

# Acção da pressão de radiação laser sobre feixes atómicos

MARIA DO ROSÁRIO C. MARTINS

Escola Secundária Ferreira Dias, 2735 Agualva-Cacém

Embora o aparecimento e posterior aperfeiçoamento dos lasers sejam acontecimentos relativamente recentes, a influência que alcançaram em vários domínios científicos e até lúdicos é sem sombra de dúvidas notável. Neste artigo referiremos especificamente os efeitos que a força de pressão de radiação laser pode produzir sobre átomos e moléculas, o que constitui um poderoso instrumento experimental com toda uma série de aplicações em vários domínios científicos e tecnológicos [1].

## 1. Introdução

No início do século, Lebedev (1910) provou a existência da pressão exercida pela luz sobre átomos e moléculas como fenómeno susceptível de ser observado experimentalmente [2]. Poucos anos mais tarde Einstein (1916) investiga a natureza quântica deste efeito e prova que a pressão exercida pela luz se deve à direcionalidade (directividade espacial) dos processos de interacção dos átomos com a radiação, tanto de absorção e emissão estimuladas como de emissão espontânea [3].

Estes dois trabalhos constituíram a base fundamental de todos os estudos posteriores acerca da pressão da luz exercida sobre átomos e moléculas.

Posteriormente, nas décadas de 20 a 50, não se registaram progressos significativos já que o desenvolvimento das investigações se encontrava limitado, devido à inexistência de fontes luminosas adequadas, pela incapacidade de confirmação experimental dos efeitos previstos pela teoria.

A partir da década de 60 (1958-61) surgem os lasers que como fontes de radiação óptica coerente, com um elevado grau de monocromaticidade e elevada densidade espectral de potência de radiação, desencadearam o reabrir do problema e um interesse renovado pelo

assunto, revolucionando o estudo e aplicações da pressão de radiação. Foi então que obtiveram confirmação os efeitos previstos por Lebedev e Einstein. Com base em estudos sobre o movimento atómico abriram-se novas perspectivas de aplicações práticas, conduzindo o desenvolvimento atingido neste domínio (e que está longe de concluído) a uma grande diversidade de aplicações tais como criação de compressão ou rarefacção em gases atómicos [4], restrição do movimento espacial de átomos ou moléculas (eliminação da largura Doppler das riscas espectrais) [5], separação de isótopos por deflexão de feixes atómicos [6], aceleração e desaceleração de átomos [7, 8], focagem e desfocagem de feixes [9-11], arrefecimento e confinamento de átomos ou moléculas de forma a aumentar a resolução e sensibilidade de métodos de espectroscopia laser [12-14].

Podemos dizer que a acção da pressão de radiação reside fundamentalmente no controlo que exerce no movimento atómico. É este controlo que possibilita a realização dos vários efeitos experimentais.

## 2. Aplicações

### 2.1. Deflexão de feixes atómicos

Quando se faz interactuar um feixe laser com um feixe atómico (Fig. 1), devido à selectividade da interacção da radiação laser com os átomos torna-se possível extrair do feixe atómico tanto átomos de uma certa espécie como átomos que se encontrem num determinado estado quântico, usando-se por isso este efeito como método de separação de isótopos [10].

Basicamente numa experiência de foto-deflexão há que considerar a transferência de energia do laser para o feixe atómico, já que

cada vez que um átomo absorve um fóton adquire um momento  $\frac{\hbar \omega}{c}$  na direcção de propagação do fóton produzido. Como a grande maioria dos métodos de fotodeflectão requerem tempos de interacção longos quando compa-

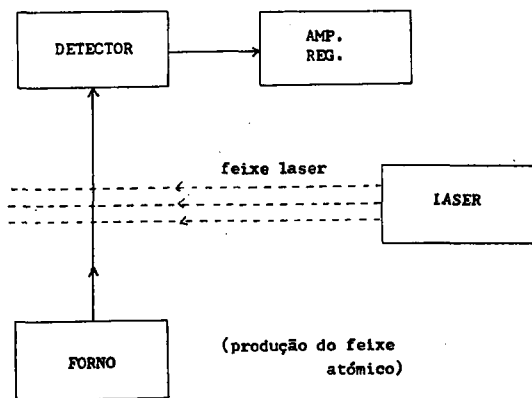


Fig. 1

rados com o tempo de vida média dos átomos excitados, acontece que em muitos casos o átomo excitado pela radiação sofre transições para estados metaestáveis que não são afectados pelo campo incidente, retirando assim os átomos do ciclo de interacção e a deflexão deixa praticamente de existir (Fig. 2). Numa

