

UNIVERSO ELEGANTE – POR QUE NÃO SE PODE VER ESTRELAS DURANTE O DIA?

Por [Hindenburg Melão Jr.](#)

Estou lendo “Universo Elegante”, de Brian Greene, provavelmente o livro mais famoso sobre Teoria das Cordas. Estou achando bastante interessante, mas há alguns erros que não podem ser atribuídos ao tradutor... Quando terminar de ler, talvez eu faça uma compilação dos erros mais interessantes e escreva um artigo a respeito, ou talvez vá escrevendo à medida que for lendo.

De imediato, um erro que me pareceu especialmente didático para ser comentado é quando o autor afirma que durante o dia não se pode ver estrelas porque o brilho do Sol é muito intenso e o Sol as ofusca, quando na verdade não é este o motivo.

A distância do Sol à Terra é praticamente igual à do Sol à Lua, com a diferença que como o baricentro do sistema Terra-Lua está 80 vezes mais próximo ao centro da Terra do que ao centro da Lua, então a flutuação na distância Sol-Lua acaba sendo um pouco maior que a flutuação na distância Sol-Terra, mas a distância média é praticamente igual. Portanto o brilho do Sol visto da Lua é igual ao brilho do Sol visto da Terra, acima da atmosfera. Como na Lua se pode ver normalmente estrelas durante o dia, isso refuta a tese de que a presença do Sol no céu seja a causa de não ser possível ver estrelas durante o dia.

A presença do Sol no céu faz com que as pupilas humanas se contraiam até cerca de 1 mm de diâmetro, em média, portanto acabam captando cerca de 50 vezes menos luz do que durante a noite, quando as pupilas chegam a cerca de 7 mm de diâmetro. Como à noite é possível enxergar estrelas de até m_v 6,3, então durante o dia deveria ser possível enxergar estrelas até 50 vezes mais brilhantes, portanto com m_v até cerca de 2,0. Mas na prática não se consegue ver nem mesmo Vênus, com m_v $-4,5$. A presença do Sol reduz a quantidade total de estrelas visíveis, porque como ele provoca a contração das pupilas, impossibilita que se consiga ver as estrelas de menor brilho, porém as mais brilhantes continuam visíveis.

No céu inteiro, contando os dois hemisférios, há cerca de 6.500 estrelas visíveis a olho nu, com m_v 6,3 ou mais brilhantes. Entre estas, há 48 com m_v 2,0 ou mais brilhantes. Portanto,

se fosse considerado apenas o diâmetro das pupilas, com a presença do Sol no céu, se as pupilas ficarem com cerca de 1 mm de diâmetro, para um par de retinas com sensibilidade normal, seria possível enxergar no céu lunar (num dos hemisféricos) cerca de 25 estrelas.

Mas há que se considerar também que a sensibilidade dos cones, que ficam na região central das retinas, é menor que a dos bastonetes. Quando as pupilas estão contraídas, só os cones são atingidos pela luz. Portanto além de as pupilas ficarem menores, as células fotossensíveis na região central da retina são menos eficientes, de modo que além de a abertura das pupilas ficar menor, a área que esta luz atinge é menos sensível.

Outro fator é que o olho humano é um pouco mais sensível aos comprimentos de onda mais curtos, por isso para duas estrelas com mesma mv bolométrica, aquela com índice de cor B-V mais próximo ao azul terá maior probabilidade de ser visível por um olho normal. Como o nitrogênio da atmosfera absorve predominantemente a luz nos comprimentos de onda mais longos, então o vermelho acaba sendo absorvido, enquanto o azul acaba se dispersando e produzindo a cor azulada do céu, reduzindo o contraste com as estrelas mais brilhantes, e isso acentua o efeito que dificulta a observação de estrelas durante o dia.

Isso faz com que o número de estrelas visíveis por hemisfério seja um pouco menor que 20. Ainda assim, seria possível observar estrelas durante o dia, mesmo com a presença do Sol.

