



Universidade de Brasília

Física Experimental 4

Experimento VI-b

Medida da velocidade da luz

26 de Julho de 2013

Professora Nadia Maria de Liz Koche

Alunos:

Juarez A.S.F	11/0032829
Sérgio Fernandes da Silva Reis	11/0140257
Jedhai Pimentel	09/0007883



Conteúdo

1	Objetivos	3
2	Materiais	3
3	Introdução	4
4	Procedimentos	6
5	Dados	6
6	Análise de Dados	7
7	Conclusão	10



1 Objetivos

Medir a velocidade da luz.

2 Materiais

Para o experimento utilizou-se:

- fonte de laser
- 2 lentes convergentes: uma de foco 50mm e outra de 200mm
- banco ótico
- espelho rotativo com controle de velocidade
- microscópio acoplado com micrômetro
- divisor de feixe(Beam Splitter)
- espelho esférico



3 Introdução

A velocidade da luz c é uma das propriedades mais importante da natureza. Segundo a teoria da relatividade ela impõe restrições para a velocidade que um corpo pode atingir e, além disso, contra todas as intuições e princípios da física clássica, deve ser a mesma independente do referencial sob o qual é medida. Isso quer dizer, por exemplo, que independente da velocidade que um observador possua ele sempre irá ver a luz de sua lanterna de afastar de si com a mesma velocidade. Esse fato contaria uma noção comum que de que um jogador pode sempre lançar uma bola mais rápida se ele realizar o mesmo lançamento enquanto corre, acrescentando assim sua velocidade a velocidade com que seus braços conseguem mandar a bola. Esse princípio de constância da velocidade da luz tem várias consequências, dentre elas a contração do espaço e do tempo. Felizmente tais previsões só alteram significativamente os resultados clássicos em velocidades da ordem de c e, como veremos, essas velocidades não ocorrem no dia a dia.

Os sentidos humanos não são capazes de perceber a velocidade da luz, de modo que a luz parece se propagar instantaneamente. Experimentos que tentam medir a velocidade da luz do modo como normalmente medimos velocidade, ou seja, usando $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, são difíceis de serem realizados pois para as distâncias disponíveis na Terra o incremento de tempo dificilmente pode ser medido. Tome por exemplo o diâmetro da Terra aproximadamente $12.74 \cdot 10^6 \text{m}$, para a velocidade da luz aceita como correta a luz demoraria apenas 0.042 segundos para percorrê-lo. Fica claro que tal medida se torna inviável. Um modo de medir a velocidade seria usando medidas astronômicas ou, como faremos nesse experimento, usando resultados simples da ótica geométrica.

Considere um sistema ótico de dois espelhos e uma fonte pontual de luz. Um dos espelhos é fixo e o outro tem sua posição fixada mas é livre para girar em torno de seu eixo. O sistema é posto de forma que a luz incida no espelho rotativo, seja refletida na direção do espelho fixo, reflita no espelho fixo e retorne ao rotativo. É de se esperar que se o espelho rotativo for posto para rodar que o raio que retorna do espelho fixo incida do rotativo com ângulo de incidência diferente daquele com que o raio que veio da fonte o incidiu inicialmente. A diferença nesse ângulo de incidência está relacionada com o tempo que a luz demorou para ir ao espelho fixo e retornar ao rotativo. Conhecendo-se a velocidade com que o espelho gira e as distâncias envolvidas pode-se determinar a velocidade da luz. Medir esses ângulos de incidência é impraticável, mas o exemplo ilustra como um sistema ótico pode ser usado para medir a velocidade.

Considere a figura 1. Nela temos um divisor de feixe e um microscópio que permite a visualização de um ponto imagem cujo ponto objeto é a imagem formada pelo espelho rotativo. A diferença nos ângulos discutidas no parágrafo anterior irá

gerar variações nas posições em que o ponto imagem aparece no microscópio. É essa a medida que será usada no cálculo da velocidade da luz. Seja A a distância entre a fonte e a lente $L2$ da figura, B a distância entre $L2$ e o espelho rotativo, D a distância do espelho rotativo a imagem formada nele, ω a velocidade angular, em rad/sec, de rotação do espelho e $\Delta d'$ o deslocamento observado no microscópio. Pode ser mostrado que essas grandezas satisfazem a relação:

$$\Delta s' = \frac{4AD^2}{c(D+B)} \omega \quad (1)$$

A velocidade da luz pode ser então medida através do coeficiente angular da reta acima.