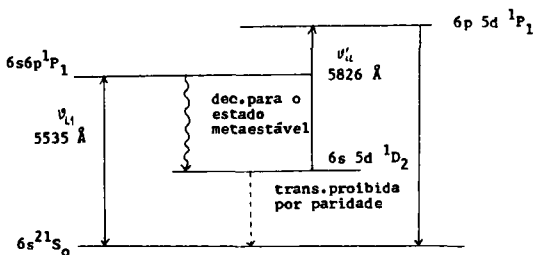


Fig. 2

experiência para a separação de isótopos de bário [10] este problema foi superado por introdução de um segundo laser.

## 2.2. Focagem e desfocagem de feixes atómicos

A focagem e desfocagem de um feixe atómico está directamente relacionada com a componente transversal da força de radiação <sup>(1)</sup>.

Quando se tem uma situação de ressonância exacta ( $\Omega$  nulo <sup>(2)</sup>)  $F_{trans}$  é em média nula. No entanto para o caso  $\Omega \neq 0$  os átomos são atraídos ( $\Omega < 0$ ) ou repelidos ( $\Omega > 0$ ) pelo feixe (Figs. 3, 4, 5) [11, 15].

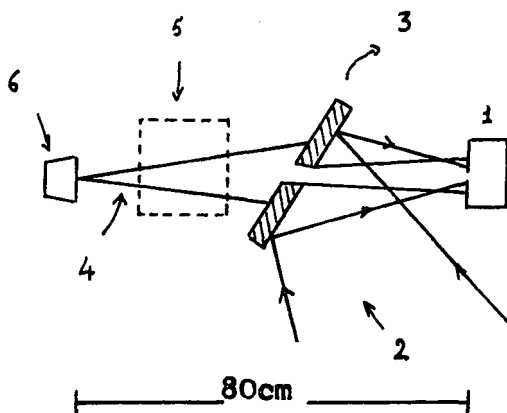


Fig. 3 — 1 — detector; 2 — luz laser; 3 — espelho; 4 — feixe atómico; 5 — selector de velocidade (opcional); 6 — fonte.

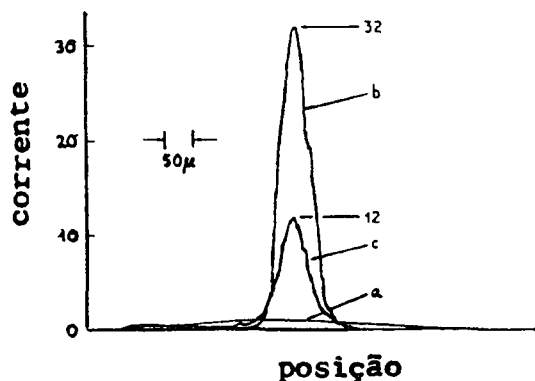


Fig. 4 — Intensidade do feixe atómico: (a) — sem luz, (b) — 250 mW, (c) — 25 mW (ref. 15).

<sup>(1)</sup> Para a discussão dos efeitos da força de pressão torna-se cómodo considerar a sua decomposição com referência ao vector de onda da radiação,  $k$ . Tem-se então uma componente paralela ou longitudinal,  $F_{long}$  e uma componente normal ou transversal,  $F_{trans}$ :

$$F = F_{long} + F_{trans}$$

<sup>(2)</sup> É possível caracterizar uma situação de quase ressonância (em que a frequência  $\omega$  do campo de radiação é muito próxima da frequência da transição  $\omega_0$  entre dois níveis considerados) por um «detuning» (assintonia)  $\Omega = \omega - \omega_0$ .

Estes efeitos também podem ser aplicados como método de separação de isótopos assim como um processo para «limpar» o feixe atómico.

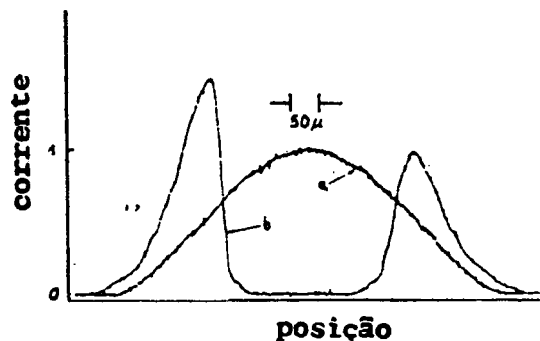


Fig. 5 — Intensidade do feixe atómico: (a) — sem luz, (b) — 160 mW (ref. 15).

mico, focando selectivamente as espécies pretendidas enquanto que as não desejadas são sujeitas a uma desfocagem selectiva.

