

## O aperfeiçoamento do processo fotográfico para o registo do rasto de partículas nucleares \*

No progresso que se tem alcançado nos estudos de Física Nuclear, há dois tipos de instrumentos utilizados na detecção de partículas carregadas e na revelação dos rastos que as mesmas produzem ao atravessarem a matéria, que têm desempenhado um papel decisivo. São os contadores e os registadores de rastos. Neste artigo ocupar-me-ei do segundo destes tipos de instrumentos para cujo aperfeiçoamento tem sido dada uma decisiva contribuição, durante os últimos cinquenta anos, pelos laboratórios britânicos.

O instrumento desta natureza, na sua forma original, foi inventado pelo meu antigo professor, C. T. R. Wilson. No período compreendido entre os anos de 1900 e 1910, conseguiu ele demonstrar que a passagem de uma partícula carregada através de um gás saturado de vapor de água podia ser revelada por meio de uma súbita expansão do gás, imediatamente antes e imediatamente depois da passagem da partícula. O ar, em virtude da expansão, tende a tornar-se hipersaturado e o vapor de água, em condições apropriadas, começa a condensar, em pequenas gotículas, nos iões e electrões, carregados, individuais, produzi-

dos no gás pelas partículas que o atravessam.

*As partículas escrevem a sua assinatura.*

A grande vantagem da câmara de expansão de Wilson foi o facto de ter dado uma imagem pormenorizada da ionização em virtude das partículas individuais; em condições propícias, cada partícula escreve, por assim dizer, a sua própria assinatura, reduzindo desta maneira ao mínimo as ambiguidades na interpretação dos fenómenos.

Antes do invento, com êxito, da câmara de Wilson, muitos dos aspectos das interacções entre os núcleos de átomos e dos processos relativos à ionização de um gás por diferentes radiações, eram conhecidos apenas por ilações tiradas através de um variadíssimo número de ensaios feitos com outros aparelhos. Todavia, com a câmara de Wilson, estes processos foram postos em evidência em toda a sua riqueza e variedade.

Para uma geração que recorda o nível dos conhecimentos adquiridos pela ciência há 40 anos, quando a maioria dos mais eminentes cientistas da época pensava ser improvável que pudéssemos alguma vez penetrar na estrutura do átomo — e quando para alguns deles a própria ideia do átomo não era mais que uma ficção — as fotografias de Wilson eram quase uma revelação

\* Este artigo faz parte de uma série especial de artigos escritos por proeminentes cientistas ingleses para comemorar o tricentésimo aniversário da Real Sociedade de Londres para a Divulgação das Ciências Naturais, em Julho de 1960.

mágica de um mundo novo. As fotografias de Wilson da ionização de um gás por raios X e, pouco depois, as fotografias de Blackett das colisões de partículas alfa com os núcleos e as desintegrações que as mesmas produziram, constituíram uma demonstração final de uma clareza sem paralelo que, sem sombra de dúvida, produziram em todos uma inabalável convicção.

#### *Câmara de Wilson inteiramente automática*

Para a obtenção de fotografias de ocorrências de natureza especial, foi necessário, em alguns ensaios, tornar automático o funcionamento da câmara. Assim, a zona de colisão de partículas alfa com os núcleos de átomos é tão pequeno que existe a probabilidade de apenas umas poucas partes num milhão poderem colidir com tais partículas, quando estas atravessam um gás, antes de chegarem ao ponto final do seu alcance. Para demonstrar a desintegração do azoto por partículas alfa, Blackett e os seus colegas inventaram a câmara automática de Wilson, pela qual puderam conduzir com êxito a série necessária de ensaios para fotografar os rastos. Mais tarde, Blackett e Occhialini inventaram uma câmara de Wilson com contador, na qual as partículas carregadas, em virtude da radiação cósmica, ao passarem através dos contadores Geiger, instalados por cima e por baixo da câmara, provocavam a sua expansão; a passagem das partículas produzia, assim, a sua própria fotografia.

Não obstante o facto de, em trabalhos com potentes aceleradores, a câmara de Wilson ter sido substituída por câmara de bolha, principalmente porque esta pode funcionar com hidrogénio líquido, muitas das características básicas mecânicas da câmara de Wilson de tipo automático e de contador, foram introduzidas no funcionamento dos novos instrumentos. Deve ainda dizer-se que as possibilidades que a câmara de Wilson tem de revelar os mínimos pormenores do processo de ioni-

zação não foram até agora igualadas por nenhuns outros instrumentos.

