

banda de oscilação mais estreita; ou por meio de sistemas selectivos em frequência colocados no interior da cavidade óptica (lentes, prismas) [6] [7] [8].

Dado que em muitas utilizações não é indispensável uma largura de risca extremamente fina, é corrente o funcionamento do laser em regime axial multimodo.

BIBLIOGRAFIA

[1] TRINDADE, A. R., *Laser de árgon ionizado — Mecanismos fundamentais*. Mem. Ac. Ciências, Lisboa, XIV (1970).

- [2] HARVEY, A. F., *Coherent light*. Wiley-Intersc. (1970).
- [3] KOGELNIK, H.; LI T., *Laser Beams and Resonators*. Proc. IEEE 54, n.º 10 (Oct. 1966).
- [4] MOORE, C. E., *Atomic Energy Levels*. Nat. Bur. St. 467 (1958).
- [5] GRIEM, H. R., *Plasma Spectroscopy*. Mc Graw Hill, (1964).
- [6] KLEINMAN, D. A.; KISLIVK, P. P., *Discrimination against un-wanted orders in F-P. resonator*. Bell Syst. Tech. J. (1962) p. 453.
- [7] MANGER, H.; ROTHE, H., *Selection of axial modes in laser resonators*. Phys. Lett. 7, (1963) p. 330.
- [8] SMITH, W.; SCHNEIDER, M. V.; DANIEL MEYER, H. G., *Lasers mode selection*. Bell Syst. Tech. J. (Maio 1969), p. 1418.

Princípio de acção e reacção

Experiência elementar para a sua verificação com uma precisão superior a 1 parte em 10^4

por EDUARDO JORGE DE SEABRA LAGE
e JORGE MANUEL F. REIS LIMA

(Laboratório de Física da Faculdade de Ciências do Porto)

Pretende-se descrever uma experiência, bastante simples, que ilustra por si um dos mais importantes princípios da Física, a terceira lei de Newton; recorremos, para isso, ao princípio de Arquimedes.

Chama, esta experiência, a atenção para os conceitos fundamentais que estão na base do «Princípio da acção e reacção». Muitas vezes ele é enunciado sob uma forma incompleta, originando más interpretações.

Exemplificando, lembramos dois destes enunciados condensados:

«acção e reacção são iguais e opostas»

ou

«a toda a acção corresponde uma reacção igual e oposta».

Tais frases são, em si, desprovidas de sentido e, por conseguinte, não é surpre-

endente que a lei seja geralmente mal compreendida. Com efeito, pode-se ser levado à seguinte interpretação da situação física que a seguir se apresenta. Consideremos dois corpos que suporemos, simplifadamente, pontuais e que designaremos por A e B . Suponhamos que B actua sobre A com uma força F , como mostra a figura 1.

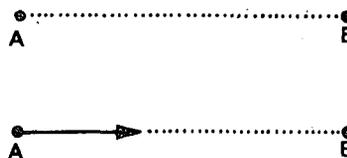


Fig. 1

Em face dos enunciados anteriores, poderia parecer que então o corpo A reagiria com uma força igual e oposta, tal

como mostra a figura 2—o que é manifestamente absurdo, pois então todo o movimento não uniforme seria impossível.



Fig. 2

O que se passa realmente é o seguinte: se B actua sobre A (força aplicada em A , originada por B) então A actua sobre B (força aplicada em B , originada por A) com uma força igual e oposta (fig. 3).



Fig. 3

É, assim, uma questão de convenção a classificação destas forças em «acção» e «reacção». Com efeito, se designarmos por «acção» a força que B exerce sobre A , então damos o nome de «reacção» à força que A exerce sobre B . Mas, é evidente, poderíamos trocar A com B , modificando as noções de acção e reacção, simultaneamente.

Segue-se daqui que o essencial contido na lei de Newton é o indicar que, sempre que um corpo é actuado, podemos procurar no Universo a causa desta acção com a garantia de que, quando a encontramos, nela observamos os efeitos duma reacção igual e oposta. Por outras palavras, a força com que um corpo actua noutro é uma função simétrica das coordenadas e das grandezas específicas (carga eléctrica, massa, etc.) em causa. Daqui, e admitindo a validade do princípio da sobreposição das forças, podemos mostrar que a força deve ser proporcional ao produto das grandezas específicas da força.

