

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
Λ^0	raios cósmicos	desintegração em $p^+ + \pi^-$ (em movimento)	câmara de nevoeiro de Wilson
Λ^0	acelerador	desintegração em $\bar{p} + \pi^+$ (em movimento)	emulsão nuclear

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

nossa mesa, e numa pequena pedra colocada junto do copo. A pedra tem, no ar, um certo peso. Mergulhemo-la agora no líquido. A pedra passará a *pesar menos*. Certamente que não será necessária a intervenção da balança para termos a confirmação de que *pesa menos*. Já sabemos que assim é: isso o afirmou Arquimedes e a experiência o demonstra.

O que há de impressionante nesta conclusão é que o copo com a água dentro, mais o corpo fora dela, tenham, na totalidade, um certo peso, e que o mesmo copo com a mesma quantidade de água, mais o mesmo corpo, mas agora introduzido no líquido, pesem, na totalidade, menos do que pesavam. A ideia de que o peso do corpo, quando mergulhado no líquido, seja *aparente*, não chega para descansar o nosso espírito porque tudo se passa como se esse peso aparente fosse o seu verdadeiro peso, conforme a balança nos afirma.

Façamos agora esta mesma experiência mas utilizando a balança, para que o resultado seja mais sugestivo. Ponhamos, num dos seus pratos, o copo com a água, e também o corpo, fora dela, e equilibremos tudo com tara do outro lado (fig. 1). Introduzamos

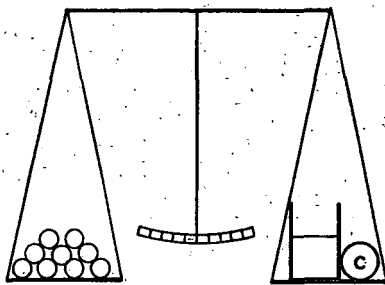


Fig. 1

mos agora o corpo na água. Desequilibrar-se-á a balança descaindo para o lado da tara? Não. A balança continuará em equilíbrio.

Mesmo sem efectuar a experiência ninguém porá em dúvida o que acabamos de afirmar. A massa total dos corpos colocados no prato da balança (copo com água e corpo) é a mesma nas duas pesadas, quer

o corpo esteja fora quer dentro do líquido. Se a massa total é a mesma, o peso total terá de ser o mesmo. Contudo uma objecção inevitável acorre imediatamente: mas então o corpo pesa ou não pesa menos quando está dentro do líquido?

As duas afirmações são simultaneamente verdadeiras: 1.^a) a balança não se desequilibra quando se introduz o corpo no líquido; 2.^a) o corpo *pesa menos* quando está mergulhado no líquido (ou, se quisermos evitar a referência a *peso*: o corpo sofre uma impulsão, dirigida de baixo para cima, quando está mergulhado no líquido, motivo por que, nessas condições, actua com uma força menor do que o seu peso sobre o prato da balança em que está colocado).

Independentemente de qualquer interpretação que possa vir a dar-se, na continuação, para conseguir harmonizar estas duas afirmações que tanto parecem opor-se, só há uma conclusão lógica a aceitar desde já, e que é a seguinte: se o peso total do sistema (copo, água e corpo) se mantém o mesmo depois de o corpo estar mergulhado no líquido, e se este corpo *diminuiu de peso* pelo facto de se encontrar mergulhado, algum outro componente do sistema teve de *aumentar de peso*, sofrendo um aumento exactamente igual à diminuição que o peso do corpo sofreu. Esse outro componente só pode ser o líquido onde se introduziu o corpo, pois o elemento restante, o copo, faz parte do sistema apenas pela necessidade de conter o líquido.

Chegamos assim à seguinte conclusão:

qualquer corpo mergulhado num líquido aumenta (aparentemente) o peso desse líquido de uma quantidade igual ao valor da impulsão que ele próprio exerceu sobre o corpo.

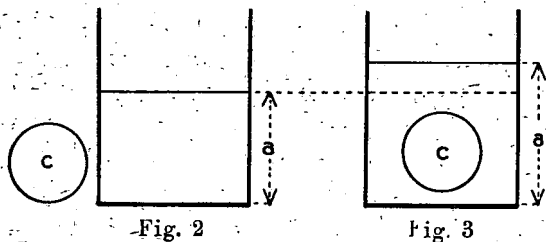
Este aumento, embora aparente, é tão real como é real a diminuição de peso do corpo mergulhado, e a prova da sua realidade é exactamente dada pela experiência anterior em que o copo, a água e o corpo

pesam a mesma coisa quer o corpo esteja fora do líquido quer introduzido nele.

Procuraremos então interpretar o *aumento de peso* que um líquido sofre quando nele se introduz um corpo.

Para tornar o raciocínio mais fácil imaginemos que introduzimos num líquido um corpo cujo peso tenha o mesmo valor do que a impulsão a que vai ficar sujeito. Nestas condições o corpo permanecerá no seio do líquido, em equilíbrio. Como o peso do corpo é exactamente compensado pelo valor da impulsão que está sofrendo, sucede que a presença do corpo dentro do líquido em nada contribui para aumentar o peso do conjunto.

Embora seja assim, alguma coisa de novo, entretanto, se está passando agora. Como se vê nas figuras 2 e 3, o corpo,



ao ser introduzido no líquido, fez subir o nível deste dentro do vaso. O líquido, que ocupava no vaso a altura a , passou a ocupar a altura a' . A diferença $a' - a$ corresponde a um certo volume de líquido o qual é exactamente igual ao volume do corpo que nele se introduziu.

