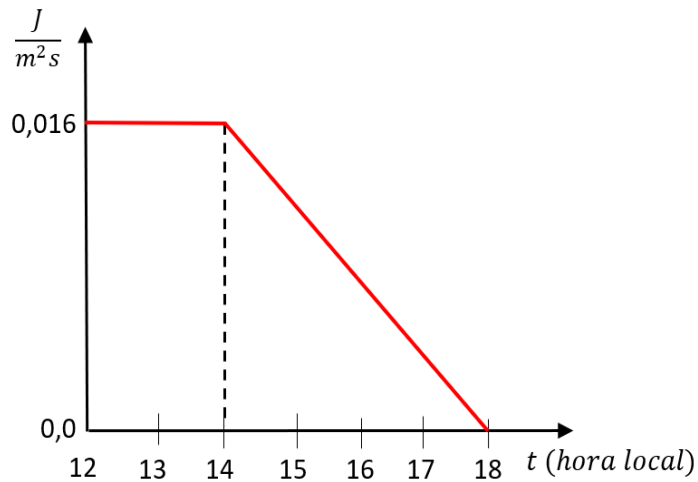




Prova Teórica em Grupo

1) Detecção de exoplanetas

Um exoplaneta é um planeta que reside fora do nosso Sistema Solar. Em particular, vamos ver o sistema planetário da estrela TRAPPIST-1.

TRAPPIST-1 é uma estrela anã de tipo espectral M8V, a uma distância de 12 pc na constelação de Aquário. Em 2015, uma equipe de astrônomos usou o telescópio TRAPPIST, localizado no Observatório de La Silla, no deserto do Atacama, Chile, para estudar TRAPPIST-1. Através do uso de trânsitos planetários, foram encontrados três exoplanetas que orbitam esta estrela. Em 22 de fevereiro de 2017, foi anunciada a descoberta de outros quatro exoplanetas que orbitam o TRAPPIST-1, adicionando um total de sete exoplanetas que orbitam esta estrela.

A *figura 1* mostra a curva de luz de TRAPPIST-1 sendo eclipsada pelo exoplaneta TRAPPIST-1g. O tempo decorrido entre o primeiro contato (ponto A) e o último contato (ponto D) é de 1,19 hora e o tempo decorrido entre os pontos B e C é de 0,99 hora. Para as perguntas seguintes, suponha que as órbitas sejam circulares.

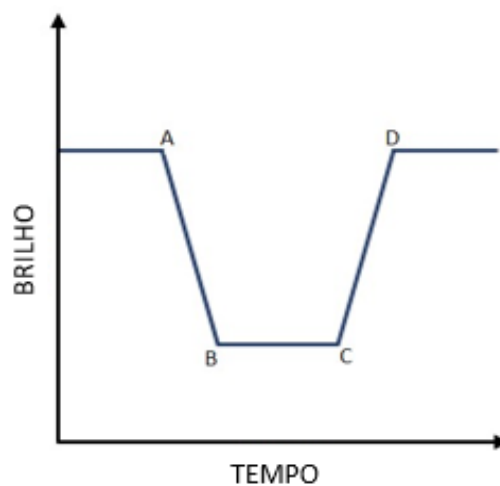


figura 1

a) Calcule o raio R de TRAPPIST-1 e também o raio r de TRAPPIST-1g. Considere que o plano orbital do sistema TRAPPIST-1 é paralelo à nossa linha de visada e que a velocidade tangencial do TRAPPIST-1g é $v = 4,15 \cdot 10^4 \text{ m/s}$. Agora considere que a magnitude aparente de TRAPPIST-1 quando não é eclipsada por nenhum dos sete exoplanetas do sistema é $m_1 = 13,43$.

b) Calcule a temperatura do TRAPPIST-1.

c) Encontre a expressão analítica, em função de R , r e m_1 , para calcular a magnitude aparente m_2 quando o sistema estiver entre os pontos B e C.

A zona habitável é a região onde a radiação permite a presença de água no estado líquido. Considere que a água evapora a 100°C e congela a 0°C .

d) Use os dados da *tabela 1* para calcular a massa da estrela TRAPPIST-1. Em seguida, preencha os demais espaços da tabela com as informações que faltam referentes ao período orbital (em dias) e raio orbital (em ua) dos sete exoplanetas de TRAPPIST-1.

e) Os exoplanetas giram rapidamente em torno de seus próprios eixos e toda a energia absorvida por eles é reemitida como radiação de corpo negro. Supondo que o albedo de cada um dos exoplanetas seja igual $\alpha = 0,1$. Quais exoplanetas são encontrados dentro da zona habitável?

O inovador *Starshot* (Tiro estelar) é um projeto que pretende desenvolver micro naves espaciais capazes de viajar a 20% da velocidade da luz.