#### *O que determinou o uso da emulsão.*

A câmara de expansão de Wilson tem a desvantagem de registar os rastos, em condições normais apenas durante um cinqüentésimo de segundo. Como a preparação da máquina para nova operação leva somente um minuto, o período de tempo que dura essa operação, isto é, o tempo útil gasto no mesmo, é muito pequeno. Esta característica da câmara de Wilson fez com que se estudasse a possibilidade do emprego de emulsões fotográficas para o registo directo dos rastos, uma vez que estas teriam a vantagem de serem continuamente sensíveis durante longos períodos de tempo. Uma emulsão consiste em miríades de microcristais de um halóide de prata embebidos em gelatina. Tinha-se a impressão de que a passagem de partículas carregadas permitiria que alguns desses microcristais, penetrados pelas mesmas, se tornassem reveláveis, de maneira que o rasto observado ao microscópio, na emulsão tratada, apareceria como uma cadeia de grânulos brancos de prata revelada, como missanga preta enfiada numa linha invisível.

As primeiras experiências, incluindo as de Walmsley e Makower, bem como as de Kinoshita, que trabalhava no Laboratório de Rutherford, em Manchester, no período compreendido entre os anos de 1909-1914, demonstraram que era de facto possível registar os rastos de partículas alfa em algumas das emulsões fotográficas existentes nessa época no mercado. Contudo, o número de grânulos nos rastos era pequeno, sendo por isso os rastos extremamente tênues.

#### *As primeiras desvantagens*

Nas emulsões inicialmente utilizadas, o volume ocupado pelos cristais do halóide

de prata era de cerca de um oitavo em relação ao da gelatina em que os mesmos estavam embebidos. Em virtude deste facto, os grânulos individuais no rasto de uma partícula alfa encontravam-se muito afastados, pelo que o verdadeiro começo e o fim de um rasto eram, frequentemente, ambíguos. Além disso, os rastos de electrões e de outras partículas fracamente ionizadas, não podiam ser reconhecidos nas emulsões utilizadas, o que não permitia comparar satisfatoriamente os fenómenos registados com os efeitos produzidos por idênticos processos numa câmara de Wilson. E, finalmente, a espessura da emulsão vulgar existente era inferior a um vigésimo de um milímetro, de forma que as partículas rápidas que se produziam na emulsão saíam da mesma antes de alcançarem o ponto final do seu alcance. Assim, os seus rastos eram incompletos.

As deficiências das emulsões então existentes tiveram como resultado o facto de o método ter tido durante mais de 20 anos relativamente pouco interesse. Nos primeiros anos do decénio de 1930-40, todavia, Blau e Wambacker voltaram a considerar o uso de emulsões e demonstraram que os rastos de protões, bem como de partículas alfa, podiam ser registados em algumas emulsões comerciais. Efectuaram ensaios com os protões que recuam após o choque provocado pelos neutrões rápidos, bem como os provenientes de desintegrações nucleares, produzidos pelas partículas alfa velozes, de substâncias radioactivas.

Nessas experiências, as dificuldades encontradas também eram as mesmas: que o aparente comprimento dos rastos observados dava uma medida inexacta do verdadeiro alcance de uma partícula e, consequentemente, da sua energia inicial. Mais tarde, Blau e os seus colegas, demonstraram que era igualmente possível registar os rastos produzidos por desintegrações nas altitudes de montanhas por partículas de radiação cósmica.

*As primeiras experiências.*



O Prof. C. F. Powell, do Laboratório de Física de Wills, Bristol, Inglaterra.

leves tais como o lítio, o berílio e o boro. O nosso projecto inicial era utilizar a câmara de Wilson para a detecção dos protões projectados pelos neutrões, mas W. Heitler, que nessa época trabalhava em Bristol, chamou a nossa atenção para os estudos de Blau sobre as radiações cósmicas com películas fotográficas. Procedemos então a um ensaio sobre o Jungfrauoch com uma série de placas expostas com diferentes espessuras de chumbo, tentando medir o grau de absorção do componente da radiação cósmica que originou as «estrelas» observadas, nome pelo qual são conhecidas as desintegrações nucleares.

