitor: Uma coisa que influencia o comportamento físico de outra, não deve em caso algum ser qualificada de menos real do que aquilo que ela influencia, seja qual for o significado que se dê à perigosa palavra *real*. É sem dúvida útil lembrar, de vez em quando, que todos os modelos, todas as imagens quantitativas concebidas pelo físico são apenas expedientes matemáticos permitindo numerar os acontecimentos observáveis, mas isso não se aplica mais às ondas luminosas, por exemplo, do que às moléculas de, oxigénio ou outras.

A mais importante correcção ao conceito de partícula é a relação de incerteza de Heisenberg. Segundo a mecânica clássica o estado de uma partícula era definido, num dado instante, pela sua *velocidade*, e pelas suas *coordenadas*. Segundo a nova teoria não há necessidade de todos estes elementos, mas por outro lado, os resultados são mais incertos. Pode-se determinar a velocidade com uma precisão arbitrária com a condição de não nos importarmos com as coordenadas e reciprocamente.

Não se pode, no entanto, conhecer ambas com precisão. Grosseiramente podemos dizer que o produto dos erros absolutos respectivos correspondentes não pode ser inferior a uma constante definida.

Para um electrão esta constante é a unidade (C. G. S.). Portanto, considerando a velocidade de um electrão com a aproximação de um cm/s., é preciso considerar a sua posição como afectada de um erro possível de um cm.

A bizzarria não provém da existência destas incertezas, porque a partícula poderá ocupar uma posição imprecisa e variável no interior da qual poderiam existir velocidades ligeiramente diferentes, em pontos diferentes. Então, a exactidão na localização teria como consequência uma definição exacta da velocidade e vice-versa.

A posição de uma partícula é indicada pela extensão da onda e a velocidade pelos valores possíveis dos números de ondas, entendendo-se por número de onda o inverso do comprimento de onda. A cada número de onda pode-se fazer corresponder uma certa velocidade que lhe é proporcional. Pode-se, por outro lado, examinar o método experimental destinado a determinar quer a velocidade, quer a posição de uma partícula. Toda a montagem supõe uma troca de energia entre a partícula e um instrumento de medida, eventualmente, o observador que deve fazer as leituras. Isto implica uma relação física real com a partícula. Não se pode reduzir arbitrariamente a perturbação porque as trocas de energia não se fazem de uma maneira continua mas discontinuamente. Verifica-se que medindo um dos dois elementos (posição ou velocidade), quanto maior for a precisão, procurada para um, mais se interfere com o outro. O valor de um fica afectado de um erro inversamente proporcional ao que é permitido para o outro. Pelo que acabamos de dizer, parece que se pode concluir que a incerteza ou a falta de precisão se refere mais ao que se pode conhecer de uma partícula do que à sua natureza. Com efeito, dizer que se perturba ou altera uma grandeza física mensurável, implica logicamente que ela possua certos valores antes e após a sua intervenção, quer nós tenhamos ou não conhecimento disso. A opinião corrente não admite nem a posição nem a velocidade como realidades objectivas permanentes. O facto de se determinar a posição da partícula no ponto *A* não implica que ela já aí tenha estado.

É preciso compreendermos que os nossos métodos de medida fizeram com que a partícula se localizasse em *A*, e que ao mesmo

tempo perturbamos a sua velocidade. O que fizemos foi perturbar ou modificar a probabilidade de encontrar um certo valor para a velocidade se a medirmos. As noções que implicam as expressões «ocupar uma posição» ou «ter uma velocidade» são conceitos erróneos, consequências de uma linguagem incorrecta. Invoca-se então a filosofia positivista, que nos diz que não devemos estabelecer distinção entre o nosso conhecimento de um objecto físico e o seu estado real.

Não discutirei aqui o princípio da filosofia positivista. Admito perfeitamente que a relação de incerteza não tem nada que ver com o conhecimento incompleto.

Da teoria precedente retivemos a ideia de partícula e a linguagem técnica correspondente. Esta ideia não basta porque leva sempre o nosso espírito a procurar coisas que não tem manifestamente significado.