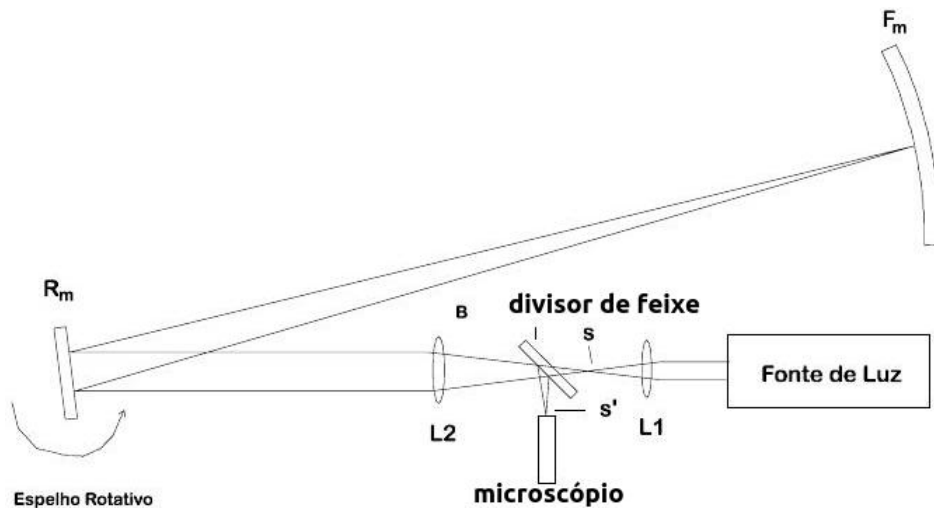


Figura 1: Diagrama do experimento



4 Procedimentos

A montagem é ilustrada na figura 1. Inicialmente ajusta-se os espelhos de forma a obter uma imagem nítida da fonte no microscópio. Durante esse ajuste o espelho rotativo deve estar girando para que o microscópio não receba a luz diretamente da fonte. Escolhe-se um sentido para começar as medidas e coloca-se a intensidade da rotação em máximo. Para colocar em máximo deve-se topar o potenciômetro e apertar o botão vermelho do aparelho. O botão vermelho não pode ficar apertado por mais de um minuto para não danificar o equipamento. Olhando no microscópio ajusta-se o micrômetro para que a divisão horizontal coincida com a altura do ponto vermelho observado. Anota-se a medida do micrômetro e a frequência de giro do espelho rotativo. O procedimento é refeito para vários valores de frequência com valores decrescentes até que se atinja o mínimo. Agora inverte-se o sentido da rotação e as medidas são tomadas para valores crescentes de frequência. Convencionou-se um dos sentidos com positivo e o outro como negativo para futura análise dos dados. Devem ser medidas também as distâncias entre as lentes L1 e L2, a distância focal de cada uma, a distância entre a lente L2 e o espelho rotativo e a distância entre o espelho rotativo e o espelho fixo.

5 Dados

Os dados da posição s' em função da frequência de rotação são mostrados na tabela 1. Nas medidas adotamos o sentido anti-horário como positivo. As distâncias entre os elementos e as distâncias focais são:

$A = 21.5cm \pm 0.1cm$	distância entre as lentes menos a distância focal de L1
$B = 40.7cm \pm 0.1cm$	distância entre L2 e espelho rotativo
$D = 992.00cm \pm 0.05cm$	distância entre os espelhos
$F1 = +50mm$	distância focal de L1
$F2 = +200mm$	distância focal de L2

(2)



f(Hz) ± 1 Hz	S'(cm) ± 0.0005 cm
1497	1.0060
1037	1.0140
869	1.0155
703	1.0185
548	1.0220
401	1.0240
249	1.0255
111	1.0275
-111	1.0320
-258	1.0350
-402	1.0378
-555	1.0405
-699	1.0428
-856	1.0448
-1004	1.0485
-1517	1.0575

Tabela 1: posição em função da frequência

6 Análise de Dados

Os gráficos da tabela 1 são plotados na figura 2. Não plotamos os dados puros da tabela e sim uma adaptação deles para melhor visualização. Como aqui o que importa é o $\Delta s'$ subtraímos de todos os dados o valor de s' na frequência mais negativa e multiplicamos por menos um para invertermos o sinal. Dessa forma temos uma reta crescente. Além disso, as frequência em Hz são multiplicadas por 2π para termos a frequência angular em radianos por segundo.

A regressão linear obtida é:

$$\Delta s' = (0.00000272 \pm 0.00000004)\omega + (0.0267 \pm 0.0002) \quad (3)$$

