Nota sobre a variabilidade da velocidade da luz
(Note on the variability of the speed of light)

Valdir Monteiro dos Santos Godoi
valdir.msgodoi@gmail.com

RESUMO – Reforçamos a necessidade de mais experiências para se medir a variação da velocidade da luz em um campo gravitacional. Indicamos um procedimento experimental na superfície da Terra que pode fornecer uma razoável estimativa do verdadeiro valor da velocidade da luz na ausência de campo gravitacional. A velocidade da luz na ausência de campo gravitacional deve ser maior do que hoje sabemos, e na presença de campo gravitacional pode variar ao longo do dia, a exemplo na superfície da Terra, isto conforme a Relatividade Geral.

ABSTRACT – We emphasize the need for more experiments to measure the variation of the speed of light in a gravitational field. Indicate an experimental procedure on the surface of the Earth that can provide a reasonable estimate of the true value of the speed of light in the absence of gravitational field. The speed of light in the absence of gravitational field is greater than we now know, and in the presence of gravitational field can vary throughout the day, for example in the Earth's surface, this according to General Relativity.

Palavras chaves: espaço, tempo, réguas, relógios, massa, luz, Relatividade Geral, Einstein, velocidade da luz, variação, aceleração, gravidade, potencial gravitacional, Newton, Laplace.

Keywords: space, time, rulers, scales, clocks, mass, light, General Relativity, Einstein, speed of light, light velocity, variation, acceleration, gravity, gravitational potential, Newton, Laplace.

Em nosso artigo anterior[1], no qual pode-se perceber que a emoção as vezes acompanha a Ciência, indicamos a necessidade de se realizarem mais experiências com a velocidade da luz sob a influência de um campo gravitacional.

A velocidade da luz variável que obtivemos, entretanto, é a velocidade num movimento radial em relação ao centro do sistema de coordenadas, onde se localiza o centro da massa *M*, e indicaremos para esta velocidade

$$c' = \left(1 - \frac{2}{c^2}\,\Phi\right) c, \qquad (1)$$

sendo c a velocidade da luz no vácuo e livre de efeitos gravitacionais, $\Phi = \frac{GM}{r}$ o valor absoluto do potencial gravitacional e r a distância do ponto onde se mede a velocidade à origem do sistema. c' indica também um movimento levemente acelerado para a velocidade da luz no sentido radial.

Já percebemos anteriormente, entretanto, que não parece simples obtermos, verdadeiramente, e experimentalmente, o valor de c, já que nas medidas na Terra estão naturalmente envolvidos campos gravitacionais, ainda que imperceptivelmente, os mais fortes sendo o do Sol ($\Delta c^{Terra-Sol} \approx 5{,}92\ m/s$) e da própria Terra ($\Delta c^{Terra} \approx 4{,}17 \times 10^{-1}\ m/s$), mas em menor contribuição o campo da Lua também ($\Delta c^{Terra-Lua} \approx 8{,}66 \times 10^{-5}\ m/s$).

Em [2] Einstein mostra que as réguas unidade não sofrem alteração em seu tamanho sob a influência de um campo gravitacional estático, quando dispostas perpendicularmente ao campo (ao menos em primeira ordem de aproximação).

Esta conclusão pode também ser posta à prova, e as variações sensíveis que são provocadas na velocidade da luz em dois momentos diferentes, com o Sol perpendicular a um trajeto linear da luz e o Sol alinhado a este mesmo trajeto linear, por comodidade na superfície da Terra, deverão evidenciar uma mensurável diferença na velocidade da luz.

Para uma régua originalmente de comprimento $d\rho$ disposta perpendicularmente ao campo deve valer

$$dx = d\rho, \tag{2}$$

onde $d\rho$ é o tamanho da régua sem o campo gravitacional e dx o respectivo tamanho com este campo. $d\rho$ não deve ser grande, evidentemente, quando comparado com a distância r ao centro do sistema.

Para o tempo nestas duas situações, i.e., no movimento perpendicular e no radial, com (dt) e sem ($d\tau$) o campo gravitacional, temos

$$dt = \frac{d\tau}{\sqrt{1-\frac{2}{c^2}\Phi}}. \tag{3}$$

Então, se $\frac{d\rho}{d\tau}$ é a velocidade na ausência do campo, temos

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{1-\frac{2}{c^2}\Phi}\,\frac{d\rho}{d\tau}, \tag{4}$$

sendo $\frac{dx}{dt}$ a respectiva velocidade na presença do campo, num movimento feito perpendicularmente a este campo.

Se $\frac{d\rho}{d\tau} = c$ e $\frac{dx}{dt} = c^T$ é a correspondente velocidade da luz sob efeito de *M*, então

$$c^T = \sqrt{1 - \frac{2}{c^2}\Phi}\,c \approx \left(1 - \frac{\Phi}{c^2}\right)c, \tag{5}$$

numericamente igual ao que Einstein obteve em [3], tomando-se o cuidado com o significado de Φ que aqui fazemos e seu sinal.

