

## A velocidade da luz: uma experiência de demonstração.

A. ALMEIDA MELO ★ e J. SOUSA LOPES ★★

★ Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Lisboa

★★ Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, Sacavém

*Descreve-se uma experiência simples, que pode ser realizada sobre uma mesa, para a determinação da velocidade da luz. A fonte luminosa é uma lâmpada de descarga que se constroi facilmente e o detector da luz é um fotomultiplicador. Obtêm-se, sem dificuldade, resultados com uma precisão de cerca de 10%.*

### INTRODUÇÃO

A medida directa da velocidade da luz obriga ou ao corte de um feixe contínuo de luz, como na experiência clássica do espelho girante, ou à emissão de luz em impulsos bem definidos no tempo. Esta última técnica foi utilizada nas experiências pedagógicas relatadas por Tyler <sup>1)</sup>. Descreve-se aqui uma experiência demonstrativa aparentada com a descrita por este autor, da qual difere essencialmente pelo método de produzir os impulsos luminosos e pelo percurso óptico utilizado.

Resumidamente, a experiência faz-se como se indica a seguir. Impulsos luminosos provenientes de uma fonte pulsada são detectados num fotomultiplicador; os impulsos eléctricos correspondentes à detecção dos impulsos de luz são visualizados num osciloscópio que é disparado em sincronismo com o instante da emissão luminosa. À medida que a luz percorre distâncias maiores até atingir o fotomultiplicador, os impulsos visualizados no osciloscópio deslocam-se, em correspondência, no respectivo écran.

### EQUIPAMENTO E OPERAÇÃO

A fonte luminosa é uma lâmpada de descarga eléctrica no ar cujos eléctrodos são constituídos por varetas de tungsténio com um diâmetro de cerca de 3mm, uma das quais foi afiada na ponta; desta maneira obtém-se uma faísca bem localizada. (Os eléctrodos de tungsténio encontram-se facilmente já que são utilizados como um dos eléctrodos na soldadura a argon praticada mesmo em pequenas oficinas mecânicas). Um dos eléctrodos

está ligado a uma fonte de alta tensão através de uma resistência de  $10\text{ M}\Omega$ ; o outro liga-se à terra através de uma resistência de  $47\ \Omega$ . Quando a distância entre os eléctrodos é de cerca de  $0,6\text{ mm}$  a descarga inicia-se a cerca de  $2\text{ kV}$  e prossegue até a tensão descer de cerca de  $200\text{ V}$ . A resistência de  $10\text{ M}\Omega$ , em série com a fonte de tensão, faz com que a intensidade da descarga seja essencialmente determinada pelo valor da capacidade entre os eléctrodos; obtém-se uma intensidade conveniente juntando  $1$  ou  $2\text{ pF}$  à capacidade parasita entre eléctrodos. A taxa de repetição das faíscas é controlada pela capacidade total entre eléctrodos e pela resistência de  $10\text{ M}\Omega$  pois que, após cada faísca, a tensão entre eléctrodos tem que subir até o valor necessário para que uma nova descarga se inicie (a subida da tensão implica a carga do condensador colocado entre eléctrodos). A duração de cada faísca é determinada pela indutância parasita, pela capacidade entre eléctrodos e pela resistência de  $47\ \Omega$  (a resistência equivalente do plasma, isto é, do gás ionizado na descarga, é pequena). Utilizando um osciloscópio de  $50\text{ MHz}$  pode observar-se, nas condições experimentais descritas, uma duração aparente de alguns nanossegundos. O osciloscópio é disparado externamente por um sinal tirado da resistência de  $47\ \Omega$  (e não por um sinal derivado internamente do sinal de entrada do amplificador vertical do osciloscópio). O esquema eléctrico das ligações e a forma aproximada dos impulsos vistos no osciloscópio estão representadas na Fig. 1.

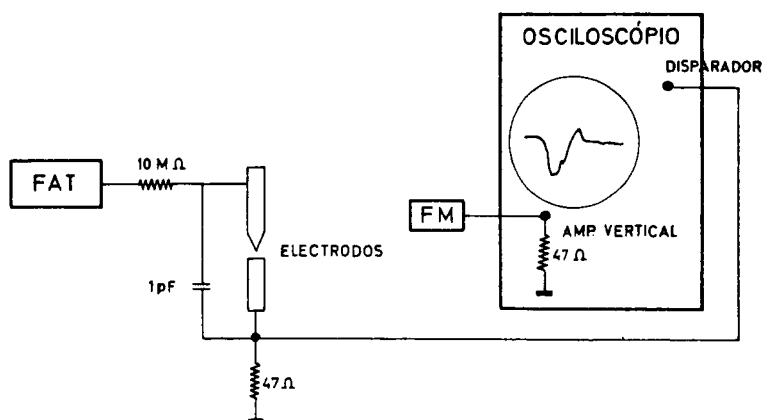


Fig. 1 — Esquema das ligações eléctricas. A fonte de alta tensão está indicada por *FAT*; o fotomultiplicador por *FM*. No écran do osciloscópio mostra-se a forma aproximada dos impulsos vindos do fotomultiplicador.