Estas experiências sobre radiações cósmicas familiarizaram-nos com os aspectos elementares do método fotográfico, pelo que decidimos utilizá-lo em substituição da câmara de Wilson, a fim de observar os prótons projectados pelos neutrões rápidos. Utilizando chapas Ilford «half-tone», verificámos que, após uma exposição de cerca de uma hora, da chapa, com a área superficial de dois centímetros quadrados, sendo a espessura da emulsão de 30 milésimos de milímetro, podíamos, depois de revelar a chapa, medir, por intermédio do microscópio, centenas de rastros produzidos pelo recuo dos prótons, no decurso de algumas horas. O espectro da energia dos neutrões assim determinado, dentro de um ou dois dias, era superior, em exactidão, ao obtido no decurso de seis meses de trabalho por experiências feitas com a câmara de Wilson. Era evidente que, para tais experiências, o método fotográfico tinha importantes vantagens.

#### *Vantagens imprevistas.*

Na ocasião em que foram feitas as experiências ainda não estávamos em dia com a literatura publicada sobre o assunto. Por um lado penso que isto foi uma vantagem porquanto, se possuíssemos os conhecimentos de todas as experiências infrutíferas que haviam sido feitas para determinar o «espectro de energia» de partículas carregadas, talvez tivéssemos desistido da nova tentativa. De facto tivemos sorte porquanto as emulsões inicialmente existentes no mercado, que eram fabricadas para variados fins, não se mostravam uniformes na sua utilização para o registo dos rastros. Além disso não se atendia ainda nessa época às falhas da imagem latente e às condições apropriadas para a sua conservação. Por mero acaso as primeiras chapas que utilizámos eram de sensibilidade relativamente alta. A segunda vantagem de que beneficiámos foi o facto de, ao contrário do sucedido com os primeiros cientistas que haviam

utilizado material radioactivo relativamente fraco para produzir desintegrações, termos conseguido raios homogéneos de grande intensidade. Demonstrámos assim, de maneira concludente, algumas das importantes vantagens do método.

#### *Inovação técnica.*

Em 1945, quando findou a guerra, havia sido estabelecido um modesto centro de estudos de Física nuclear por emulsão fotográfica mas, em virtude da ténue aparência dos rastros obtidos, tais estudos pouco haviam progredido. Fizeram-se tentativas para aumentar a sensibilidade da emulsão e a proporção da mesma, mas sem grandes resultados. Todavia, em 1945, por meio de uma inovação técnica nos métodos de fabrico, Dodd e Waller, da Ilford Ltd., de Londres, conseguiram produzir emulsões em que a proporção de halóide em relação à gelatina foi aumentada acima dos limites normais em cerca de oito vezes e, quase ao mesmo tempo, Demers, no Canadá, conseguiu idênticos resultados no seu próprio laboratório.

As vantagens das emulsões concentradas evidenciaram-se com resultados imediatos. Os rastros de partículas alfa provenientes de substâncias radioactivas assumiram quase a forma de sólidas varas de grânulos ampliados; e, mesmo quando se tratava de partículas de fraca ionização como os prótons rápidos, os rastros eram visíveis distintamente. Estes progressos vieram aperfeiçoar o método fotográfico e a exactidão das medições feitas com o mesmo, mas o alcance das suas possibilidades somente chegou a ser apreciado totalmente depois da realização de novas experiências com radiações cósmicas.

Em 1945, em colaboração com Occhialini, acabávamos de regressar a Bristol vindos do Brasil. Procedemos a ensaios de exposição com as novas emulsões em Pic du Midi, nos Pirenéus, enquanto Perkins fazia idênticas experiências sobre o

Jungfraujoch, no Colégio Imperial de Londres. Quando as chapas foram reveladas e examinadas ao microscópio, verificou-se imediatamente que havia sido posta em evidência uma nova categoria de fenómenos.

#### *Desintegração de núcleos.*

Uma das primeiras descobertas feitas independentemente por Perkins e por nós, em Bristol, foi a desintegração de núcleos por partículas depois de terem atingido o ponto final do alcance na emulsão. A massa destas partículas podia ser calculada pelas características dos seus rastros e verificou-se ser entre 200 e 300 vezes a do electrão. Julgou-se, de início, que se tratava de mesões negativos «mu», descobertos em 1936-38 por Anderson e Neddermeyer, mas logo depois foram encontrados exemplos, em Bristol, da chamada corrupção de «pi» e «mu».

Bem depressa se demonstrou a descoberta de nova partícula elementar, o mesão «pi», a qual podia existir quer com carga positiva, quer com carga negativa. As partículas positivas, quando se encontram em repouso na matéria, não podem aproximar-se de núcleos em virtude da repulsão entre cargas do mesmo sinal. Permanecem no estado livre e degeneram com uma vida média de cerca de  $2,6 \times 10^{-8}$  segundos. Por outro lado as partículas negativas são atraídas pelos núcleos, com os quais estabelecem uma interacção, sendo a energia correspondente à massa, em que se encontram, fornecida para produzir a desintegração do núcleo que as sustém.