### 2.3. Retardamento de feixes atómicos

A possibilidade de retardar feixes atómicos é talvez o efeito mais importante de controlo do movimento atómico pela acção da pressão de radiação. As variações na distribuição de velocidade dos átomos  $w(v)$  devem-se fundamentalmente a dois efeitos: força de pressão luminosa e difusão da velocidade. Enquanto que o primeiro desacelera o feixe e provoca uma diminuição na largura da distribuição, o segundo pelo contrário, alarga-a.

Andreev et al. (1982) [16] sugeriram uma técnica experimental de forma a analisar a deformação na distribuição da velocidade provocada pela acção da pressão de radiação. Esta técnica consiste em fazer irradiar o feixe atómico (neste caso de átomos de sódio) por dois feixes laser propagando-se na mesma direcção e sentido contrário: um laser forte, de frequência constante e quase ressonante com determinada linha de absorção, e um laser sonda, mais fraco onde a frequência é variável, cobrindo o perfil da linha de absorção considerada.

Este método permite uma observação directa da distribuição de velocidade longitudinal

dos átomos do feixe, já que os sinais fluorescentes registados (emitidos pelos átomos excitados pela sonda) são proporcionais ao número de átomos com uma projecção de velocidade bem determinada, isto é, proporcional à função de distribuição de velocidade atómica  $w(v)$  (Fig. 6).

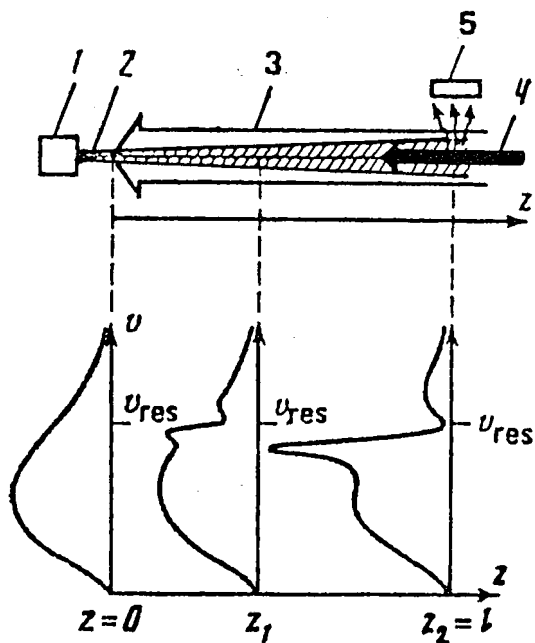


Fig. 6 —  $v_{res} = \Omega/k$ ; 1 — fonte do feixe atómico, 2 — feixe atómico, 3 — feixe laser (forte), 4 — feixe laser (sonda), 5 — detector (ref. 16).

Numa experiência deste tipo [16], foi possível obter uma deformação de cerca de 1/10 dos átomos da sua distribuição inicial, para uma interacção efectiva de apenas 20 cm. A velocidade média dos átomos sofreu uma redução de  $8 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1}$  para  $7,1 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1}$ . Também se observou uma redução drástica da temperatura inicial  $T_1 = 573 \text{ K}$  para a temperatura final  $T = 1,5 \text{ K}$ .

Em qualquer experiência de desaceleração e arrefecimento de átomos por acção da força de pressão de um feixe laser, é fundamental que se mantenha a ressonância entre o feixe e os átomos em movimento, à medida que são desacelerados [17]. Com a utilização deste método além de se atingir um acentuado arrefecimento e desaceleração, também se observa

uma drástica compressão da velocidade (Fig. 7). Apesar de permitir obter resultados bastantes bons e em pleno acordo com os estudos teó-