Para sermos rigorosos, deveríamos escrever expressões que indicassem a direcção e o sentido da força. Admitamos que queremos escrever a força gravítica \vec{F}

que m exerce sobre m' . Então, designando por \vec{r} o vector de posição de m' em relação a m , torna-se evidente que essa força é dada por

$$\vec{F} = -G \cdot mm' \cdot \frac{\vec{r}}{r^3}$$

que indica estar a força dirigida para m (atração) na direcção definida pelas duas massas pontuais (força central) e com a intensidade atrás escrita.

Dir-se-á: sendo esta a fórmula que dá a acção de m sobre m' , então é fácil escrever a expressão da força \vec{F}' que m' exerce sobre m . Com efeito, observando o modo como atingimos a expressão devemos, em primeiro lugar, traçar o vector de posição de m em relação a m' (\vec{r}' , na figura 4) e então será

$$\vec{F}' = -G m' m \frac{\vec{r}'}{r'^3}$$

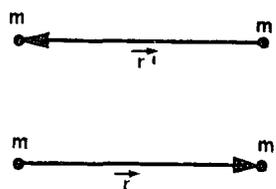


Fig. 4

Ora como $\vec{r}' = -\vec{r}$, segue-se que $\vec{F}' = -\vec{F}$ — é esta a tradução matemática do princípio de Newton. Notar-se-á que a acção e reacção têm pontos de aplicação diferentes, sentidos opostos, mas a mesma direcção e a mesma grandeza.

Incidentalmente deveremos dizer que surgem casos práticos difíceis de analisar em termos simplistas de «acção-reacção» que são, fundamentalmente, termos adequados à interacção de dois corpos.

Em casos mais complexos (presença de vários corpos ou velocidades «eleva-

das» desses corpos) um outro conceito surge, mais rico em consequências, clarificando e simplificando as situações — é o conceito de campo.

Supomos dito o essencial sobre a ideia que nos guiou para a montagem duma experiência que ilustrasse com clareza as noções de acção e reacção. Por isso, passaremos imediatamente à sua descrição.

Coloquemos um copo com água, pesando P , no prato de uma balança e

água do copo e que a esfera toque nas paredes do copo.

Verificamos então que *ambas* as balanças se desequilibram, como mostra a figura 6.

Então, da balança que suspende a esfera vamos retirando massas marcadas até se atingir o seu equilíbrio. Constatamos então que, para equilibrar a outra balança, é suficiente colocar-lhe *exactamente* as mesmas massas marcadas de peso f que

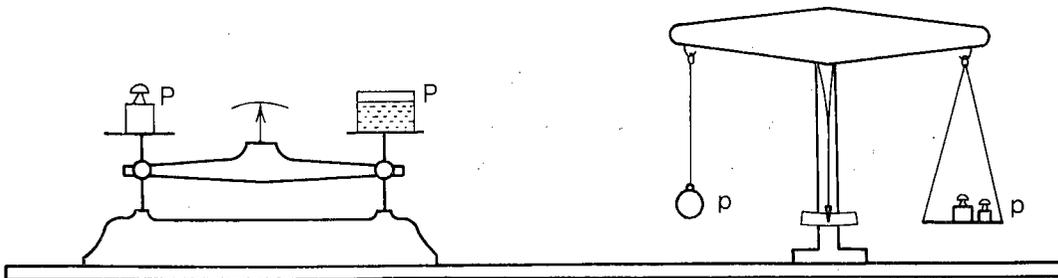


Fig. 5 — As duas balanças estão em equilíbrio.

