
QUESTÃO DISCURSIVA NÚMERO 4 DO PROVÃO-2000 DO MEC PARA A LICENCIATURA EM FÍSICA

Fernando Lang da Silveira

Instituto de Física - UFRGS

Porto Alegre - RS

Rolando Axt

Departamento de Física, Estatística e Matemática - UNIJUÍ

Ijuí - RS

Resumo

É analisada a questão discursiva número 4 do Provão-2000 do MEC para a Licenciatura em Física. Comenta-se o "padrão de resposta esperado" do MEC e propõe-se uma resposta para a questão, em linguagem acessível, embora reconhecendo tratar-se de um problema mecânico complexo.

Introdução

No dia 11 de junho do corrente foi aplicado o Provão de Física-2000 para a Licenciatura em Física. O Provão do MEC (Ministério da Educação, Brasil) teve 40 questões de escolha múltipla – resposta única, além de cinco questões discursivas e, em nossa opinião, levando-se em consideração a extensão, o nível de dificuldade das questões propostas e principalmente, a insuficiência do tempo concedido para respondê-las, fez jus ao nome.

Embora muitas dessas questões fossem interessantes para serem propostas aos estudantes como exercício, a discursiva número 4 chamou-nos particularmente a atenção, desafiando nossa imaginação sobre qual seria o padrão de resposta esperado.

De imediato a questão foi apresentada a uma turma de alunos de Licenciatura em Física da UFRGS, com prazo de 5 dias para respondê-la. (Grande parte das soluções elaboradas por eles se enquadra no "padrão de resposta esperado" que o MEC divulgou via Internet posteriormente.)

Insatisfeitos com as respostas dos alunos, elaboramos um texto que, em linguagem acessível, respondesse, não tanto os itens c) e d) – que podem ter funcionado como "distratores" (*distractor; distracter*), desviando a atenção do foco da questão –

mas que se concentrasse na dúvida do estudante, expressa claramente no enunciado: "Aí não entendi mais nada: por que o Sol não "arranca" a Lua da Terra?"

O enunciado completo da questão discursiva número 4, bem como o "padrão de resposta esperado" pelos avaliadores do MEC, é transcrito a seguir.

A questão e o padrão de resposta do MEC

Questão discursiva 4: Um estudante diz ao seu professor: "Na semana passada li em uma revista de divulgação científica que o Sol tem massa cerca de 300.000 vezes maior que a massa da Terra e que a distância do Sol até a Lua em média é cerca de 400 vezes maior do que a distância da Lua até a Terra. Então fiquei pensando: quem ganharia a briga, ou seja, quem exerce mais força sobre a Lua: o Sol ou a Terra? Fiz umas contas e concluí que o Sol ganharia. Aí não entendi mais nada: por que o Sol não "arranca" a Lua da Terra?"

- Que princípio ou lei física possibilitou ao aluno essa conclusão?*
- Refaça os cálculos do aluno para comprovar a correção dessa conclusão.*
- Considerar a Lua como um "objeto de disputa" entre a Terra e Sol é correto? Explique.*
- Considerar a Terra e a Lua como um só sistema, ajuda a responder a pergunta do aluno? Explique.*

Padrão de resposta esperado:

a) O aluno aplicou a Lei da Gravitação Universal de Newton $F = \frac{GMm}{r^2}$

b) $M_S = 300.000M_T$ $d_{TL} = d$ $d_{SL} = 400d$

$$F_{SL} = \frac{GM_T M_L}{(400d)^2} = \frac{G(3 \times 10^5 M_T) M_L}{1,6 \times 10^5 d^2} \cong \frac{2GM_T M_L}{d^2}$$

$$F_{TL} = \frac{GM_T M_L}{d^2}$$

$$F_{SL} \cong 2F_{TL}$$

c) Não, pois se assim fosse a Lua seria "arrancada" de sua órbita da Terra.

d) Sim. Pode-se pensar que o Sol exerce uma ação sobre o centro de massa do sistema Terra-Lua, mantendo o "haltere" formado pelos dois, em sua órbita.