Considere que a aceleração das micro naves para alcançar os 20% da velocidade da luz é de 35 m/s^2 .

f) Se usássemos uma dessas micro naves para chegar a TRAPPIST-1, estime o tempo mínimo de duração desta viagem.

Tabela 1

Planeta	Período (dias)	Raio orbital (ua)
1 b	1,51	
1 c		0,015
1 d	4,04	
1 e	6,09	0,028
1 f	9,20	
1 g	12,35	0,045
1 h		0,059

2) Astronomia e os Maias

Chichén Itzá, localizado em Tinum no México, é um dos sítios arqueológicos mais interessantes da civilização Maia devido às orientações astronômicas precisas que algumas de suas construções apresentam.

É provável que, para os Maias, a passagem do Sol pelo zênite tenha sido de grande importância, pois esse evento marca o final da estação seca e o início da estação chuvosa. Manter um registro dessas datas facilitou as atividades agrícolas.

Para os itens a seguir, adote a convenção de azimute NESW.

a) Ao meio-dia, de 21 de dezembro, o templo de Kukulkan lança uma sombra de 22 m de comprimento. Determine a latitude de Chichén Itzá sabendo que a altura do cume do templo é de 23 m (*Figura 1*).

Medidas revelam que a escada Oeste do templo Kukulkan possui azimute de 290° medido a partir do Norte (*Figura 2*).

b) Qual é o ângulo de desvio (θ) dos eixos da pirâmide em relação aos pontos cardeais?

Atualmente, nos dias 23 de maio e 19 de julho, ocorre a passagem zenital do Sol em Tinum. Nestes dias, a luz do Sol penetra de forma vertical, através de um buraco retangular delineado na rocha pelos Maias, em um grande poço conhecido como Cenote de Holtún (*Figura 3*). O Cenote de Holtun possui simbolismo religioso relacionado ao submundo da cosmovisão Maia.

c) Qual é o azimute do Sol, ao seu nascer e pôr, no dia 23 de maio em Tinum?

O planeta Vênus, chamado pelos Maias de Ahzab Kab Ek (a Estrela que desperta a Terra), era uma estrela muito importante associada a guerra, morte, pestilência e destruição. As janelas do *El Caracol*, o mais importante observatório astronômico Maia em Chichén Itzá, permitem acompanhar a trajetória do referido planeta ao longo do ano.

d) Qual é o diâmetro angular de Vênus, visto da Terra, em suas aproximações máxima e mínima?

Adote: distância Vênus-Sol = 0,72 ua; raio de Vênus = 6 051,8 km.

A unidade básica no calendário Maia é de um dia, ou kin. Vinte kines formam um winal e 18 winales dão uma aproximação do ano solar de 360 dias, conhecido como tun. Vinte tunes formam um katún e 20 katunes um baktún. O maior período de contagem Maia é um ciclo com duração de 13 baktunes.

e) As Plêiades culminam superiormente em Tinum ($\lambda = 88^\circ 34' \text{ W}$) às 3:47 am do dia 21 de setembro. Determine o ângulo horário do aglomerado em *Greenwich*, à mesma hora, transcorridos 13 winales e 18 kines.

f) Determine se as Plêiades são circumpolares visíveis em Tinum, sabendo que a altura das Plêiades na culminação superior é de $83^\circ 36'$.

g) O final do último maior período de contagem Maia aconteceu no dia 21 de dezembro de 2012. Qual foi a data de início deste ciclo? Adote que 1 ano possui 365.

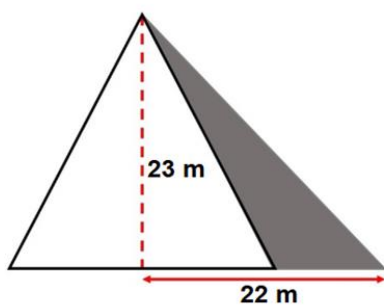


Figura 1

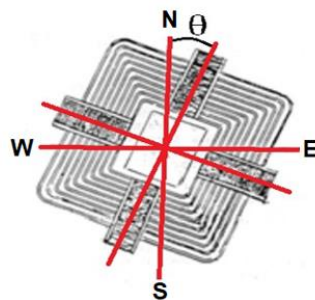


Figura 2

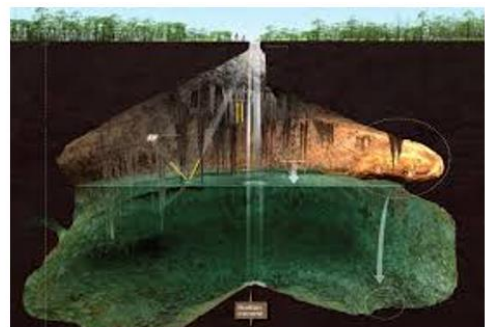


Figura 3 - Cenote de Holtun

3) Matéria escura em uma galáxia

Vera Cooper Rubin foi uma astrônoma americana, pioneira em medir a rotação de estrelas dentro de uma galáxia. Suas medições são evidências da existência de matéria escura.