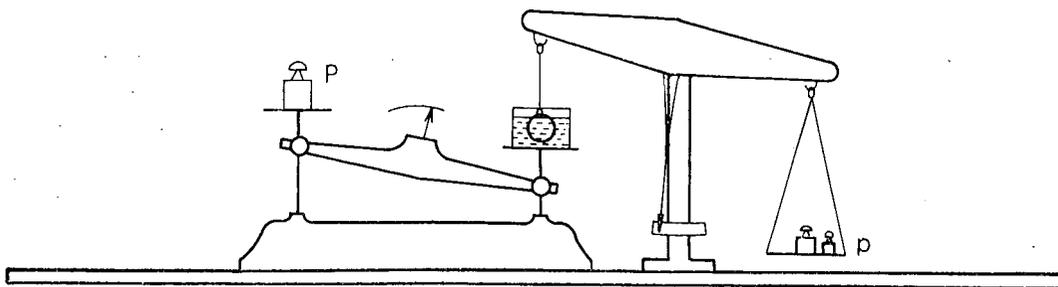


Fig. 6 — Mergulhando a esfera na água, devido à acção da água sobre a esfera (impulsão) e à reacção da esfera sobre a água, as balanças desequilibram-se.

equilibremo-la colocando no outro prato massas marcadas de peso P . Numa outra balança suspendamos um corpo de peso p , por exemplo, uma esfera de chumbo ou qualquer outro corpo com massa específica maior que a da água, para não flutuar, que igualmente equilibramos colocando massas marcadas de peso p no outro prato (fig. 5).

Seguidamente, deslocando uma das balanças, mergulhemos a esfera na água tendo o cuidado de evitar que transborde

hávamos retirado da primeira, como mostra a figura 7.

Como interpretamos os resultados? Que a balança que suspende o corpo se desequilibrou compreende-se facilmente com base no princípio de Arquimedes. Com efeito, a esfera está sujeita à impulsão exercida pela água quando a mergulhamos nesta. Esta força, que actua sobre qualquer corpo mergulhado num fluido, é a *acção* do fluido sobre o corpo e é aplicada no *corpo*. Para compreendermos o

desequilíbrio da outra balança temos que invocar a 3.^a lei de Newton. Segundo ela, se a água do copo exerceu sobre a esfera (corpo) nela mergulhada uma força (impulsão), então a esfera vai exercer sobre a água uma força igual e directamente oposta! Isto explica o desequilíbrio: ao peso P (do copo e da água) foi adicionada a reacção à impulsão.

Que a acção e a reacção são directamente opostas fica verificado experimen-

balança tem uma sensibilidade limitada, por exemplo, de 1 mg; isto significa que a balança, sem massas e em equilíbrio, continuará ainda em equilíbrio se lançarmos em qualquer dos pratos massas até ao limite da sua sensibilidade de 1 mg. Daqui que, quando uma balança está em equilíbrio, nós não podemos afirmar, com rigor, que os dois pesos em cada prato, p e p' , sejam rigorosamente iguais, podendo apenas afirmar que $p = p' \pm \Delta p$,

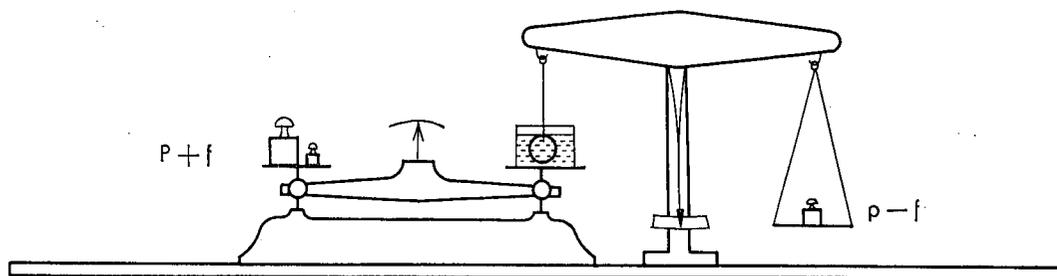


Fig. 7 — Para equilibrar novamente as balanças, coloca-se na balança da esquerda exactamente o peso f que se retirou da outra balança.

talmente visto que os desequilíbrios se verificam em sentidos contrários (a esfera sobe e o copo com a água desce!).

Que a acção e a reacção têm igual intensidade fica verificado experimentalmente visto que as massas retiradas duma balança, para a equilibrar, foram precisamente as que, colocadas na outra, a equilibraram também.

Na experiência realizada no Laboratório de Física da U. P. o princípio foi verificado com um erro inferior a 0,1%.

Alia esta experiência à simplicidade de execução, a vantagem de poder atingir uma elevada precisão: na realidade, é a precisão com que podemos medir massas com uma balança e esta é uma das medidas físicas mais precisas.