Comentários sobre os itens c) e d) do "padrão de resposta esperado" do MEC

A resposta ao item c) poderia ser positiva ou negativa, dependendo do que se entenda por "*objeto de disputa*" (rigorosamente, esta terminologia não faz parte do jargão usual da Física). Se entendermos como "*objeto de disputa*" um corpo sobre o qual outros corpos estão agindo, certamente a Lua seria um. Entretanto, afirmar que a Lua não é um "*objeto de disputa*" "*pois se assim fosse a Lua seria "arrancada" de sua órbita da Terra*" constitui-se em uma petição de princípio – erro lógico que consiste em tomar por estabelecida, sob uma forma um pouco diferente, a própria tese que se trata de demonstrar (Lalande, 1993) –, remetendo novamente à interrogação do estudante.

Quanto ao item d), sempre se pode considerar um conjunto arbitrário de corpos como um sistema. Demonstra-se que o centro de massa de qualquer sistema tem uma interessante propriedade (Kibble, 1970): comporta-se como uma partícula sob a ação da força resultante exercida sobre o sistema. A massa da partícula é a massa do sistema e a força resultante é a soma das forças externas ao sistema, já que as forças internas se anulam mutuamente. As distâncias relativas entre as partes do sistema podem se alterar tanto em consequência das forças externas, quanto das forças internas ao sistema; também podem se alterar quando as partes do sistema não sofrem qualquer ação (por exemplo, duas partículas livres que inicialmente apresentem movimento relativo). Desta forma, considerar Terra e Lua como um sistema certamente ajuda na compreensão do problema e pode encaminhar para a sua solução (como mostraremos adiante), mas por si só não responde à interrogação do estudante. Adicionalmente, o "padrão de resposta esperado" refere-se ao sistema Terra-Lua como um "*haltere*", induzindo a pensá-lo como um corpo rígido, no qual a distância Terra-Lua é constante. A distância Terra-Lua varia de maneira sensível – entre aproximadamente 56 e 63,8 raios terrestres (Mourão, 1993) – pois o movimento relativo não é circunferencial, mas aproximadamente elíptico; estas variações permitem ocorrências de eclipses do Sol totais e anulares.

Como poderíamos responder ao estudante?

A seguir o leitor encontra a nossa resposta à interrogação do estudante. Julgamos importante acrescentar ainda alguns aspectos que colocaremos em Apêndice.

Neste problema estamos tratando de um sistema de três corpos, sendo que um deles – o Sol – tem massa muito maior do que os outros dois. Assim, as forças

gravitacionais da Terra e da Lua sobre o Sol produzem acelerações que podem ser desprezadas frente às acelerações sofridas pela própria Terra e pela própria Lua. Portanto, para efeito do raciocínio que vamos desenvolver, o Sol pode ser considerado um sistema de referência inercial (não-acelerado), em relação ao qual a Terra e Lua estão aceleradas. Neste sistema de referência, Terra ou Lua sofrem duas acelerações: a aceleração produzida pela força gravitacional do Sol e a aceleração produzida sob efeito de sua atração gravitacional mútua. Como a dimensão do sistema Terra-Lua (distância entre a Terra e a Lua) é muito pequena em relação à distância que separa o sistema do Sol (cerca de 400 vezes menor), é fácil demonstrar – utilizando-se a Lei da Gravitação Universal e a Segunda Lei de Newton – que a força gravitacional exercida pelo Sol produz praticamente a mesma aceleração (em intensidade e orientação) em ambos os corpos. Isto equivale a dizer que o campo gravitacional do Sol sobre o sistema Terra-Lua pode ser considerado uniforme. Já que a Terra e a Lua estão igualmente aceleradas pelo Sol, o movimento relativo entre elas independe da força que o Sol exerce sobre cada uma, dependendo apenas das forças internas ao sistema Terra-Lua (e do estado desse sistema em um dado momento). Esta afirmação seria rigorosamente correta se o sistema Terra-Lua estivesse sob a ação de um campo gravitacional externo uniforme mas, como é bem sabido, o movimento relativo Lua-Terra sofre efeitos em consequência da não-uniformidade do campo gravitacional externo ao sistema. São perturbações pequenas mas perceptíveis (vide o Apêndice).

Resumindo em poucas palavras, pode-se dizer que a Lua é acelerada pelo Sol mas a Terra também é acelerada por ele, sendo essas acelerações iguais. Então, a distância Terra-Lua não é aumentada (ou alterada de qualquer maneira) devido às acelerações idênticas causadas pelo Sol.

