

estabeleça a equação das dimensões e determine as relações entre as três unidades.

146 — Calcule a variação de energia interna e da entropia dum gás perfeito quando uma molécula-gama sofre uma transformação isotérmica que lhe torna o volume 2,718 vezes maior. R: — Na expansão isotérmica $\Delta U=W+Q=0$; logo a variação de energia interna $\Delta U=0$ e $Q=-W$. A variação de entropia é dada por $\Delta S=\int dQ/T$; para $T=const.$, $\Delta S=1/T \int dQ=\Delta S=Q/T$, mas como $Q=-W$ tem-se $Q=-W=+\int_{v_1}^{v_2} pdv=$
 $=RT \int_{v_1}^{v_2} dv/v=RT \text{Log } v_2/v_1$, portanto

$$\Delta S=R \text{Log } v_2/v_1,$$

substituindo valores vem

$$\Delta S=8,314 \times 10^7 \text{ cal/grau.}$$

147 — Calcule a energia que se liberta quando se interrompe a corrente de 2,00A que percorre um solenoide de 20,0 cm de comprimento constituído por 100 m de fio condutor no ar. R: — A energia libertada quando se interrompe a corrente I, que percorre um solenoide, sem considerar a energia correspondente ao efeito Joule,

$$é W = \int_0^I Lidi = L \int_0^I idi = Li^2/2 \text{ em que } L=47\pi\mu N^2s/1.$$

Pelos dados do problema tem-se que o comprimento do fio do enrolamento é $100 \times 10^2 \text{ cm} = 2\pi rN$ e que $s = \pi r^2 = (100 \times 10^2)^2 / 4\pi N^2$, sendo r o raio de cada espira e N o número total de espiras, o que dá $L = \mu(10^4)^2/1$. Portanto $W = \mu(10^4)^2 I^2 / 2l$, substituindo $\mu = 1 \text{ U}$. Em, $I = 2,00 \times 10^{-1} \text{ U}$. Em e $l = 20,0 \text{ cm}$ vem finalmente $W = 10^5 \text{ ergs}$.

F. C. L. — Electricidade — 2.º Ex. de freq. 1946-47.

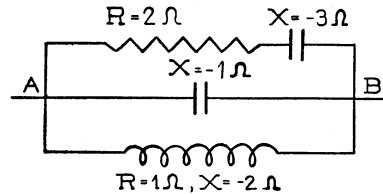
148 — a) Lei de Joule da corrente alternada; electrómetro de Lippmann. b) Diga o que é e figure a característica externa do dínamo-série, derivação e composto. c) Esquema e funcionamento da bobina de

Rhumkorff; diga como pode carregar um condensador com esta bobina.

149 — a) Alto-falante electrodinâmico; contador eléctrico. b) Ponte dupla de Kelvin. c) Equações de passagem.

150 — a) Teoria do super-condutor; realização experimental. b) Dispersão no domínio dos raios X

151 — Dado o esquema:



Calcule a impedância equivalente ao circuito e tang ϕ sendo ϕ a d.d.f. entre a corrente e a tensão entre A e B. R: — Representando por $1/Z'$ o inverso da impedância complexa entre A e B e por $1/Z_1 = 1/R_1 + jX_1$; $1/Z_2 = 1/R_2 + jX_2$ e $1/Z_3 = 1/jX_3$ os inversos das impedâncias de cada um dos circuitos em paralelo dados no esquema tem-se $1/Z' = 1/Z_1 + 1/Z_2 + 1/Z_3$; ou ainda

$$1/Z' = [(R_1R_2 - X_2X_3 - X_1X_3 - x_1X_2) + j(R_2X_3 + R_1X_3 + R_1X_2 + R_2X_1)] : [(-R_1X_2X_3 - R_2X_1X_3) + j(R_1R_2O_3 - X_1X_2X_3)].$$

Substituindo nesta expressão as letras pelos valores numéricos, efectuando as operações e invertendo vem $Z' = (1-8j)/(7-2j) = 0,4-j$. O módulo da impedância complexa Z' é a impedância Z do circuito e o seu argumento é a d.d.f. ϕ entre a corrente e a tensão. Logo $Z = \sqrt{0,4^2 + 1^2} = 1,1 \text{ Ohms}$ e $\text{tang } \phi = -1/0,4 = -2,5$.

