



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Roteiro para utilização da caixa relativística

Artur Alberto Gomes Neto

Carlos Augusto Domingues Zarro

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Artur Alberto Gomes Neto, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Janeiro de 2020

Neste material instrucional vamos apresentar como utilizar a caixa relativística e o roteiro para as quatro atividades possíveis de fazer com o produto.

1 Comandos

A central de comandos do produto possui 5 botões (chaves), um potenciômetro e um braço metálico, como podemos ver na figura 1.

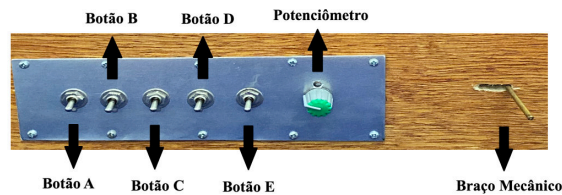


Figura 1. Central de comando da caixa relativística. Figura própria.

Botão A - Liga e desliga os LEDs azul (que representa a Terra) e verde (que representa a estrela).

Botão B - Liga e desliga o laser linha que representa o raio de luz vindo da estrela.

Botão C - Liga e desliga o laser pontilhado que representa as possíveis posições da estrela aparente.

Botão D - Liga e desliga o laser linha que representa o raio de luz vindo da posição aparente da estrela.

Botão E - Liga e desliga o LED que representa o Sol.

Potenciômetro - Aumenta e diminui a intensidade do laser ponto, representa a estrela durante o Eclipse Solar.

Braço mecânico - Utilizado para tampar o laser linha e controlar o raio de luz vindo da estrela.

Braço de arame - Localizado na lateral da caixa, quando puxado move o obstáculo sobre a lâmpada LED.

2 Utilização do Produto

O experimento visa criar uma analogia para explicar a curvatura que uma massa provoca no espaço (a analogia não inclui a deformação temporal). Para isso, simularemos a curvatura sofrida pela luz ao passar nas proximidades do Sol.

2.1 Atividade 1: Apresentação da Teoria da Relatividade Geral

Nesta atividade, o monitor deverá comentar alguns aspectos da teoria da relatividade geral como o princípio da equivalência e o paradigma da gravitação como a curvatura do espaço-tempo. Esta atividade visa fornecer uma outra definição da gravidade, distinta da gravitação Newtoniana.

Para ilustrar a analogia da gravitação com a curvatura do tecido da caixa relativística, com a caixa desligada, primeiramente, coloca-se a bola de isopor. Assim, não haverá uma curvatura apreciável do tecido (figura 2). Depois retiramos a bola de isopor e colocamos na mesma posição, bolas maciças de metal com diferentes tamanhos, conforme mostra a figura 3. É notável que quanto maior a massa da bola de metal, maior será a curvatura no tecido (deformação). No paradigma da relatividade geral, essa curvatura mais acentuada está associada a um campo gravitacional mais intenso. Uma pergunta que surge naturalmente é a possibilidade de detectar algum efeito físico desta curvatura. Responderemos isto na Atividade 2.

2.2 Atividade 2: A deflexão de um raio luminoso por um campo gravitacional

Supondo que a massa do Sol não seja capaz de deformar o espaço-tempo, ou ainda, imaginando não existir tal curvatura, colocaremos sobre o tecido uma bola de isopor que fará o papel do Sol. Obviamente tal bolinha não conseguirá deformar o tecido, assim sendo, a trajetória da luz vinda de uma estrela distante será retilínea, e com o Sol entre a Terra e a estrela, não será possível observá-la (figura 2).

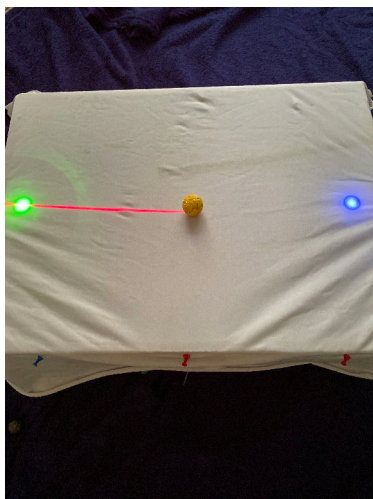


Figura 2. O Sol representado por uma boa de isopor, portanto não deforma o tecido. Figura própria.

Para isso os botões A e B devem estar ligados. Com o auxílio do braço mecânico, o laser linha é limitado até a bola de isopor. Com essa analogia podemos observar que não seria possível ver uma estrela distante, localizada atrás do Sol, caso a trajetória da luz fosse retilínea, ou seja, caso o espaço-tempo fosse euclidiano e indeformável.

Em seguida, substituiremos o Sol de isopor por um Sol de metal, uma bilha. Desta vez, o tecido será deformado representando (através de uma analogia) a curvatura do espaço provocada pela massa do Sol (figura 3).