A descoberta do mesão «pi» revelou uma série de características do método fotográfico de importância capital para a sua utilização nos novos tipos de partículas elementares durante os dez anos seguintes. A sensibilidade contínua da emulsão mostrou permitir o registo de

fenómenos raros, em exposições de longos períodos de tempo.

#### *A observação torna-se mais íntima*

Em segundo lugar, a observação dos fenómenos é tão perfeita e íntima, que basta um simples exemplo do novo método para determinar o verdadeiro valor do seu alcance. Outros exemplos, que poderíamos citar, forneceram também provas concludentes.

Em terceiro lugar, a emulsão é um sólido cuja densidade é cerca de 2000 vezes maior que a de um gás à pressão e temperatura normais. Por conseguinte, uma partícula, com uma determinada energia, pára, na emulsão, após um percurso e período de tempo cerca de 2000 vezes mais curto do que na câmara de Wilson. Conclui-se, assim, que as partículas de vida média entre  $10^{-8}$  e  $10^{-10}$  segundos, quando produzidas por desintegrações nucleares numa emulsão, são geralmente sustadas na mesma antes de degenerarem, ao passo que num gás elas quase que degeneram invariavelmente ainda durante o movimento.

Existem vantagens importantes no estudo da degenerescência de partículas em repouso, porquanto a soma dos vectores dos impulsos das partículas secundárias deve, nesse caso, ser zero. Por outro lado, quando, como sucede no gás, elas degenerem em vôo, torna-se necessário conhecer o impulso de uma partícula primária no momento da sua degenerescência, se o princípio da conservação do impulso for aplicado à análise da transformação.

Nos dez anos que se seguiram à descoberta do mesão «pi», foi largamente utilizado o método fotográfico tanto nos estudos sobre desintegrações nucleares produzidas por partículas de radiações cósmicas, como nas pesquisas de raios rigorosamente controlados de partículas produzidas pelos grandes aceleradores quando estes foram postos em funcionamento.

*Estudos com balões*

Verificou-se que o método era especialmente apropriado para o estudo de radiações cósmicas com balões, porquanto era apenas necessário manter a emulsão a grande altitude durante determinado tempo, recolhendo-se depois o material para revelação e exame ao microscópio. Há, assim, ausência completa de quaisquer complicações associadas com o uso de aparelhos auxiliares. E, para um trabalho desta natureza, a sensibilidade contínua constitui uma vantagem decisiva. As mais importantes descobertas no que diz respeito a partículas elementares feitas pelo método fotográfico, no período compreendido entre 1947 e 1959, estão registadas no quadro anexo a este artigo.

Muitas das descobertas mencionadas no quadro foram largamente secundadas por dois importantes progressos técnicos, que permitiriam a revelação de rastros distintos mesmo para as mais fracas partículas ionizadas que são conhecidas, como por exemplo, os electrões rápidos. O segundo, foi o aparecimento de emulsões muito mais espessas do que as utilizadas nas chapas fotográficas clássicas e sem qualquer aditivo de vidro.

*Colaboração internacional*

Pela sobreposição de muitas folhas de emulsão tornou-se possível conseguir um grande volume de sensibilidade para os rastros a registar, ao passo que, anteriormente, apenas se dispunha de uma só camada de emulsão. Assim, apenas uma pequena parte das partículas carregadas provenientes de desintegrações produzidas na mesma podia ser observada até atingir o ponto final do seu alcance. Porém, com as novas condições, os rastros podem ser observados através das emulsões colocadas em pilha. O campo para a utilização do método teve, assim, um grande incremento. Conseguiu-se observar o rasto, até

ao fim do seu alcance, de partículas de muito maior energia do que a verificada anteriormente, e determinar a respectiva natureza e a energia dos gases. Enquanto as primeiras experiências sobre as radiações cósmicas, em 1947, haviam sido feitas com emulsões com o volume total de cerca de 0,1 centímetros cúbicos, já em 1955 foram utilizadas pilhas constituídas por várias centenas de folhas de espessura de 0,6 milímetros e com o volume total de 7 dm<sup>3</sup>.

Foram estes os aperfeiçoamentos que forneceram a base necessária, bem como a experiência, para uma vasta colaboração internacional no estudo das colisões nucleares com energias extremamente elevadas que actualmente se tem promovido. Estas operações implicam a exposição de pilhas, com o volume de 80 dm<sup>3</sup>, às radiações cósmicas, a uma altitude superior a 100 000 pés durante períodos de cerca de 20 horas.

