

Prova Teórica em Grupo

1) Considere que é meio-dia solar verdadeiro em La Paz (16°32' S, 68°8' W) no primeiro dia de inverno no hemisfério Norte. Consulte, quando necessário, o mapa no final da prova. Considere as seguintes cidades:

- Brasília (15°46' S, 47°55' W)
- Montevidéu (34°53' S, 56°10' W)
- Cidade do México (19°20' N, 98°11' W)
- Santiago (33°26' S, 70°39' W)
- Assunção (25°30' S, 57°27' W)
- Bogotá (4°36' N, 74°08' W)

- a) Qual a hora solar verdadeira em cada cidade nesse instante?
b) Qual a hora que os relógios estão marcando?

2) Hoje em dia conhecemos mais de 250 estrelas que possuem planetas¹. Métodos indiretos, como o método de trânsito, são, de longe, os meios mais eficientes de detectar e caracterizar planetas extrassolares. O método de trânsito pode ser usado para detectar planetas quando a estrela, planeta e o observador estão alinhados. O que fazemos é observar a curva de luz da estrela e, com isso, inferir algumas informações sobre os planetas e suas órbitas.

Assumindo que a órbita do planeta é circular, a geometria do trânsito pode ser descrita de forma simples pela figura 1 ao lado. Onde b é o parâmetro de impacto (adimensional), isto é, a projeção da menor distância do centro do planeta ao equador da estrela, R é o raio da estrela, a é o raio orbital, i é a inclinação da órbita com relação à nossa linha de visada.

A duração total do trânsito d é expressa por:

$$d \approx \frac{PR}{\pi a} \sqrt{\left(1 + \frac{r}{R}\right)^2 - \left(\frac{a}{R} \cos i\right)^2} \quad (1)$$

Onde r é o raio do planeta e P é o período orbital. Além disso, a duração da entrada/saída t pode ser determinada pela fórmula:

$$t \approx d \frac{r}{R} \sqrt{1 - b^2} \quad (2)$$

O planeta em torno da estrela HD 209458 foi um dos primeiros planetas extrassolares detectados pelo método fotométrico. Observações desta estrela, usando um pequeno telescópio de 14", levam à seguinte curva de luz:

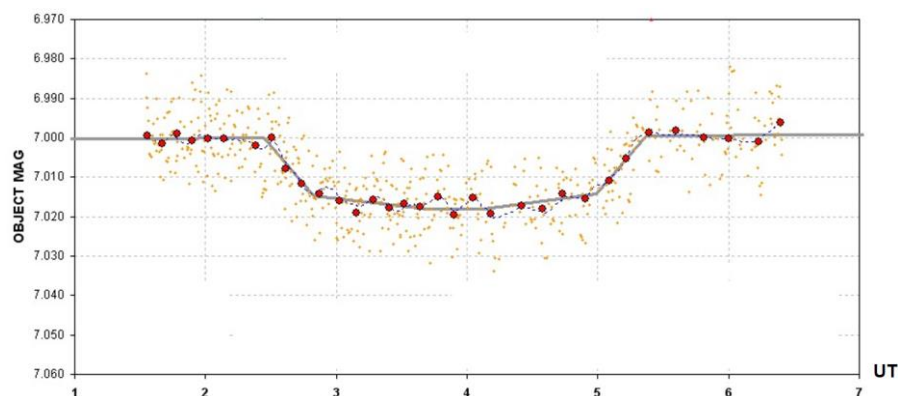


Figura 2. Curva de luz de HD 209458

Os círculos vermelhos são as medianas dos pontos amarelos correspondentes às observações da magnitude da estrela. UT (Universal Time) está medido em horas.

¹ De acordo com os dados atuais, conhecemos mais de 2 500 estrelas que possuem exoplanetas.

A linha sólida na figura representa uma tentativa, à mão, de fazer a curva que compreende a mediana dos dados. Suponha que, usando outro método, tenhamos encontrado o raio e a massa da estrela com valores respectivamente iguais a: $R = 0,91R_{\odot}$ e $M = 0,92M_{\odot}$. Considere que a massa do planeta é muito menor que a massa da estrela. Quando necessário consulte a tabela de constantes. A partir dos dados apresentados:

- Estime a duração total do trânsito.
- Estime o tempo de entrada ou saída.
- Determine a profundidade da curva de luz.
- Qual o valor do raio r do planeta?
- Qual o valor, em ua, do raio orbital a ?
- Qual o valor da inclinação i ?
- Qual o período orbital P do planeta extrassolar?