Apêndice

(O texto contido neste Apêndice não faz parte da resposta por nós esperada dos estudantes.)

O campo gravitacional externo ao sistema Terra-Lua, produzido pelo Sol, não é rigorosamente uniforme, pois as dimensões do sistema não são desprezíveis frente à distância que o separa do Sol. Na Terra, cujo raio é cerca de sessenta vezes menor do que a distância Terra-Lua, uma manifestação da não-uniformidade do campo gravitacional do Sol ocorre nos efeitos de maré observados nos oceanos: o Sol, que atrai a Terra com uma força cerca de 200 vezes maior do que a força de atração da Lua, contribui para os efeitos de maré com forças de maré que perfazem 46% das forças de maré lunares (Marion e Thornton, 1995). As variações do campo gravitacional produzido sobre o sistema pelo Sol afetam o movimento relativo Lua-Terra,

determinando pequenas perturbações na trajetória da Lua. Caso o campo gravitacional externo ao sistema Terra-Lua fosse uniforme, o movimento relativo da Lua-Terra dependeria apenas da atração gravitacional mútua entre o planeta e o seu satélite; como não o é, esse movimento depende também do campo externo. De fato, a não-uniformidade do campo gravitacional externo não se deve apenas ao Sol; os demais planetas do sistema solar também contribuem, produzindo outras tantas pequenas perturbações no movimento relativo Lua-Terra (o movimento relativo é aproximadamente elíptico, com excentricidade não desprezível conforme já referido anteriormente). Essas perturbações determinam, por exemplo, que o tempo transcorrido entre duas Luas Novas consecutivas (duração do mês sinódico ou da luação ou ainda do período sinódico da Lua) não seja constante; em média o mês sinódico dura 29,53 dias, podendo variar entre 29,28 dias e 29,84 dias.

O Observatório Nacional fornece tabelas de luação que informam o momento (dia, hora e minuto) em que ocorrem as mudanças de fase da Lua. A partir dessas tabelas, gentilmente cedidas pelo Observatório Nacional, calculamos o período sinódico da Lua entre os anos de 1978 e 2000. As Fig. 1 e 2 mostram como o período sinódico varia com o passar do tempo.