À primeira vista poderia parecer que a precisão seria total, isto é, sem erro algum, uma vez que meramente retiramos massas de uma balança para a outra. No entanto devemos lembrar-nos que a

onde Δp corresponde ao limite de precisão imposto pela sensibilidade da balança. No nosso caso, se p (da esfera) for da ordem de 50 gf e utilizarmos uma balança com a precisão até ao miligrama, podemos detectar esta diferença (10^{-5} gf) numa força de 50 gf, o que traz um erro relativo muito pequeno, $\frac{\Delta p}{p} \approx \frac{10^{-5}}{50} = 2 \times 10^{-5}$, isto é, uma precisão de 2 partes em 10^5 .

Como é relativamente fácil dispor-se hoje no Laboratório de balanças com precisões da ordem da centésima do miligrama e permitindo leituras até aos 100 gramas, teremos, para $p = 100$ gf e $\Delta p = 0,01$ mgf = 10^{-5} gf, $\frac{\Delta p}{p} = \frac{10^{-5}}{100} = \frac{1}{10^7}$, isto é, uma precisão de 1 parte em 10^7 ! Isto constitui um meio verdadeiramente notável e convincente de veri-

ficação experimental do princípio de acção e reacção.

Devemos no entanto referir que quando se trata destes limites de sensibilidade extrema, outros efeitos secundários poderão introduzir erros experimentais, devendo a sua influência ser cuidadosamente examinada. Estão neste caso os efeitos das pequenas forças de tensão superficial que se exercem sobre o fio de suspensão da esfera quando esta está mergulhada na água.

Sobre este efeito planeámos e realizámos no mesmo Laboratório algumas

experiências com corpos de forma conveniente, parcialmente mergulhados para exhibir o efeito da tensão superficial que, de momento, por brevidade, não referimos.

Se o leitor acha ter compreendido perfeitamente o princípio da acção e reacção, tente responder à seguinte pergunta: quando num frasco tapado, com uma mosca pousada no fundo, e colocado numa balança em equilíbrio, a mosca levanta voo, a balança desequilibra-se?

Em conclusão, desejamos agradecer ao Sr. Dr. João Bessa as muitas e válidas sugestões à elaboração deste artigo.

O modelo molecular de «Weiss»

1. Ferromagnetismo

por J. M. MACHADO DA SILVA

(Laboratório de Física da Faculdade de Ciências do Porto)

Introdução

São muitos os aspectos interessantes da física do magnetismo. A escolha do que possa ser mais atractivo para o leitor torna-se, pois, bastante difícil. Achamos, portanto, que se deveria escrever uma série de artigos em que se fossem delineando, em dificuldade intrínseca crescente, os modelos adoptados na discussão do magnetismo, chamando a atenção para os sucessos e limitações que os caracterizam.

Ferromagnetismo

Um dos modelos que mais usado tem sido no estudo do magnetismo é o modelo de Weiss. Para explicarmos este modelo, consideremos um cristal cujos átomos tenham um momento magnético total não nulo e realizemos uma experiência de

medida do momento magnético total do cristal em função da temperatura. O resultado obtido será, em alguns casos, (ferro, níquel, etc.), o que se apresenta na fig. 1, em que a magnetização toma um

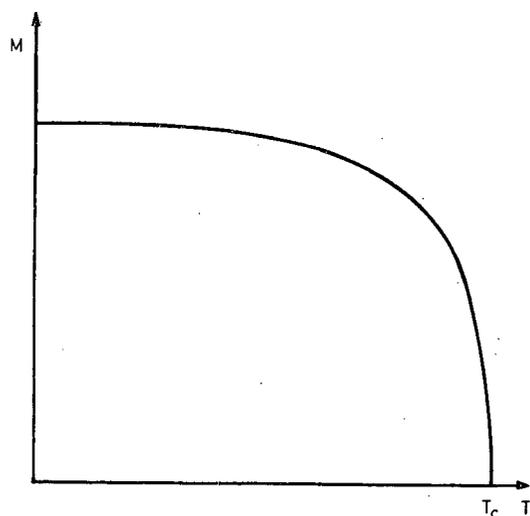


Fig. 1 — Variação típica da magnetização de um ferromagnete com a temperatura (T_c : temperatura de Curie).