3) A tabela a seguir nos apresenta alguns dados de um sistema planetário hipotético, onde a massa dos planetas é dada em massas terrestres ($M_{\oplus}$).

Nº	Planeta	Semieixo maior (ua)	Período orbital (ano)	Massa ($M_{\oplus}$)
1	A	1,1	1,63	0,165
2	B	1,9	3,70	0,815
3	C	3,5	9,26	1,500
4	D	6,7	24,53	0,207
5	E	25,9	185,33	419,00
6	F	51,5	522,67	95,20
7	G	102,7	1471,87	14,50

- Encontre uma fórmula empírica, do tipo da fórmula de Titius-Bode, para descrever os semieixos maiores deste sistema planetário.
- Estime o semieixo maior e o período orbital do planeta faltante.
- Estime a massa da estrela central deste sistema.

4) Na década de 1680's o inglês Isaac Newton (1642-1727) propôs para explicar a Teoria da Gravitação Universal que se lançou por um canhão horizontalmente posicionado no topo de uma montanha muito alta (para evitar o atrito com atmosfera terrestre), a uma velocidade adequada (vide **Figura 1**), um corpo giraria para sempre em torno da Terra da mesma forma que a Lua o faz. Estava lançada a ideia dos satélites artificiais. Satélites são lançados ao espaço por meio de foguetes, os quais sobem na vertical e, paulatinamente, são manobrados para adquirem a orientação horizontal, como aquela do canhão da **Figura 1**. Os soviéticos foram os primeiros a conseguirem tal façanha, colocando o Sputnik em órbita da Terra em 4 de outubro de 1957.

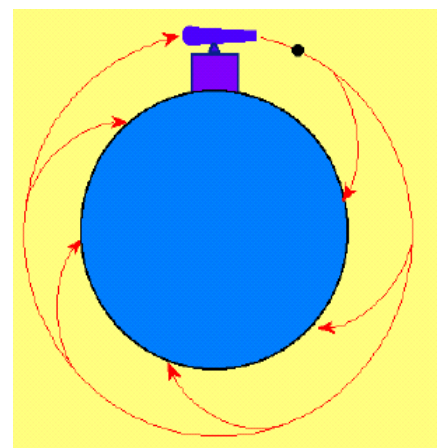


Figura 1

O Programa Espacial Brasileiro desenvolve o seu Veículo Lançador de Satélites (VLS), por meio do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), localizado na cidade de São José dos Campos, SP. Para colocar um satélite em uma órbita distante 750 km da superfície da Terra é necessário alcançar a velocidade de 27 000 km/h, velocidade esta paralela à superfície terrestre. Ao invés do topo da montanha, o VLS é lançado do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado no litoral do nordeste brasileiro numa latitude de 2° S, vide **Figura 2**.

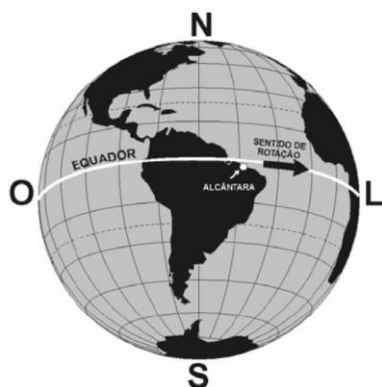


Figura 2



Figura 3

Para alcançar a velocidade de 27 000 km/h, o VLS faz uso de uma grande quantidade de combustível (denominado propelente) que é distribuída em sete motores, distribuído em quatro estágios. O primeiro estágio é composto de quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos segundo, terceiro e quarto estágios e pelo satélite, que vai no topo do foguete, protegido por uma carenagem denominada coifa. Os motores são queimados sucessivamente sendo descartados no mar após o consumo do propelente. Como o lançamento ocorre verticalmente, uma série de eventos ocorre até a colocação do satélite em órbita.

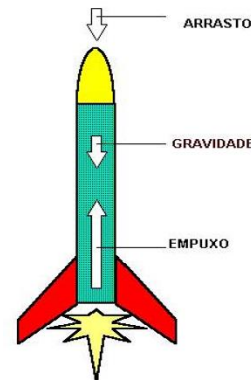
A força propulsora para tirar o VLS do solo, denominada Empuxo, que é gerada pela queima do propelente dos quatro motores do primeiro estágio, deve ser superior ao Peso. De uma forma geral, 80% do combustível é consumido para vencer a gravidade e acelerar o foguete. Os outros 20% são consumidos para vencer a força de arrasto que, predominantemente, resulta do atrito do foguete com o ar atmosférico.