Resoluções de GLAPHYRA VIEIRA

6. PROBLEMAS DA INVESTIGAÇÃO EM FÍSICA

OS MESÕES

Non multa, sed multum

Acabamos de receber uma informação sensacional: a produção de mesões no grande ciclotrão de Berkeley. A nossa admiração junta-se ainda a surpresa agradável de sabermos que um dos autores da notável descoberta foi um físico brasileiro, o Dr. C. M. G. Lattes.

Por se tratar duma questão pouco ven-

tilada entre o público, mesmo científico, parece-nos indispensável procurar expôr, embora rapidamente, os precedentes da grande descoberta e o significado do seu alcance.

Também desejamos que os nossos leitores saibam como foi possível publicarmos em Abril, em Portugal, fotografias e resultados originais que nos próprios Estados Unidos

só foram divulgados a partir do dia 8 de Março. Devemos esta excepcional oportunidade à acção dum colaborador e amigo, o Dr. Hugo Ribeiro (actualmente professor de Matemática na Universidade de Berkeley), junto do próprio Dr. Lattes. Este teve a amabilidade de entregar ao Dr. Ribeiro, expressamente para a Gazeta de Física, um dos 100 únicos exemplares da comunicação cujo resumo reproduzimos adiante em português. A ambos os nossos melhores agradecimentos e ao Dr. Lattes a expressão da nossa sincera admiração pelo seu maravilhoso trabalho.

* * *

Para assentar ideias diremos desde já que o mesão (ou mesotráo) é uma partícula «inventada» pelo grande fisico japonês Yukawa, em 1935, para explicar a grandeza das forças nucleares que, nos núcleos, ligam entre si prótons e neutrões. Em 1937 verificou-se que na radiação cósmica existiam partículas que, pelas suas propriedades, deviam ser do tipo imaginado por Yukawa. Esta concordância teve a maior importância para a consolidação da teoria mesónica das forças nucleares e para o desenvolvimento crescente do interesse dos físicos pelo estudo dos raios cósmicos.

De facto, a teoria das forças nucleares é um dos problemas fundamentais da Física e compreende-se que a descoberta, na radiação cósmica, das partículas a que se liga a natureza dessas forças, determinasse o maior interesse pelo estudo dessa radiação, fonte natural e única das referidas partículas.

Por outro lado, tanto do ponto de vista das necessidades da teoria como da interpretação de certos resultados experimentais as propriedades essenciais da nova partícula (massa e carga) eram as seguintes: uma massa cerca de 200 vezes a massa do electrão e uma carga eléctrica, positiva ou negativa, igual em valor absoluto à do electrão, ou ausência de carga eléctrica.

Os anos iam passando, e parecia que o Homem devia resignar-se a ser um mero espectador, observando partículas (e não ex-

perimentando com elas) originadas, segundo meios desconhecidos, em inacessíveis regiões do espaço inter-planetário.

A única esperança residia na possibilidade teórica de transformar energia em massa segundo a relação $E=Mc^2$, de Einstein, e na certeza da validade da mesma em virtude da realização de electrões e positrões a partir da radiação gama. Mas, para produzir mesões, em vez de electrões, por materialização da energia, seria necessária uma energia disponível cerca de 200 vezes maior que no caso dos electrões, visto ser 200 vezes maior a massa «a criar». Ora sendo aquela energia, no caso dos electrões, de cerca de meio milhão de electrão-volts⁽¹⁾, deveria ser da ordem de 100 milhões de electrão-volts no caso dos mesões.

Desde que houve a convicção da existência de mesões, a sua produção passou a ser um dos objectivos dos físicos nucleares, especialmente dos que trabalhavam com ciclotrões e nomeadamente do Prof. E. O. Lawrence, director do Radiation Laboratory de Berkeley e inventor do ciclotrão. A sua perseverança neste sentido é tanto mais admirável e mais digna de ser assinalada quanto é certo que em 1938, há apenas 10 anos, se pensava, por razões de ordem técnica, não ser de esperar ultrapassar os 10 milhões de volts com os ciclotrões então conhecidos...