A subtração $c^T - c'$, diferença entre a velocidade da luz no movimento perpendicular ao campo e no sentido radial, é então

$$\Delta c = c^T - c' \approx \frac{\Phi}{c} = \frac{GM}{cr}, \tag{6}$$

que para

c = 299 792 458 m/s
G = 6,674287 x 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}
M = 1,989 x 10^{30} kg (massa do Sol)
$D_{T\text{-}S}$ = 1,496 x 10^{11} m (distância Terra-Sol)
R_T = 6,371 x 10^6 m (raio médio da Terra)
$r = D_{T\text{-}S} - R_T \approx D_{T\text{-}S}$

resulta em

$$\Delta c \approx 2{,}96\, m/s,$$

ou seja, uma diferença que, em condições ideais, poderia ser medida, supondo que *c* é a velocidade da luz no vácuo, e sem campo gravitacional algum. A contribuição do campo da Terra em cada situação tenderia a ser anulada na subtração (6). A rigor, o valor de *r* não é o mesmo em c^T e c', não devendo ser subtraída da distância Terra-Sol o raio da Terra em c', apenas em c^T, mas como o raio da Terra é muito pequeno comparado com a distância da Terra ao Sol, subtraí-lo ou não em nada altera o valor de Δc acima, arredondado a 2 algarismos decimais.

Se *c* foi medida em um campo gravitacional, o resultado experimental de

$$c = \frac{GM}{(\Delta c)r} \tag{7}$$

deve fornecer o aproximado valor da velocidade da luz na ausência de campo gravitacional.

Teoricamente (Relatividade Geral), se $\Delta c \to 0$ obtemos de (7) $c \to \infty$, e teríamos grande surpresa (e descoberta) neste caso, se obtivermos experimentalmente $\Delta c \approx 0$. Não obstante, $c \to \infty$ tenderia a fazer $c^T \to \infty$ em (5), assim como $c' \to \infty$ em (1), portanto tal possibilidade não me parece verdadeira. Independentemente disto, devemos nos basear no resultado da experiência, e não no que propõe a Relatividade Geral como verdadeira. O resultado experimental $\Delta c \approx 0$ pode ainda indicar, simplesmente, que a Relatividade Geral não fornece valores corretos para este resultado experimental.

Então, c^T, a velocidade da luz no movimento perpendicular ao campo, deve ser medida com o Sol mais alto possível, i.e., nas proximidades das 12 h, e c', a velocidade no sentido radial, por sua vez deve ser medida quando o Sol estiver a se pôr (por volta das 18~19 h), e o movimento da luz neste caso, na(s) experiência(s), estaria alinhado à posição do Sol o melhor que for possível. Para que a velocidade seja a medida no vácuo, é essencial que a luz realize seu movimento em um tubo de vácuo, evidentemente.

Se Δc não for igual a zero (ou tecnicamente muito próximo de zero, igual a zero dentro das incertezas experimentais) a surpresa (e descoberta) não seria menor, e deixaria claro que a velocidade da luz não pode ser considerada uma constante na superfície da Terra, variando, por exemplo, com o horário, posição do Sol e data, mesmo que a variação seja pequena, por volta de 3 m/s. Por fim restaria comparar se a diferença está conforme a Relatividade Geral. Até mesmo medições próximas à meia-noite podem ser feitas, correspondendo à posição onde a distância ao Sol é máxima ($r = D_{T\text{-}S} + R_T \approx D_{T\text{-}S}$). Trabalhoso, meticuloso, mas necessário; certamente mais simples que viajar a Plutão.

Concluo assim que a velocidade da luz na ausência de campo gravitacional é maior do que a velocidade que hoje sabemos (que se deduz de (1) e (5), admitindo-se que c' e c^T são velocidades típicas da luz medidas experimentalmente),

$$c \approx \left(1 + 2\frac{\Phi}{c'^2}\right) c', \tag{8}$$

e

$$c \approx \left(1 + \frac{\Phi}{{c^T}^2}\right) c^T, \tag{9}$$

e na presença de campo gravitacional pode variar ao longo do dia, a exemplo na superfície da Terra, isto conforme a Relatividade Geral.

Lembrando ainda que, na realidade, outra teoria gravitacional (newtoniana, por exemplo), poderia também levar à mesma conclusão, desde que nela a velocidade da luz varie de forma “aproximadamente” igual à obtida aqui.

Observo, para encerrar, que Laplace já mencionou que a velocidade das ondas gravitacionais (partículas transmissoras da força gravitacional) poderia ser muitas vezes maior que a velocidade da luz, reforçando a ideia de que na mecânica de Newton parece não haver nenhum limite para as velocidades.

REFERÊNCIAS

1. Godoi, V.M.S., *Space-Time and the Schwarzschild Metric*, disponível em http://vixra.org/abs/1501.0233 (2015).

2. Einstein, A., *Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral*, em Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I, O Princípio da Relatividade, tradução de Mário José Saraiva do artigo original *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie,* Annalen der Physik, **49**, 769-822 (1916). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1983).

3. Einstein, A., *Sobre a Influência da Gravidade na Propagação da Luz*, em Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I, O Princípio da Relatividade, trad. Annalen der Physik, **35** (1911). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1983).