A sua estrutura concebida pela imaginação comporta características estranhas à partícula real.

Até uma época recente, os atomistas de todas as idades transferiram este carácter dos fragmentos visíveis e palpáveis da matéria, aos átomos que eles não podiam ver nem tocar, nem observar no estado isolado.

Agora podemos observar partículas isoladas; vemos os seus traços numa camara de Wilson e nas emulsões fotográficas; registamos as descargas praticamente simultâneas produzidas por uma única partícula rápida em dois ou três contadores de Geiger colocados a alguns metros uns dos outros; no entanto, temos que recusar à partícula a dignidade de individuo absolutamente identificável. Antigamente, um Físico interrogado sobre a substância de que um átomo é feito, teria podido sorrir e fugir à resposta. Se insistissem com ele para saber se se podia imaginar que os átomos são pequenos fragmentos de matéria ordinária, imutáveis, ele teria respondido sorrindo que isso não adiantaria nada, mas que se poderia supor que assim era. Esta pergunta outrora vã, tem agora um significado.

A resposta a tal pergunta deveria ter sido

indubitavelmente «não». Um átomo está desprovido da propriedade mais primitiva que se associa a um fragmento de matéria na vida cotidiana. Certos filósofos do passado teriam dito, perante esta contradição, que o átomo moderno não é matéria, mas pura forma. As razões desta mudança assentam sobre as novas estatísticas; a de Bose-Einstein e a de Fermi-Dirac.

Vou tentar explicar as novas estatísticas, e as suas relações com a estatística clássica ou de Boltzmann àqueles para quem o assunto é inteiramente novo. Para isso apresentarei um exemplo da vida corrente:

Três estudantes Pedro, Paulo e João merecem uma recompensa. O professor tem duas recompensas para lhes distribuir. Antes de o fazer, quer calcular por si próprio, o número de distribuições possíveis. Só isso nos interessa (e não a sua eventual decisão). Esta questão é de estatística: contar o número de distribuições diferentes. O que interessa no entanto, é o facto da resposta depender da natureza das recompensas. Com efeito, três espécies diferentes de recompensas correspondem a três géneros de estatísticas:

a) As duas recompensas são as medalhas da efigie respectivamente de Laplace, e de Pasteur. O professor pode dar Laplace quer a Pedro, quer a Paulo ou a João. O mesmo se diz no que respeita a Pasteur. Quer dizer: há nove distribuições diferentes (estatística clássica).

b) As recompensas são duas moedas de 1 shiling (que consideraremos como unidades indivisíveis). Podem-se dar a dois dos rapazes e terceiro não terá nada. Isto corresponde apenas a três possibilidades. Além desta, há mais três: quer Pedro, quer Paulo quer João, recebem 2 sh: há pois seis possibilidades diferentes (estatística de Bose-Einstein).

c) As duas recompensas são dois lugares vagos na equipe de futebol da escola. Neste caso, podem ficar nesses lugares dois dos rapazes e um fica de fora. Há pois três distribuições diferentes (estatística de Fermi-Dirac).

Poderemos agora considerar que as recom-

pensas são as partículas, duas da mesma espécie em cada caso e que os rapazes representam os estados em que a partícula se pode encontrar. O facto de dar a Paulo a efigie de Laplace significa pois que a partícula Laplace está no estado Paulo. Os objectos que consideramos (medalha, moeda, lugares vagos) são de espécies diferentes. As medalhas são indivíduos que se distinguem uns dos outros. Os shilings, em todas as suas utilizações não se distinguem, mas no entanto, pode-se possuir vários ao mesmo tempo. Não é indiferente ter um, dois ou três shilings. Não há razão para que os rapazes mudem os seus shilings. Mas tudo muda se um dos rapazes der o seu shiling ao outro. Quando se trata de lugares vagos na equipe, nada disso tem sentido. Ou se pertence à equipe ou não se pertence. Não se pode pertencer duas vezes simultaneamente. A experiência mostra que as distribuições estatísticas das partículas elementares nunca seguem o modelo (a) mas sempre (b) ou (c). Para alguns, (c) é válido para todas as partículas autenticamente elementares. Tais partículas como os electrões, fazem pensar na ideia abstracta de pertencer a um clube e não nos seus membros.