O que impede um observador com retinas normais, situado na superfície da Terra, de conseguir enxergar estrelas durante o dia, a olho nu, é o efeito Rayleigh: quando uma radiação eletromagnética (como a luz) atravessa algo translúcido (como a atmosfera), parte desta radiação se dispersa. Isso faz com que toda a atmosfera seja iluminada. Como a atmosfera da Lua é muito diáfana, a tal ponto que até poucas décadas atrás pensava-se que ela não possuía atmosfera, o efeito Rayleigh na Lua é imperceptível, de modo que o céu permanece escuro mesmo durante dia. Por isso as estrelas mais brilhantes podem ser vistas na Lua, durante o dia, mas não na Terra.

Outro detalhe é quando Greene afirma que um objeto em movimento acelerado uniforme sofre o mesmo efeito relativístico que um objeto exposto a um campo gravitacional em que a aceleração gravitacional na região seja a mesma aceleração do objeto. Não é, porque um

objeto que não seja punctiforme, em movimento acelerado, tem todas as suas partes sujeitas à mesma aceleração, mas num campo gravitacional, há um gradiente de intensidade, que faz com que a aceleração nas regiões mais próximas ao baricentro seja mais intensa. O próprio Greene demonstra ter conhecimento disso, e provavelmente não citou este detalhe por questões didáticas.

Há um erro frequente que inclusive especialistas em Relatividade costumam cometer, mas Greene evita discretamente, quando ele afirma que ao passar pelas proximidades do Sol, os efeitos gravitacionais sentidos são quase iguais aos que seriam produzidos por um buraco-negro com mesma massa do Sol. A grande maioria dos físicos teria afirmado que os efeitos são idênticos, inclusive um pós-doutorado pela UFRGS no antigo fórum de Astronomia do Orkut, especialista em buracos-negros, fez tal declaração incorreta. O problema é que se a massa está concentrada num volume muito menor, o nível de deformação total produzido maior, porque nas imediações da ergosfera as equações espaciais precisam ser descritas pela métrica de Kerr, e só muito afastado da ergosfera é que se pode usar, como aproximação satisfatória, a métrica de Minkowski. Mas quando se trata de uma estrela, em que não existe uma concentração tão grande de massa em nenhuma região, pode-se usar a métrica de Minkowski em praticamente qualquer região, obtendo resultados muito aproximados.

A distância necessária para que um objeto de massa desprezível tenha velocidade circular igual à velocidade da luz no vácuo em torno de um buraco-negro perfeitamente esférico é 1,5 raios de Schwarzschild, porém se o cálculo fosse feito usando Mecânica Newtoniana, o valor encontrado seria 2 raios de Schwarzschild. Essa diferença se deve ao fato de que na Mecânica Newtoniana usa-se exclusivamente a métrica de Minkowski, ou seja, o espaço é tratado como se seus eixos fossem ortonormais. Mas quando se leva em consideração a deformação provocada pela gravidade, o espaço perde sua ortogonalidade e sua escala intervalar.

Como resultado, a maior distorção nas proximidades da ergosfera, implica diferenças sutis na trajetória de objetos que passam a qualquer distância, sendo o efeito mais notório se tanto menor for a distância. Um ponto importante a favor de Greene, por ter tomado o cuidado de não omitir esse detalhe ao abordar esse tema.

Quando Greene trata do problema da bomba que seria detonada se houvesse uma variação na gravimetria local maior que 50% para mais ou para menos, aparentemente ele omite um detalhe, mas por sorte não traz nenhuma consequência. Quando ele comenta sobre compensar a redução na gravidade em função da altitude com uma aceleração na velocidade de subida, ele não chega a comentar que se a velocidade não ultrapassar determinado limite crítico (velocidade de escape ou velocidade parabólica), não importa qual seja a aceleração, o objeto cairá de volta à superfície, em vez de se afastar indefinidamente, como na solução apresentada. É possível que ele tenha pensado nisso, mas preferiu não aprofundar para não complicar, mas meu palpite é que o mais provável é que ele tenha omitido, porque em vários pontos ele demonstra preocupação com o rigor em tudo, e nos casos em que ele não é totalmente rigoroso, ele comenta que está sacrificando rigor em nome da simplificação. Neste caso ele não fez tal comentário. De qualquer modo, por sorte, mesmo para acelerações muito pequenas, o movimento sempre ascendente seria possível.
