

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 ¹⁾. 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 kV e prossegue até a tensão descer de cerca de 200 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 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 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.

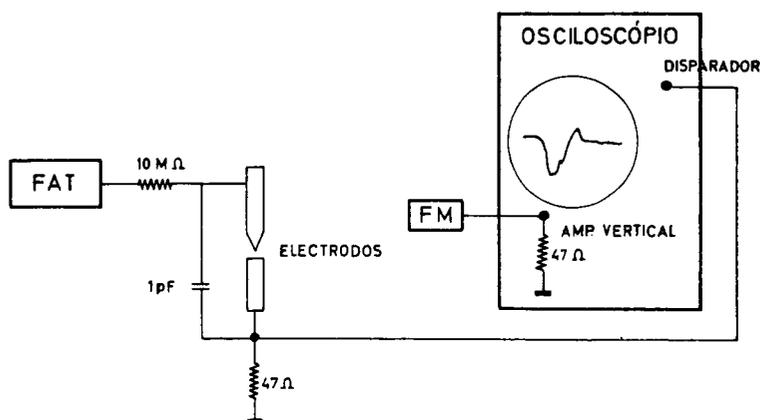


Fig. 1 — Esquema das ligações eléctricas. A fonte de alta tensão está indicada por *FAT*; o fotomultiplicador por *FM*. No écran do osciloscópio mostra-se a forma aproximada dos impulsos vindos do fotomultiplicador.

Os impulsos luminosos são detectados por um fotomultiplicador mas pode também usar-se um fotodiodo ²⁾. 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 50Ω de impedância. Para minimizar as reflexões destes sinais, a resistência de ânodo do fotomultiplicador tem o valor de 47Ω e, do lado do osciloscópio, o cabo é também terminado por uma resistência de 47Ω , isto é, põe-se uma resistência de 47Ω em paralelo com a impedância de entrada do osciloscópio — que é usualmente da ordem de $1M \Omega$. (O valor 47Ω foi escolhido por ser próximo do valor correcto — 50Ω — 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° 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.

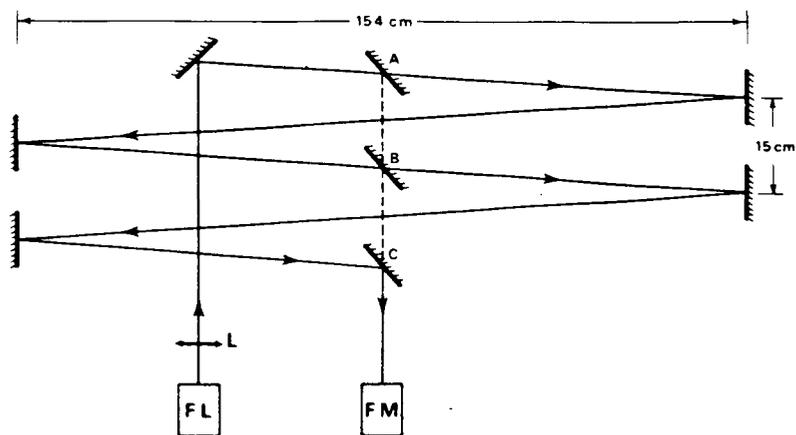


Fig. 2 — Percurso óptico. *FL*, fonte luminosa; *L*, lente convergente; *FM*, fotomultiplicador. As três posições do espelho móvel estão indicadas por *A*, *B*, e *C*.

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.

¹⁾ C. E. Tyler, *Amer. J. Phys.* 37 (1969) 1154

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