Os impulsos luminosos são detectados por um fotomultiplicador mas pode também usar-se um fotodiodo <sup>2)</sup>. Os impulsos eléctricos correspondentes que aparecem no ânodo do fotomultiplicador são aplicados à entrada do amplificador vertical do osciloscópio através de um cabo coaxial

de  $50 \Omega$  de impedância. Para minimizar as reflexões destes sinais, a resistência de ânodo do fotomultiplicador tem o valor de  $47 \Omega$  e, do lado do osciloscópio, o cabo é também terminado por uma resistência de  $47 \Omega$ , isto é, põe-se uma resistência de  $47 \Omega$  em paralelo com a impedância de entrada do osciloscópio — que é usualmente da ordem de  $1M \Omega$ . (O valor  $47 \Omega$  foi escolhido por ser próximo do valor correcto —  $50 \Omega$  — e se encontrar facilmente no comercio). Aplicando ao fotomultiplicador uma tensão de trabalho apropriada, o sinal no ânodo é de amplitude conveniente e não necessita de ser amplificado. O sinal é observado com a máxima velocidade de varrimento possível no osciloscópio; a velocidade de  $10ns/cm$ , usualmente existente nos osciloscópios de  $50MHz$ , é suficiente para uma experiência de demonstração.

Na Fig. 2 indica-se esquemáticamente o percurso óptico utilizado. A fim de maximizar a intensidade do feixe luminoso, a lente usada para tornar o feixe paralelo tem uma distância focal pequena (cerca de  $0,5cm$  no nosso caso); uma abertura  $f/0,25$  é bastante. A luz é primeiramente reflectida num espelho plano posto a cerca de  $45^\circ$  relativamente aos quatro espelhos paralelos; é conveniente montar estes quatro espelhos fixos num suporte rígido comum. O feixe luminoso, que se propaga da esquerda para a direita, é reflectido na direcção do fotomultiplicador por um espelho que se pode deslocar ao longo de uma pequena bancada óptica. Com a disposição dos espelhos e as distâncias indicadas na Fig. 2, o percurso óptico pode incrementar-se em dois degraus iguais de aproximadamente  $293cm$ , através da deslocação do espelho móvel da posição A para a posição C. O facto de os cabos que transportam os sinais serem fixos (e curtos), e de apenas se modificar o percurso óptico é uma vantagem da montagem utilizada nesta experiência de demonstração.

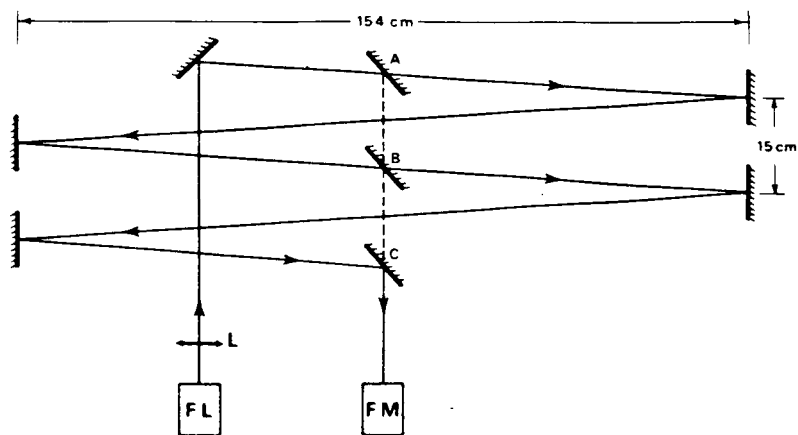


Fig. 2 — Percurso óptico. *FL*, fonte luminosa; *L*, lente convergente; *FM*, fotomultiplicador. As três posições do espelho móvel estão indicadas por *A*, *B*, e *C*.

Para uma velocidade de varrimento horizontal do feixe do osciloscópio de 10 ns/cm, a cada incremento de 293cm do percurso óptico corresponde, no osciloscópio, o deslocamento horizontal de 1cm do sinal associado à detecção do impulso luminoso. Determina-se, assim, a velocidade da luz com uma precisão de, digamos, 10%; uma determinação tão simples e directa tem grande impacto nos estudantes.

A experiência pode repetir-se por forma a que a luz se propague na água, ou ao longo de varetas de perspex. Um trajecto de cerca de 586cm em água, cujo índice de refração é  $n=1,33$ , equivale a um trajecto no ar de  $586+193$ cm, ou seja, corresponde a um acréscimo de cerca de 7ns no tempo de percurso relativamente ao tempo de percurso no ar; a correspondente deslocação do sinal no écran do osciloscópio é facilmente observável. Assim se poderia demonstrar a relação entre a velocidade da luz  $v$  num meio e o respectivo índice de refração ( $n=c/v$ ), ou introduzir experimentalmente a noção de percurso óptico.

<sup>1)</sup> C. E. Tyler, *Amer. J. Phys.* 37 (1969) 1154

<sup>2)</sup> D. S. Edmonds, Jr. e R. V. Smith, *Amer. J. Phys.* 39 (1971) 1145