A Tabela abaixo apresenta alguns eventos relativos ao voo do VLS, para colocar um satélite de 86 kg em órbita da Terra. Ao serem acionados, os quatro motores do primeiro estágio do VLS fornecem 1 000 000 N de empuxo. A ignição do segundo estágio ocorre 15 segundos antes do fim de queima dos quatro propulsores do primeiro estágio, enquanto a ignição do terceiro estágio somente pode ser efetuada após o consumo de todo o combustível do motor do segundo estágio. Como acima dos 100 km de altitude tem-se o vácuo do espaço, a coifa que protege o satélite contra o atrito atmosférico pode ser ejetada, o que ocorre aos 133 segundos de voo. Após a separação do terceiro estágio, o conjunto quarto estágio/satélite está inclinado de 52°, em relação à vertical. No entanto, a ignição do motor do quarto estágio somente ocorre após uma manobra (basculamento) que visa colocar o conjunto com seu eixo longitudinal paralelo à superfície terrestre, semelhante ao canhão da **Figura 1**. Os 36 segundos de queima do motor do quarto estágio são suficientes para atingir a velocidade orbital de 7 500 m/s. Finda a queima do combustível do quarto estágio, o mesmo é separado do satélite e ambos ficam em órbita da Terra.

EVENTO	Tempo [s]	Altitude [km]	Massa [kg]	Velocidade[m/s]
Início do voo vertical	0,0	0,062	50 000	0
Fim do voo vertical	5,0	0,151	47 577	40
Ignição do segundo estágio	53,0	17,9	24 771	1 310
Fim de queima do primeiro estágio	68,0	33,1	20 000	1 765
Separação do primeiro estágio	70,0	35,3	14 000	1 780
Fim de queima do segundo estágio	124,0	108,7	8 391	2 799
Separação do segundo estágio/Ignição do terceiro estágio	125,0	110,3	6 967	2 793
Ejeção da coifa (protege o satélite)	133,0	123	6 515	2 924
Fim de queima do terceiro estágio	193,0	243	2 423	5 168
Separação do terceiro estágio	196,0	251	1 363	5 155
Início da manobra de basculamento	200,0	263	1 363	5 137
Fim da manobra de basculamento	260,0	399	1 363	4 891
Ignição do quarto estágio	461,1	707	1 134	4 337
Fim de queima do quarto estágio	532,1	743	326	7 500
Separação do quarto estágio/Colocação do satélite em órbita	532,1	743	86	7 500

Questões:

- a) Considerando que o raio da Terra é de 6 400 km e sabendo-se que a Terra completa um giro em torno do seu próprio eixo em 24 horas, determine a velocidade tangencial do VLS, em km/h, quando ele está posicionado verticalmente na sua plataforma de lançamento, prestes a ser lançado. Nos seus cálculos, assuma que o CLA (Centro de Lançamento de Alcântara) está localizado exatamente sobre o Equador terrestre (vide **Figura 2**) e que $\pi = 3$.
- b) Sabendo-se que para colocar um satélite em órbita a 743 km de altitude é necessária uma velocidade de 27 000 km/h, você lançaria o VLS no sentido Oeste → Leste ou Leste → Oeste (vide **Figura 2**)? Justifique sua resposta.
- c) Usando a Segunda Lei de Newton e assumindo que a aceleração da gravidade ao nível do mar é de 10 m/s^2 , estime a aceleração do VLS no momento da ignição dos quatro propulsores do primeiro estágio.
- d) Considerando que o propulsor do segundo estágio do VLS consome 120 kg de propelente a cada segundo, estime a massa de propelente dos 4 propulsores do primeiro estágio.
- e) A tabela mostra que entre o início e final da manobra de basculamento há um decréscimo na velocidade do conjunto quarto estágio/Satélite. Como vocês explicam esse decréscimo de velocidade.



Prova em Grupo – Dados e Constantes

Raio do Sol: $R_{\odot} = 6,955 \cdot 10^8 \text{ m}$

Massa do Sol: $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Massa da Terra: $M_{\oplus} = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Constante gravitacional: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

1 ua = $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$

1 ano = $3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$

Fuso Horário Civil