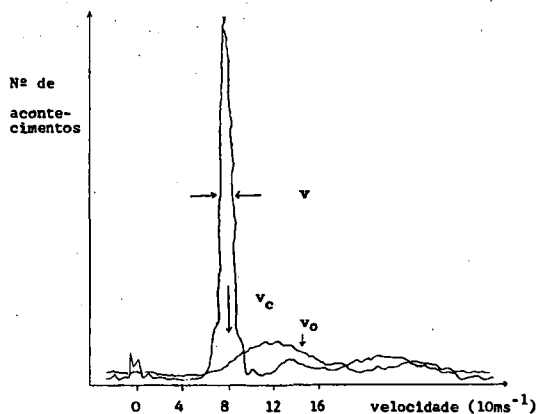


Fig. 7 — (ref. 17).

ricos, sofre da grande desvantagem de necessitar um campo magnético forte, dificultando a sua realização experimental. Assim, numa experiência de arrefecimento de átomos neutros de sódio [17], conseguiu-se uma redução de 96 % da velocidade inicial e uma temperatura final de 70 mK para uma fonte de sódio a 950 K, mas para tal foi necessário utilizar um campo magnético variável de 0,16 Tesla a 0,05 Tesla.

### 3. Conclusão

Procurou-se neste trabalho introduzir de uma forma sintética uma das aplicações da radiação laser, que consiste na acção da pressão dessa radiação sobre feixe atômicos. Esta característica permite um controlo do movimento atômico constituindo uma técnica eficaz neste domínio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. ASHKIN — *Science*, **210**, 1081 (1980).
- [2] P. N. LEBEDEV — *Ann. d. Phys.*, **32**, 411 (1910).
- [3] A. EINSTEIN — *Mitt. Phys. Ges. (Zürich)*, **18**, 47 (1916); *Physicalische Zeitschrift*, **18**, 121 (1917).
- [4] G. A. ASKAR'YAN — *Sov. Phys. JETP*, **15**, 1088 (1962).
- [5] V. S. LETOKHOV — *JETP Lett.*, **7**, 272 (1968).

- [6] A. ASHKIN — *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 156 (1970).
- [7] A. P. KAZANTSEV — *Sov. Phys. JETP*, **36**, 861 (1973).
- [8] A. P. KAZANTSEV — *Sov. Phys. JETP*, **66**, 1599 (1974) e **39**, 784 (1974).
- [9] R. SCHIER, H. WALTHER e L. WÖSTE — *Opt. Comm.*, **5**, 337 (1972).
- [10] A. F. BERNHARDT, D. E. DUERRE, J. R. SIMPSON e L. L. WOOD — *Appl. Phys. Lett.*, **25**, 617 (1974).
- [11] J. E. BJORKHOLM, R. R. FREEMAN, A. ASHKIN e D. B. PEARSON — *Phys. Rev. Lett.*, **41**, 1361 (1978).
- [12] V. S. LETOKHOV, V. G. MINOGIN e B. D. PAVLIK — *Opt. Comm.*, **19**, 72 (1976).
- [13] V. S. LETOKHOV, V. G. MINOGIN e B. D. PAVLIK — *Sov. Phys. JETP*, **45**, 698 (1978).
- [14] V. S. LETOKHOV e V. G. MINOGIN — *Appl. Phys.*, **17**, 99 (1978).
- [15] D. B. PEARSON, R. R. FREEMAN, J. E. BJORKHOLM e A. ASHKIN — *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 99 (1980).
- [16] S. V. ANDREEV, V. I. BALKIN, V. S. LETOKHOV e V. G. MINOGIN — *Sov. Phys. JETP*, **55**, 828 (1982).
- [17] J. V. PRODAN, W. D. PHILLIPS e H. METCALF — *Phys. Rev. Lett.*, **49**, 1149 (1982).

## LIVRARIA ESCOLAR EDITORA

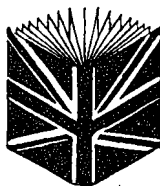


A Livraria Técnico-Científica do País  
Serviço rápido de assinaturas  
de revistas científicas

LIVRARIA — Rua da Escola Politécnica, 80-A  
Telefs. 664040 - 672561  
Telex 18570 ESCOLI P - PORTUGAL  
1200 LISBOA

Filial no Porto — Rua da Boa Hora, 43 4000 PORTO  
Telex 27247 ESCOP - P

## LIVRARIA BRITÂNICA



THE ENGLISH BOOKSHOP

Para todos os seus livros  
de inglês

Rua S. Marçal, 168-A Telef. 328472 1200 LISBOA  
Filial no Porto:  
Rua da Boa-Hora, 43 Telef. 382786 4000 PORTO