Toda a pessoa elegível como membro do clube representa um estado bem definido onde se pode encontrar um electrão., Se a pessoa for um membro do clube, isso quer dizer que o electrão se encontra nesse estado particular. Segundo o princípio da exclusão de Pauli não pode nunca haver mais de um electrão num determinado estado. A nossa comparação exprime este facto declarando que «pertencer duas vezes» não tem sentido. No decorrer do tempo, a lista dos membros muda, e tornam-se membros do clube outras pessoas: os electrões mudam de estado. Se se falar de modo pouco preciso de um lugar vago atribuído a Paulo, depois passando a Pedro e de Pedro a João, isso depende das circunstâncias. Elas podem sugerir esta ideia ou não, mas nunca de um modo absoluto. É nisso que a nossa analogia é perfeita, porque sucede o mesmo para um electrão. Além disso nada impede de considerar o número

de membros variável. De facto, os electrões também são criados e aniquilados. O exemplo pode parecer estranho e visto ao contrário. Pode-se perguntar porque é que os membros não seriam electrões e os diversos clubes os seus estados. Isto seria tão mais natural...

O Físico lamenta mas não pode prestar esse serviço.. Nisto reside o ponto culminante; não se pode ilustrar o comportamento estatístico dos electrões por nenhuma analogia que os representa como seres identificáveis; é por isso que resulta do seu comportamento estatístico real que eles não são identificáveis. O caso (b) estatística de Bose-Einstein é por exemplo, o dos quantos de luz (fotões). Isto não nos parece tão estranho. Justamente porque se trata de luz, quer dizer de energia electromagnética; e, nos tempos pre-quânticos, concebeu-se sempre a energia de modo bem semelhante à representação da nossa analogia: susceptível de medição, mas sem individualidade.

A questão mais delicada diz respeito aos estados, por exemplo, de um electrão. Não se trata de os definir à maneira clássica, mas à luz das relações de incerteza. O tratamento anterior não se baseava na noção de estado de um electrão mas no estado de uma reunião de electrões. É como se fosse necessário considerar a lista total dos membros do clube ou antes várias listas de lugares vagos correspondentes às diferentes espécies de partículas que compõem o sistema em questão. Se chamamos a atenção para este facto, não é para entrar em detalhes, mas porque há dois defeitos na comparação com os clubes. Em primeiro lugar, os estados possíveis de um electrão (que comparamos com os candidatos aos lugares vagos do clube) não são definidos de modo absoluto; depende do arranjo ocasional da experiência.

Uma vez conhecido este, os estados têm identidades bem definidas, o que não é o caso dos electrões. O segundo defeito da comparação consiste em os estados formarem uma multiplicidade bem ordenada. Por outras palavras tem algum significado falar de estados vizinhos, por oposição aos afastados uns dos

outros. Por outro lado, creio que é justo dizer que se pode conceber esta ordem de tal modo, que em regra, quando um estado ocupado deixa de o estar, passa a ocupar o estado vizinho. Isso explica que em circunstâncias favoráveis, se possam provocar longas cadeias de estados ocupados sucessivamente. Tal cadeia dá a impressão de um indivíduo identificável como no caso de um objecto familiar qualquer. É com esse espírito que se deve observar os traços de uma câmara de Wilson ou as descargas praticamente simultâneas de uma série de contadores de Geiger, que se diz serem causados pela mesma partícula passando de um para outro contador. Nesse caso, seria muito pouco cómodo abandonar esta terminologia. Não há de resto nenhuma razão para o fazer, desde que nos lembremos que, no domínio experimental, o conceito de identidade de partícula não é absoluto, mas apenas restricto. Pode-se prever facilmente em que circunstâncias se manifestará essa identidade: é no caso de apenas alguns estados serem ocupados no domínio da multiplicidade que nos interessa, ou, por outras palavras, dos estados ocupados não serem bastante numerosos neste domínio, ou quando a ocupação é um acontecimento raro. Os termos «alguns», «numerosos» e «raros» referem-se todos à multiplicidade de estados. Além disso, as cadeias misturam-se de modo inextrincável e mostram a verdadeira situação.