Este aumento de altura do líquido no vaso, deverá provocar, necessariamente, alterações nos valores de todas as grandezas que possam depender do valor dessa altura. É o caso da pressão que o líquido exerce sobre o fundo e sobre as paredes do vaso que o contém. Quando o corpo está mergulhado no líquido a pressão que este, o líquido, exerce sobre o fundo do vaso é maior do que quando o corpo está fora dele, porque a altura a' é maior do que a . A *mesma massa* de líquido, contida no *mesmo vaso*, exerce, num caso (fig. 3),

maior pressão sobre os diferentes pontos do recipiente do que no outro caso (fig. 2).

Esta afirmação ainda pode suscitar uma dúvida. Repare-se na figura 4, que corres-

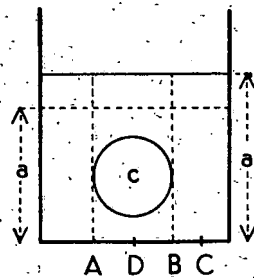


Fig. 4

ponde à mesma situação da figura 3 mas em que assinalámos uma zona, AB , no fundo do vaso, relativamente à qual poderemos perguntar se aí, nos pontos contidos nessa zona, suponhamos em D , também a pressão exercida pelo líquido terá o mesmo valor do que nos pontos fora dessa zona, como C , por exemplo. A pergunta é justificável porque um ponto como C tem, por cima dele, uma camada de líquido de altura a' , enquanto um ponto qualquer situado entre A e B , como o ponto D , tem, sobre ele, uma parte do líquido e uma parte do corpo que aí se mergulhou.

Pomos a dúvida apenas por gosto especulativo. A pressão do líquido sobre D , tem o mesmo valor do que sobre A ou B ou C . De facto, como o valor do peso do corpo é igual ao valor da impulsão que está sofrendo, tanto faz estar ali o corpo como, no lugar dele, um volume igual do líquido considerado que ocupasse o mesmo lugar que aquele ocupa. Se aí estivesse líquido em vez do corpo, o peso dessa massa de líquido teria exactamente o mesmo valor do que a impulsão que ela própria estaria a sofrer, o que torna completamente indiferente estar lá o corpo ou estar líquido em vez dele. O valor da pressão sobre o ponto D é o mesmo do que sobre o ponto C , como se, sobre D , estivesse uma coluna de líquido de altura a' .

Embora, porém, seja indiferente supor que no lugar onde está o corpo, ou está ele ou está o líquido, o certo é que a presença do corpo aí mergulhado ocasiona a subida do nível do líquido. Daqui tiramos a seguinte conclusão: que tanto faz (para o efeito da pressão exercida no interior do vaso pelo líquido que contém) introduzir um corpo num líquido como acrescentar ao vaso uma porção desse líquido cujo volume seja igual ao volume do corpo que se imergiu. Tudo se passa, portanto, como se o peso do líquido tivesse aumentado de uma quantidade igual ao peso de um volume de líquido igual ao volume do corpo que nele se introduziu.

Daqui, poderemos afirmar que:

qualquer corpo mergulhado num líquido aumenta (aparentemente) o peso desse líquido de uma quantidade igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo.

Assim se compreende o caso apresentado com a experiência da figura 1. A balança mantém-se equilibrada quer o corpo esteja fora quer esteja dentro do líquido. O corpo, mergulhado no líquido, fica *mais leve*, mas o líquido onde ele foi introduzido, fica *mais pesado* em consequência da própria introdução do corpo nele. A diminuição de peso que o corpo sofreu é exactamente igual ao aumento de peso que o líquido sofreu. Ambos esses valores (diminuição e aumento) são iguais ao peso de um volume de líquido igual ao volume do corpo.

O facto de termos suposto, para a exposição que fizemos, que o corpo ficava em equilíbrio no seio do líquido, não prejudica a generalização das conclusões apontadas, como é fácil de entender. A experiência

indicada na fig. 5 tirará qualquer dúvida que possa haver sobre isso. Equilibra-se uma balança colocando um vaso com líquido, num dos pratos, e tara no outro. Prepara-se um corpo (c), suspenso de um fio fino, e introduz-se o corpo no líquido de modo que fique todo imerso e não toque nem nas paredes nem no fundo do vaso. Pareceria, que, nestas condições, a balança continuaria equilibrada visto o corpo estar colocado de modo a não influir no prato onde se encontra o vaso. Não é isso, porém, o que sucede. O travessão inclina-se para o lado do prato

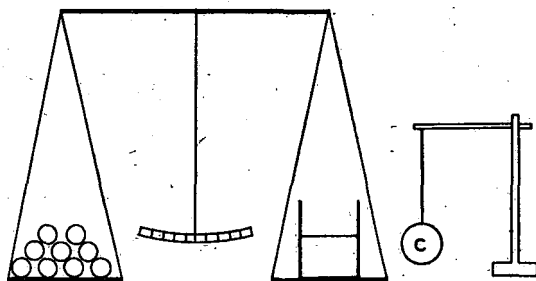


Fig. 5

porque... o peso do líquido aumentou. Procurando restabelecer o equilíbrio da balança, com o corpo assim mergulhado, verificar-se-á que aquele aumento de peso é exactamente igual ao peso de um volume de líquido igual ao volume do corpo. O peso deste em nada influi no prato da balança porque se encontra equilibrado pela tensão do fio de que está suspenso. De facto, quer o corpo usado na experiência seja de ferro, ou de cobre, ou de alumínio, ou de vidro, ou oco, ou maciço, seja do que for ou como for, o aumento de peso que o líquido sofre é sempre o mesmo desde que o volume do corpo seja o mesmo.

RÓMULO DE CARVALHO

Professor-metodólogo de Ciências Físico-Químicas
no Liceu Normal de Lisboa (Pedro Nunes)