Figura 3. O Sol representado por uma bola de metal deformando o tecido. Figura própria.

Vejamos que através do tecido deformado, a luz percorrerá uma trajetória curva desde a estrela (LED verde) até a Terra (LED azul), ou seja, uma geodésica através dessa superfície não Euclidiana.

Assim como Einstein previu, graças a essa curvatura, um observador na Terra veria a estrela em uma posição aparente diferente de sua posição original. Fato que foi observado durante um Eclipse Solar. Mas qual é a posição da estrela vista por um observador na Terra, isto será respondido a seguir.

Então, antes de acender o laser amarelo (posição aparente), o laser pontilhado será ligado, permitindo ao espectador indicar a posição em que ele acredita ser a localização aparente da estrela, em seguida, poderá constatar se sua suposição inicial era correta (figura B.4). Fica claro que a atividade precisa ser completamente mediada, apesar de ser totalmente voltada para o espectador, ele não é capaz de contemplar as atividades sozinho.

2.3 Atividade 3: A diferença entre a posição aparente da estrela e sua posição real

Acionando o botão C do produto, o laser pontilhado é ligado indicando possíveis posições aparentes da estrela. Antes de acender o laser amarelo (posição aparente), o laser pontilhado será ligado, permitindo ao espectador indicar a posição em que ele acredita ser a localização aparente da estrela, em seguida, poderá constatar se sua suposição inicial era correta (figura 4). Sugerimos um questionamento aos expectadores: onde a imagem da estrela atrás do Sol será vista por um observador na Terra? Neste ponto pode-se fazer uma analogia com a Óptica Geométrica, como por exemplo, no fenômeno das miragens e da formação de imagens por espelhos, lentes e dioptros planos.

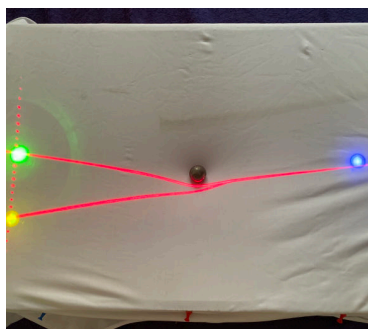


Figura 4. A luz vinda da estrela sofre um desvio ao passar pelo Sol “pesado”, portanto sua posição aparente é diferente da posição real. Figura própria

Atividade 4: Eclipse

A luz vinda de uma estrela distante ao passar pelo Sol sofrerá um desvio, porém durante o dia, com o brilho do Sol, fica praticamente impossível observá-la. Portanto era necessário que o Sol estivesse lá mas com seu brilho contido, ou seja, o melhor cenário seria durante um eclipse solar. Nesta atividade vamos representar a importância do eclipse de Sobral de 1919, como sendo uma das primeiras comprovações da TRG.

O LED central aceso (botão E) representa o Sol brilhando e ofuscando a estrela distante. Em seguida com o auxílio do braço de arame, coloca-se o obstáculo de metal sobre o LED e caracterizamos o eclipse. É notório que o brilho da estrela distante (LED vermelho) se torna mais perceptível com o ofuscamento do Sol (LED central), podemos observar nas figuras 5 e 6.

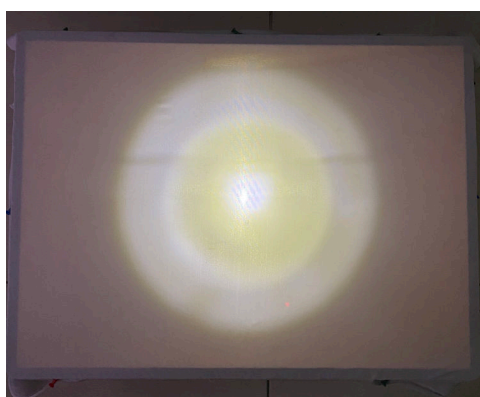


Figura 5. O LED central fazendo o papel do Sol. Perceba o LED vermelho na parte inferior do brilho, quase indetectável. Figura própria

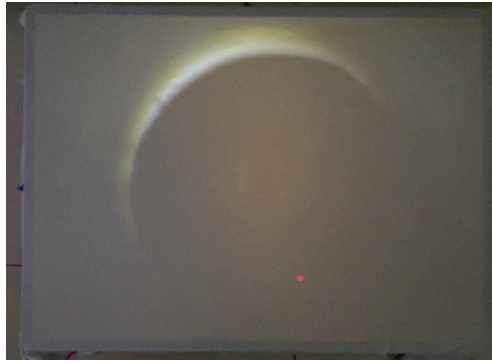


Figura 6. Agora com o Sol (LED central) ofuscado pela Lua (Obstáculo de metal), o brilho da estrela se torna completamente visível. Figura própria