A atração gravitacional da matéria observável é muito fraca para justificar as velocidades de rotação das galáxias, isso implica que deve haver massa não visível em algum lugar dentro ou ao redor das galáxias que permita que essas velocidades existam. Essa matéria oculta é conhecida como matéria escura.

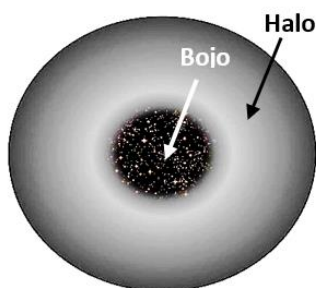


Figura 1

Para esse problema, as galáxias observadas por Rubin serão modeladas da seguinte forma: um bojo esférico de raio R_b cercado por um halo esférico, como mostra a *Figura 1*. Em todo o problema, considere que as estrelas são corpos pontuais de massa m uniformemente distribuídos no bojo, com densidade numérica n e que se movem em órbitas circulares. A massa das estrelas encontradas no halo é insignificante.

- Se a galáxia consiste apenas de estrelas, encontre a velocidade das estrelas $v(r)$ em função de sua distância r ao centro da galáxia. Considere os casos $r < R_b$ e $r \geq R_b$.
- Faça um esboço da função $v(r)$ que você obteve no item anterior.

A galáxia NGC7537 está a uma distância de 38 Mpc e sua magnitude aparente é $m = 15,7$. Suponha que a galáxia NGC7537 possui apenas estrelas semelhantes ao Sol.

- Estime o número de estrelas na galáxia NGC7537.

A *Tabela 1* mostra os valores observados da velocidade de rotação para algumas estrelas e o diâmetro angular de suas órbitas ao redor do centro de NGC7537. Considere que o diâmetro angular do bojo desta galáxia é $20''$.

- Com os dados da *Tabela 1*, faça um gráfico da velocidade em função da distância do centro da galáxia (medida em kpc).

- Qual é a função $v(r)$ para a galáxia NGC7537?

- Estime a massa total do bojo da galáxia NGC7537. Expresse sua resposta em massas solares.

A discrepância entre os gráficos obtidos nos itens **(b)** e **(d)** indica a existência de matéria escura na galáxia. Suponha que o perfil de densidade esférica da matéria escura é definida pela seguinte função:

$$\rho(r) = \rho_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha$$

- Determine o expoente α , necessário para obter um gráfico como o do item **(d)** para $r > R_b$.

Embora a existência de matéria escura seja uma solução aceita para o problema da curva de rotação das galáxias, se pode sugerir uma solução alternativa, modificar as Leis de Newton. A dinâmica newtoniana modificada (*MOND* na sigla em inglês) é uma hipótese que postula que a Segunda Lei de Newton pode ser reescrita como $F = ma\mu$ onde μ é uma função com a propriedade de $\mu = 1$ para $\frac{a}{a_0} \gg 1$; e $\mu = \frac{a}{a_0}$ para $\frac{a}{a_0} \ll 1$, onde a é a aceleração e a_0 é uma constante que determina a transição entre a gravitação de Newton e a *MOND*.

Tabela 1

Diâmetro angular (")	v (km/s)
2	14,32
4	29,48
6	46,06
8	58,04
10	73,5
12	91,1
14	106,76
16	121,48
18	134,86
20	150,14
22	149,72
28	150,72
34	151,14
40	149,2
46	151,22
52	148,62
58	151,68
64	150,28
70	150,28
76	150,62

- Mostre que essa reformulação leva a que a velocidade de rotação seja constante no halo esférico de uma galáxia quando $a \ll a_0$.

Prova em Grupo – Dados e Constantes

Raio da Terra: $R_{\oplus} = 6\,371\text{ km}$

Raio do Sol: $R_{\odot} = 6,95 \cdot 10^8\text{ m}$

Temperatura do Sol: $T_{\odot} = 5\,778\text{ K}$

Massa do Sol: $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}\text{ kg}$

Constante solar: $F_{\odot} = 1\,366\text{ W/m}^2$

Magnitude aparente do Sol: $m_{\odot} = -26,72$

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$

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

Velocidade da luz no vácuo: $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$

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

1 pc = 3,26 al = $3,086 \cdot 10^{16}\text{ m}$

1'' = $4,848 \cdot 10^{-6}\text{ rad}$