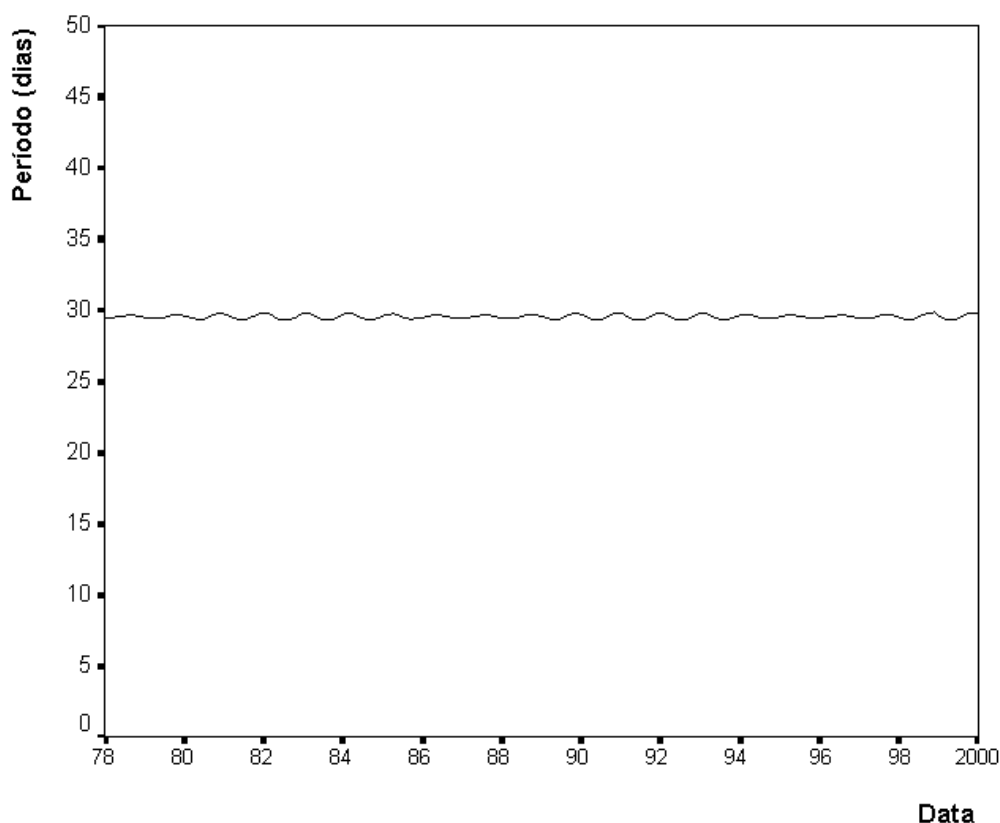


Fig. 1 – Período sinódico da Lua em função do tempo (escala não expandida).

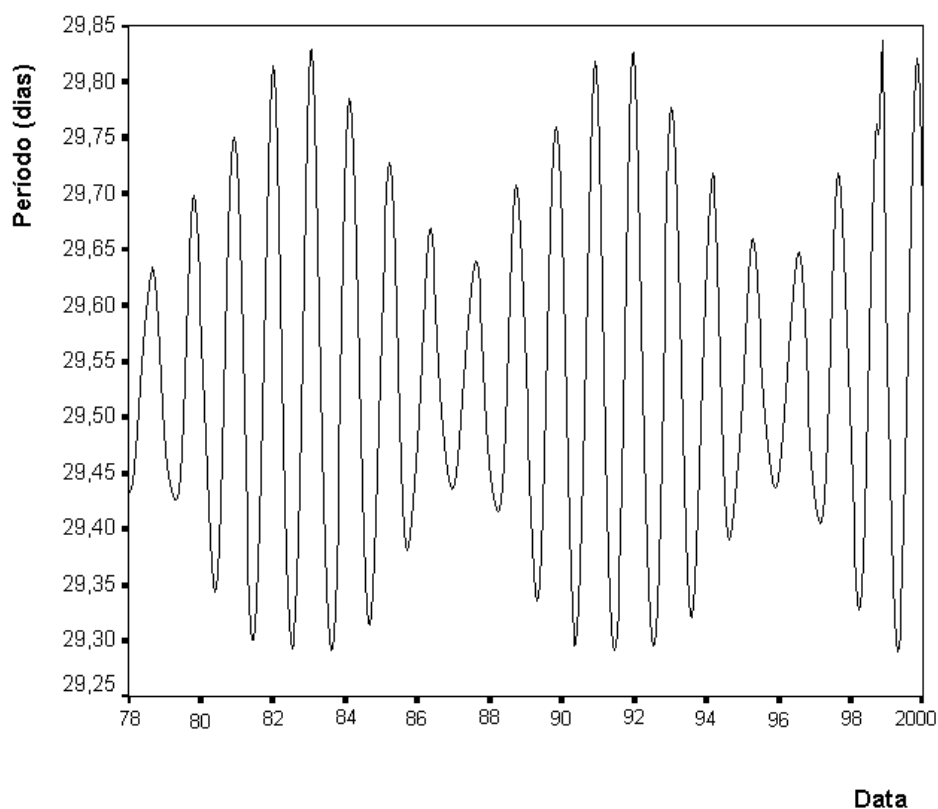


Fig. 2 – Período sinódico da Lua em função do tempo (escala expandida).

A curva representada nas Fig. 1 e 2 mostra que a duração do mês sinódico lunar, além de não ser constante, varia de uma maneira complicada. Assim, fica evidente que a trajetória da Lua em relação à Terra constitui-se em um problema mecânico complexo, no qual devem ser levadas em consideração as ações do Sol e dos planetas do sistema solar (historicamente sabe-se que os pormenores desse movimento resistiram às tentativas de Newton em elucidá-los).

Referências Bibliográficas

- KIBBLE, T. W. B. *Mecânica clássica*. São Paulo: Polígono, 1970.
- LALANDE, A. *Vocabulário técnico e crítico da filosofia*. São Paulo: Martins Fontes, 1993.
- MARION, J. B. e THORNTON, S. T. *Classical dynamics of particles and systems*. Fort Worth: Saunders College Publishing, 1995.
- MOURÃO, R. R. F. *Os eclipses, da superstição à previsão matemática*. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1993.