A guerra veio demonstrar que, mesmo na progressiva América do Norte, os físicos careciam mais de meios de trabalho e de organização do que de saber para realizarem as suas justas aspirações de dominar ainda mais a natureza. E de facto, graças ao grande ciclotrão de 4000 toneladas de Berkeley (o de Paris ou o de Zurich, por exemplo, têm apenas 30 toneladas), foi possível a produção de mesões pelo homem, pela primeira vez na noite de 21 de Fevereiro de 1948.

⁽¹⁾ O electrão-volt (eV) é a energia adquirida por um electrão que sofre a queda de tensão de 1 volt. É claro que para ter um electrão com uma energia de 100 milhões de eV seria necessária uma alta tensão de 100 milhões de volts. A mesma tensão produz partículas alfa com cerca de 400 milhões de eV .

Certamente o caracter verdadeiramente primordial desta descoberta não escapará a nenhum dos nossos leitores, mas o valor da mesma ainda lhe aparecerá mais louvável quando souber como há bem pouco tempo se estava por toda a parte longe de tal sucesso.

Assim, da 3.^a impressão (1944) do excelente livrinho de Pollard e Davidson «Applied Nuclear Physics», traduzimos o final dum pequeno apêndice relativo aos mesões (p. 236): «O papel desempenhado pelos mesões nos núcleos ainda não é conhecido. As experiências futuras mais excitantes envolvem o superciclôtron e o bombardeamento com partículas possuindo em excesso a energia necessária para expulsar um mesão dum núcleo — se é que ele lá está. Até que tais experiências tenham sido feitas não teremos saído da era da especulação».

Citaremos também um testemunho ainda mais recente e de não menos notável personalidade. Num relatório de 29 de Janeiro deste ano, relativo à construção dum laboratório italiano para estudos de radiação cósmica (a 3500 m de altitude) o professor G. Bernardini escreve: «Trata-se dum laboratório com uma actividade bem definida: o estudo das partículas elementares como estas se manifestam nos raios cósmicos, ou seja o estudo das mesmas no domínio das altas e altíssimas energias. Em relação a este programa específico, é provável que não deva ter uma existência muito longa porque no decorrer de poucos anos, as grandes instalações para a produção de feixes de partículas tendo energias muito elevadas permitirão fazer, por assim dizer, os raios cósmicos em casa»...

As razões de ordem experimental, deduzidas do estudo da radiação cósmica, conducentes à convicção da existência de mesões são as mais fáceis de descrever. Assim, descobriram-se partículas com todas as características de electrões de elevadíssima energia, capazes de atravessar espessuras de chumbo de vários centímetros. Por outro lado, segundo a mecânica quântica, electrões desses emitem fótons de grande energia, capazes por seu turno de produzirem electrões secundários

ainda relativamente enérgicos. Ora os supostos electrões de grande energia foram observados escapando-se do chumbo *isolados*, sem o cortejo de electrões secundários previsto pela teoria. Chegou a pensar-se que esta não seria aplicável a electrões de tão elevadas energias, mas a breve trecho se descobriram electrões, actuando de acordo com a teoria e com a mesma energia que as partículas que pareciam não lhe obedecer. Esta contradição só podia ser levantada admitindo serem estas partículas diferentes dos electrões. A principal alteração, necessária para explicar a diferença de comportamento, consistia em atribuir às novas partículas uma massa cerca de 200 vezes a massa dos electrões.

Do ponto de vista teórico, a origem do conceito de mesão encontra-se na insuficiência dos electrões para explicarem a grandeza das forças que, nos núcleos, ligam entre si prótons e neutrões. Para compreender como estas forças exigem a consideração de partículas determinadas, vejamos muito sumariamente como se explicam certas ligações atômicas e, nomeadamente, a mais simples de todas, a dos dois átomos da molécula de hidrogénio. Esta é formada por dois prótons e dois electrões. Se entre os prótons só existisse a força de Coulomb (que é repulsiva) e forças gravíticas (que são insignificantes), de modo algum se poderia explicar a estabilidade, apreciável, da molécula de hidrogénio. Há pois que admitir a existência duma nova força, dum tipo que só se manifesta à escala atômica. A mecânica quântica ensina-nos qual é essa força, como se calcula e dá-nos até a possibilidade de a objectivarmos macroscopicamente. Segundo a mecânica quântica, essa força resulta da probabilidade finita que qualquer dos electrões tem de, em qualquer momento, se associar a qualquer dos prótons (e não apenas a um determinado). Dá-se a tais forças o nome de forças de câmbio (troca ou permuta...).