Tem-se a impressão que na medida em que a individualidade das partículas desaparece atrás da multiplicidade, o aspecto partícula toma cada vez menos interesse e deve dar lugar ao aspecto ondulatorio. Por exemplo, no invólucro electrónico de um átomo ou de uma molécula a população é extremamente densa e praticamente todos os estados de um dado grupo são ocupados por electrões. Isto ainda é verdadeiro para os electrões livres no interior do metal. Nestes dois casos o aspecto partícula torna-se absolutamente inadequado. Num gás ordinário as moléculas são extremamente raras no domínio dos extensos estados que elas abrangem.

Não há mais de um estado ocupado em

10000. É assim que a teoria dos gases baseada no conceito de partícula pôde chegar a uma grande perfeição, muito antes de se descobrir o aspecto ondulatorio da matéria ordinária. É tentador atribuir aos dois aspectos antinómicos, o da partícula e o da onda, inteira competência nos casos extremos respectivamente de rarefação e de multiplicidade.

Indicaram-se experiências de interferência como prova da natureza ondulatoria do electrão. Podem obter-se estas figuras de interferência a partir de um feixe de raios catódicos, tão fraco quanto se queira, com a condição de prolongar bastante a exposição. Provoca-se assim um fenómeno ondulatorio típico independente da população.

Vejamos outro exemplo: Para fazer um estudo teórico eficaz do choque de duas partículas (da mesma natureza ou de natureza diferente), é preciso ter em atenção o seu aspecto ondulatorio. Os resultados aplicam-se perfeitamente à colisão das partículas de raios cósmicos com os núcleos de átomos atmosféricos.

É pois necessário saber qual a condição quantitativa segundo a qual se desenvolvem as cadeias de modo a imitar os indivíduos e a sugerir o aspecto de partícula. O produto do momento  $p$  e da distância média das partículas vizinhas, deve ser notavelmente mais elevado do que a constante de Planck  $h \rightarrow pl \gg h$ ; quando  $l$  é grande tem-se uma pequena densidade no espaço ordinário. Na multiplicidade de estados o que conta é a densidade ou espaço de fase em termos técnicos. É uma satisfação lembrarmo-nos que essas multiplicidades são absolutamente evidentes: os traços visíveis da câmara de Wilson, impressão de uma emulsão fotográfica, etc. provêm todos de partículas com um movimento relativamente grande.

A relação  $pl \gg h$  é familiar na teoria dos gases; exprime a condição para que a antiga teoria das partículas gasosas seja utilizável com uma aproximação suficiente. É preciso modificar esta teoria à luz da teoria dos quantos, quando a temperatura é muito baixa e a densidade muito forte, e que, por conse-

quência o produto  $pl$  não é muito superior a  $h$ . Esta variação tem o nome de *teoria dos gases degenerados*: a sua aplicação mais conhecida é a de A. Sommerfeld aos electrões interiores de um metal. A relação de incerteza permite em cada momento distinguir uma partícula das vizinhas, localizando com um erro inferior á distância média  $l$ . Por consequência á medida que uma partícula se desloca, cresce a incerteza da localização. Se quizermos que ela fique ainda inferior a  $l$ , quando a partícula percorreu a distância  $l$ , chega-se precisamente á relação acima escrita.

Uma vez mais, é preciso precaver-mos contra uma falsa interpretação que poderia surgir e que consistiria em afirmar que a multiplicidade entrava o registo da individualidade de uma partícula e nos faz tomar as partículas umas pelas outras. O facto é que não existem indivíduos que se possam confundir. Tais afirmações não têm nenhum sentido.

Extracto do artigo  
«Qu'est-ce qu'une particule élémentaire»  
de Schrödinger — *Endeavour*, 35, 1950.