O termo linear na fórmula simplesmente ajusta os dados ao nosso referencial escolhido. O importante dessa regressão é o coeficiente angular $\alpha = (2.72 \pm 0.04)10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}$ que podemos comparar com a fórmula 1. Usando as medidas A, B e D podemos determinar a velocidade da luz como:

$$c = \frac{4AD^2}{(D+B)\alpha} = \frac{4 \cdot 26.5 \text{ cm} \cdot (992.00 \text{ cm})^2}{(1032.7 \text{ cm}) \cdot (0.00000272 \text{ cm} \cdot \text{s})} = 3.01285836 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad (4)$$

vamos aproximar o erro. Para facilitar as contas vamos considerar ($E = D+B = 1032.7 \pm 0.2$)cm uma variável independente. Nesse caso o erro pode ser aproximado como:



$$|\Delta c| \leq 4 \left[\left| \frac{D^2}{E\alpha} \Delta A \right| + \left| \frac{A2D}{E\alpha} \Delta D \right| + \left| \frac{AD^2(-1)}{E^2\alpha} \Delta E \right| + \left| \frac{AD^2(-1)}{E\alpha^2} \Delta \alpha \right| \right] \quad (5)$$

$$|\Delta c| \leq (1.4 \cdot 10^8 + 3.0 \cdot 10^6 + 7.2 \cdot 10^6 + 1.4 \cdot 10^8) \frac{cm}{s} \quad (6)$$

e o erro total é:

$$|\Delta c| = (3 \cdot 10^8) cm/s \quad (7)$$

Portanto nossa medida foi:

$$c = (3.01 \pm 0.03) \cdot 10^{10} \frac{cm}{s} \quad (8)$$

Vemos que os dois fatores que mais influenciam no erro são a distância entre a fonte e a lente L2 e o coeficiente angular da reta da regressão.

O valor aceito para a velocidade da luz é de $2.99796 \times 10^{10} cm/s$. O valor difere do nosso por 0.012×10^8 , dentro da margem de erro encontrada e portanto as medidas foram acuradas. Além disso a margem de erro calculada é de 1% e o experimento foi preciso.

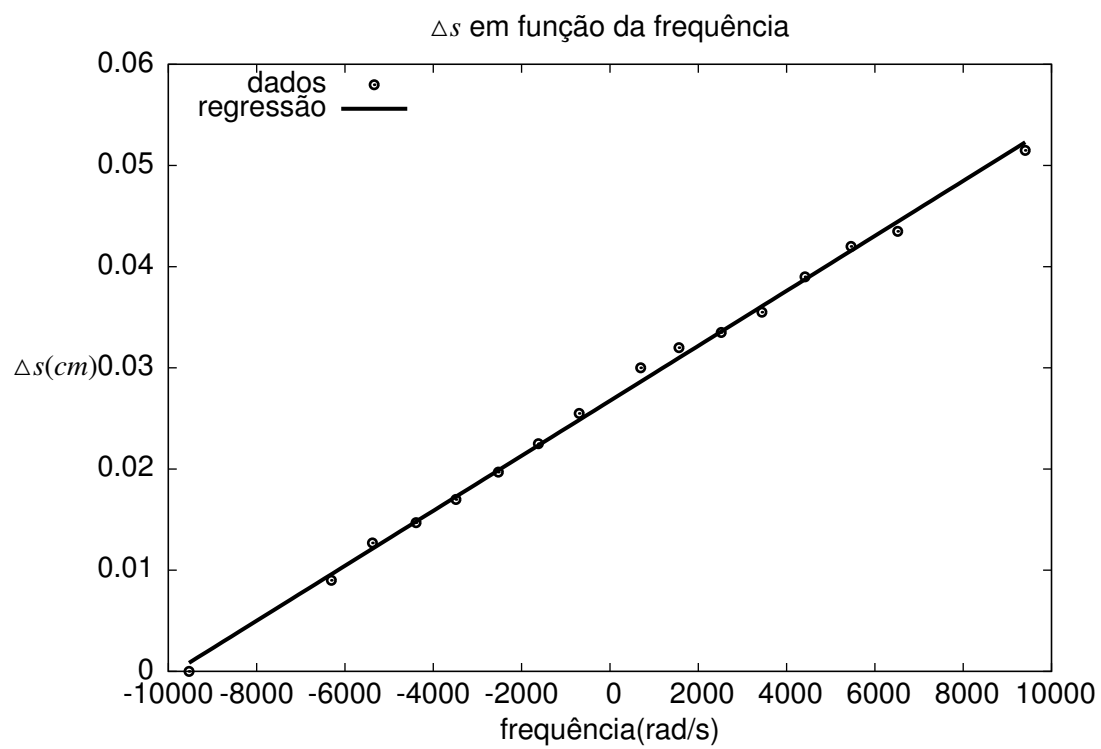


Figura 2: $\Delta s'$ em função de ω



7 Conclusão

O experimento permitiu calcular a velocidade da luz em $c = (3.01 \pm 0.03) \cdot 10^8 m/s$. A margem de erro é de 1% da melhor medida e engloba o valor tabelado. O experimento foi portanto acurado e preciso.

Referências

- [1] JEWETT, J.W.; SERWAY, R.A. *Física para cientistas e engenheiros* volume 4 : Luz, Óptica e Física Moderna. 8ª ed. São Paulo : Cengage Learning, 2012.