Compreende-se agora que, para explicar a existência de forças de ligação entre prótons e neutrões, era natural começar por considerar forças de câmbio derivadas da troca de

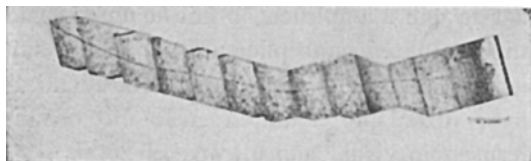
electrões (positivos ou negativos) entre prótons e neutrões. Ora, o valor dessas forças depende da massa das partículas «troçadas» e foi tentando ajustar a teoria às realidades experimentais que Yukawa se viu levado a admitir a existência de «electrões» com uma massa 200 vezes maior que a habitual, ou sejam os mesões. Seria por troca de mesões que se poderiam explicar as forças entre as partículas nucleares (ou nucleões): um próton emitindo um mesão positivo passa a neutrão; este, emitindo um mesão negativo passa a próton. Mas, com a descoberta de que eram sensivelmente iguais às ligações próton-neutrão as ligações próton-próton e neutrão-neutrão foi necessário admitir a existência de um mesão neutro...

Da própria essência da teoria resultava então que o meio ideal para a produção de mesões seria a interacção provocada de partículas nucleares tendo uma delas uma energia disponível de pelo menos 100 milhões de electrão-volts.

Por outro lado, como registar a descoberta da nova partícula caso ela viesse realmente a ser produzida?

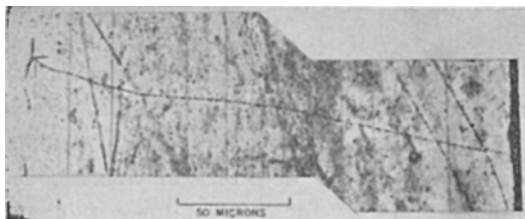
Para o processo finalmente adoptado muito contribuíram as descobertas feitas nos últimos anos de emulsões fotográficas particularmente sensíveis a partículas nucleares, com espessuras de 50 microns apenas. Os mesões produzidos foram registados por pilhas de chapas destas, que eram depois observadas ao microscópio com uma amplificação de 600 diâmetros. É precisamente ao Dr. Lattes que se devem os mais recentes aperfeiçoamentos desta curiosíssima e moderna técnica nuclear.

Damos a seguir reproduções fotográficas de trajectórias de mesões negativos, extraídas



da comunicação de Gardner e Lattes a que já fizemos referência. A segunda figura junta

revela a particularidade do final da trajectória ser acompanhado por uma «estrela» ou ex-



plosão, marcada pela emissão de várias partículas. Em ambas as figuras, o início da trajectória está do lado direito. Repare-se como a ionização (medida pela densidade do grão) aumenta para o final da trajectória. Notem-se também os sucessivos desvios da mesma devidos a «choques» com núcleos da própria emulsão.

* * *

Terminaremos estas curtas notas dando em português a tradução do resumo da comunicação tão notável de Gardner e Lattes:

«Observámos trajectórias, que pensamos serem devidas a mesões, em chapas fotográficas colocadas próximo de um alvo bombardeado por partículas alfa de 380 milhões de electrão-volts. Para uma pose de 10 minutos⁽¹⁾ no ciclotrão encontram-se cerca de 50 trajectórias de mesões ao longo da aresta de 3 polegadas duma chapa fotográfica. A massa foi determinada medindo a curvatura no campo magnético e o percurso na emulsão. Das primeiras trajectórias de mesões medidas achamos uma massa de 313 ± 16 vezes a massa do electrão. É altamente provável que estes mesões sejam os mesões pesados descritos por Lattes, Occhialini e Powell».

Repare-se na simplicidade destas palavras comparada com a grandiosidade da realização que elas nos anunciaram.

A. GIBERT

Ex - Assist. DA FAC. DE CIÊNCIAS DE LISBOA

⁽¹⁾ Na natureza a intensidade disponível é, desde já, cerca de 100 milhões de vezes menor que no ciclotrão de Berkeley.