TRADUÇÃO DE  
LÍDIA SALGUEIRO

## 11. QUÍMICA

### EXAMES DE ENSINO MÉDIO

**Exames de aptidão para frequência das licenciaturas em Ciências Matemáticas, Ciências-Físico-Químicas e Ciências Geofísicas, preparatórios para as escolas militares e curso de engenheiros geógrafos. — 1951, Agosto.**

Ponto n.º 1

**92** — A decomposição pelo calor do carbonato bázico de bismuto obedece á equação química:



Calcule:

1.º O número de moléculas — grama de  $\text{CO}_2$  que acompanha a formação de 69,9 gramas de  $\text{O}_3\text{Bi}_2$ .

2.º O volume de gás ( $\text{CO}_2$  + vapor de água), medido nas condições normais, que acompanha a formação de 0,466 gramas de  $\text{O}_3\text{Bi}_2$ . ( $\text{Bi}=209$ ;  $\text{O}=16$ ).

R: 1.º 0,300 moles. 2.º 67,2  $\text{cm}^3$ .

**93** — Qual é a composição, expressa em percentagem, de um latão contendo cobre, chumbo e zinco, do qual 0,5 g dá 0,0023 g de sulfato de chumbo e 0,4108 g de fosfato de zinco e amónio. ( $\text{Pb}=207,2$ ;  $\text{Zn}=65,38$ ;  $\text{P}=30,98$ ;  $\text{S}=32$ ,  $\text{N}=14$ ;  $\text{H}=1$ );

R: A massa de  $\text{SO}_4\text{Pb}$  correspondente á massa de latão de onde se partiu (0,5 g), permite calcular a percentagem de chumbo — 0,3140%. A massa de  $\text{PO}_4\text{ZnNH}_4$  fornece a percentagem de zinco — 30,12%.

A percentagem de cobre calcula-se por diferença — 69,57%.

**94** — Qual o número de centímetros cúbicos de ácido sulfúrico de molaridade 2,3 que são neutralizados por 15,8  $\text{cm}^3$  de soda cáustica de normalidade 3,2? R: Um mol de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  <> 2 equivalentes-g  $v=11,0 \text{ cm}^3$ .

**95** — a) Escreva as equações químicas que traduzem o ataque do cobre pelo ácido azótico e a acção duma solução de ácido clorídrico sobre uma solução de nitrato de prata. b) Escreva as fórmulas de constituição dos hidrocarbonetos cuja fórmula bruta é  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . c) Escreva as fórmulas dos seguintes compostos: fosfato monocalcico, bicarbonato de sódio, sulfato ferroso; acetona ordinária e aldeido acético.

**Exames de aptidão para a frequência da licenciatura em Ciências Geológicas e Ciências Biológicas e do Instituto Superior de Agronomia — 1951, Agosto.**

Ponto n.º 1

**96** — Enunciar a lei das proporções múltiplas. Dois óxidos, A e B, dum certo metal, aqueceram-se até peso constante, numa corrente de hidrogénio; a água obtida em cada caso foi pesada. Obtiveram-se os seguintes resultados: 2 g de A deram 0,2517 g de água; 1 g de B deu 0,2264 g de água. Mostrar que estes resultados experimentais confirmam a lei.

R: No primeiro óxido (A), com 0,1119 g de oxigénio estão combinados 0,8882 g de metal; e, no segundo óxido (B), com 0,2009 g de oxigénio estão combinados 0,7991 g de metal.

Com 1 g de oxigénio combinam-se, portanto, em A, 7,93 g de metal, e em B, 3,97 g. Êstes dois últimos números estão na razão de 2:1, de acordo com a lei.

**97** — Definir peso molecular.

A densidade de vapor, em relação ao ar, duma amostra de tetróxido de azoto, é 2,302. Como interpreta o resultado experimental?

R:  $M = 29 \times 2,302 = 66,76$ . Como  $\text{N}_2\text{O}_4 = 92$ , conclui-se que o tetróxido está parcialmente dissociado.