

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.

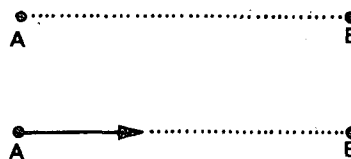


Fig. 1

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.

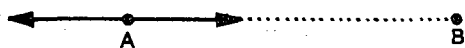


Fig. 2

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).

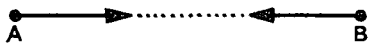


Fig. 3

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

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

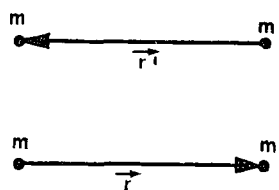


Fig. 4

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

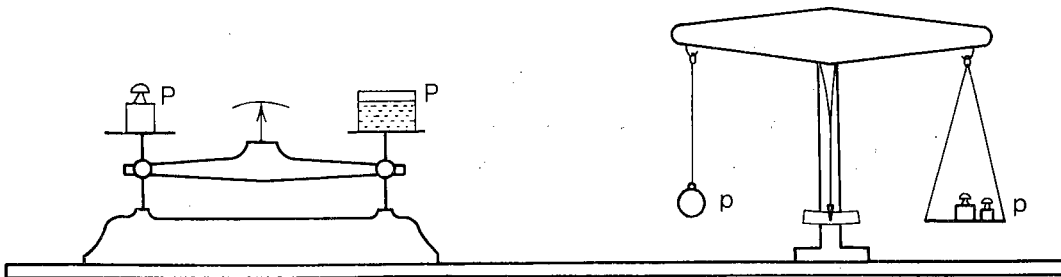


Fig. 5 — As duas balanças estão em equilíbrio.

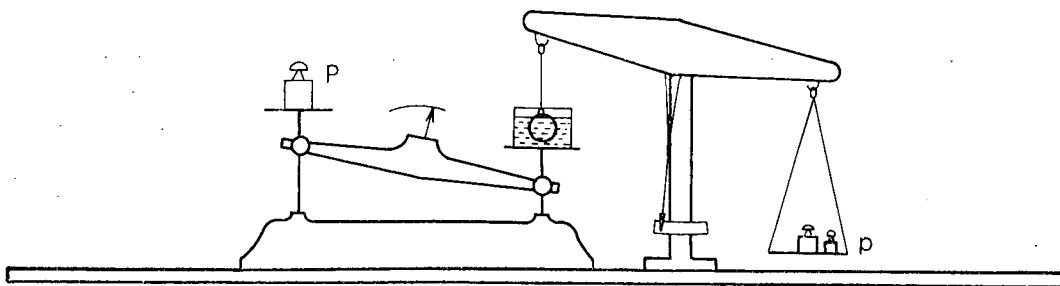


Fig. 6 — Mergulhando a esfera na água, devido à acção da água sobre a esfera (impulsão) e à reacção da esfera sobre a água, as balanças desequilibram-se.

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 mergulharmos 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.<sup>a</sup> 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-

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

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  $p = p' \pm \Delta p$ ,

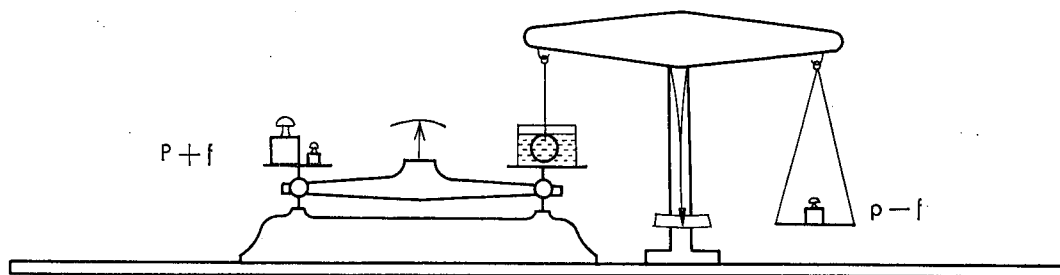


Fig. 7 — Para equilibrar novamente as balanças, coloca-se na balança da esquerda exactamente o peso  $f$  que se retirou da outra balança.

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  $\Delta p$  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

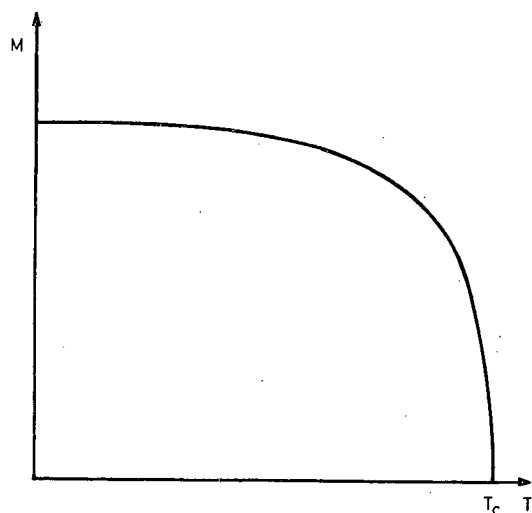


Fig. 1 — Variação típica da magnetização de um ferromagnete com a temperatura ( $T_c$ : temperatura de Curie).