**A descoberta das partículas elementares**

Mapa mostrando os instrumentos utilizados na descoberta de várias partículas elementares pelo Prof. C F. Powell e sua equipa, no Laboratório de Física de Wills, em Bristol, Inglaterra.

Partícula	Origem da radiação	Comportamento específico da medição	Aparelhos usados para detecção
$e^-$	tubo de descarga	razão $e/m$	alvo fluorescente
$e^+$	raios cósmicos	razão $e/m$	câmara de nevoeiro de Wilson
$\mu^+$ $\mu^-$	raios cósmicos	ausência de perda de radiação através de Pb (desintegração em repouso)	câmara de nevoeiro de Wilson
$\pi^+$	raios cósmicos	desintegração $\pi - \mu$ em repouso	emulsão nuclear
$\pi^-$	raios cósmicos	interacção nuclear em repouso	emulsão nuclear
$\pi^0$	acelerador	desintegração em raios $\gamma$	contadores
$K^+$	raios cósmicos	desintegração $K_{\pi 3}$	emulsão nuclear

Partícula	Origem da radiação	Comportamento específico da medição	Aparelhos usados para detecção
$K^-$	raios cósmicos	interacção nuclear em repouso	emulsão nuclear
$K^0$	raios cósmicos	desintegração em $\pi^+ + \pi^-$ (em movimento)	câmara de nevoeiro de Wilson
$n$	polónio + berílio	determinação da massa a partir de colisões elásticas	câmara de ionização
$\bar{p}$	acelerador	medição de $e/m$ e detecção por aniquilação	contadores
$n$	acelerador	detecção por aniquilação	contadores
$\Lambda^0$	raios cósmicos	desintegração em $p^+ + \pi^-$ (em movimento)	câmara de nevoeiro de Wilson
$\Lambda^0$	acelerador	desintegração em $\bar{p} + \pi^+$ (em movimento)	emulsão nuclear

$\Sigma^+$	raios cósmicos	desintegração em repouso	emulsão nuclear
$\Sigma^-$	acelerador	desintegração em $\pi^- + n^0$ (em movimento)	câmara de difusão
$\Sigma^0$	acelerador	desintegração em $\Lambda^0 + \gamma$ (em movimento)	câmara de bolha
$\Xi$	raios cósmicos	desintegração em $\pi^- + \Lambda^0$ (em movimento)	câmara de nevoeiro de Wilson
$\Xi^0$	acelerador	desintegração em $\pi^0 + \Lambda^0$ (em movimento)	câmara de bolha

C. F. POWELL

Laboratório de Física H. H. Wills,  
de Bristol, Inglaterra

## Considerações sobre o Princípio de Arquimedes

É sabido que um corpo, quando mergulhado num líquido, fica sujeito a uma impulsão que, em virtude de actuar em sentido contrário ao do seu peso, o torna mais leve. O corpo *pesa* menos dentro do líquido. Ao *peso* que o corpo assim apresenta chama-se *peso aparente*.

Embora se trate de uma aparência o certo é que tudo se passa, na realidade, como se o peso do corpo fosse esse, conforme se pode verificar experimentalmente. Aqui a palavra *aparente* só tem significado quando se deseja reservar a palavra *peso*, que a antecede, para com ela denominar a intensidade da força a que o corpo estaria sujeito no campo de forças da gravidade, no vazio. Sem querermos discutir a boa ou má precisão do termo, interessa-nos considerar apenas o caso que a realidade nos apresenta: um corpo mergulhado num líquido *pesa* menos do que se estivesse no ar.

A verificação deste facto é do conhecimento de todos; recordamo-la apenas para metodizar o que estamos dizendo. Suspende-se um corpo no gancho de um dos pratos de uma balança e equilibra-se com tara colocada no outro prato. Introduce-se então o corpo no líquido contido num vaso, dispondo este de modo que não tenha qualquer acção sobre o prato da balança. Ver-se-á assim que esta se inclina para o lado da tara o que denota que o corpo está agora mais leve.

O caso é tão simples e conhecido que nem merecia ser citado se não fosse agora o interesse de o pormos em paralelo com uma outra situação de certo modo semelhante. Dispense-mos, por momentos, o auxílio da balança e pensemos num copo com o líquido, suponhamos água (incompletamente cheio para que nenhuma porção do líquido se verta quando nele se introduzir o corpo), que temos sobre a