

4^{as} Olimpíadas Nacionais de Astronomia

Prova Final Nacional
5 de Junho de 2009 – 15:00

Duração máxima – 120 minutos

Leia atentamente todas as questões.

A questão 1 é de escolha múltipla.

Nas restantes questões devem ser apresentadas todas as etapas de resolução.

O teste inclui uma tabela de dados no final da prova

1. Para cada uma das alíneas seguintes, copie para a folha de teste a resposta correcta sem efectuar cálculos.

1.1. O limite de massa para que um corpo celeste deixe de se considerar um planeta gigante e passe a considerar-se uma anã castanha é de cerca de:

- a) $13 M_{\text{Júpiter}}$
- b) $25 M_{\text{Júpiter}}$
- c) $5 M_{\text{Júpiter}}$
- d) $8 M_{\text{Júpiter}}$

1.2. O limite de Chandrasekhar é:

- a) A massa de uma estrela na sequência principal acima da qual podemos ter a formação de uma supernova
- b) A massa mínima que poderá ter o núcleo remanescente de uma estrela para que forme uma anã branca
- c) A massa máxima de uma estrela na sequência principal para que forme uma anã branca
- d) A massa máxima que poderá ter o núcleo remanescente de uma estrela para que forme uma anã branca

1.3. O Sol situa-se:

- a) No centro do bojo da Via Láctea.
- b) No disco da Via Láctea, a cerca de 8 kpc do centro da Galáxia.
- c) Na região de transição entre o bojo e o disco da Galáxia.
- d) No disco da Via Láctea, pertencendo a um enxame globular de estrelas do braço de Orion.

1.4. A Via Láctea, Andrómeda e a galáxia do Triângulo são espirais que dominam em massa o agrupamento de galáxias designado por:

- a) Superenxame Local.
- b) Grupo Local.
- c) Enxame da Virgem.
- d) Grupo da Virgem.

1.5. Um eclipse lunar só pode ocorrer se a Lua estiver na fase de:

- a) Lua nova
- b) Quarto crescente
- c) Quarto minguante
- d) Lua cheia

1.6. Observou-se o nascer do Sol a 21 de Setembro e novamente uma semana mais tarde.

Nesse dia, o Sol nasce:

- a) No mesmo ponto que a 21 de Setembro
- b) A Norte do local original
- c) A Sul do local original
- d) Depende da fase da Lua nos dois dias considerados

2. Qual a relação entre a força gravitacional exercida pela Lua sobre um corpo à sua superfície e a força exercida pela Terra à sua superfície sobre o mesmo corpo? Justifique apresentando todos os cálculos necessários.
3. No lado de fora da Estação Espacial Internacional, que se encontra em órbita a uma altitude de 407 km, um astronauta, que efectuava reparações na estação, solta uma chave de parafusos. Ao fim de quanto tempo é que a chave cai no solo? Justifique.
4. A constante solar (intensidade de radiação que chega à Terra proveniente do Sol) é 1370 W/m^2 . Considerando que o albedo da Terra é de 30% e que $r_{Terra} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$, estime a temperatura média que a Terra deveria ter se não houvesse efeito de estufa. Considere a emissividade da Terra igual a 1.
5. Sirius e Canopus são as duas estrelas mais brilhantes do céu nocturno, localizadas nas constelações de Canis Majoris e Carinae. Na tabela são apresentados alguns dados destas duas estrelas por comparação com o Sol.

Estrela	Brilho (F_{sol})	dist (parsec)	Massa (M_{sol})	Raio (R_{sol})
Sirius	8.58×10^{-11}	2.64	2	1.7
Canopus	3.47×10^{-11}	96	8.5	65

- 5.a Sabendo que o fluxo observado é proporcional à energia irradiada pela estrela por unidade de tempo e inversamente proporcional ao quadrado da distância, determine a luminosidade das duas estrelas em função da luminosidade do Sol. Que conclusão retira do resultado obtido?
- 5.b Suponha que a estrela Canopus possui um sistema planetário semelhante ao nosso. Determine a distância (em unidades astronómicas) de um planeta a Canopus, supondo que demora o mesmo tempo que a Terra a dar uma volta completa em orno do Sol. Compare o diâmetro angular de Canopus visto desse planeta com o diâmetro angular do Sol (que é cerca de $0,52^\circ$).

5.c A temperatura muito elevada no núcleo das estrelas é responsável pela ignição das reacções de fusão nuclear, principal fonte de energia das estrelas. No caso de estrelas com massas semelhantes ao Sol, as reacções da cadeia pp são as mais importantes e consistem na fusão de núcleos de hidrogénio em hélio. Verifica-se que nesta reacção cerca de 0.712% da massa do hidrogénio é convertido em energia (a energia convertida é determinada pela equação $E=mc^2$) e perdida pela estrela sobre a forma de radiação. Conhecida a luminosidade do Sol, determine a quantidade de hidrogénio (expresso em toneladas) “queimado” no núcleo por unidade de tempo.

6. O satélite WMAP, lançado em 2001 pela NASA, fez detalhadas observações da radiação cósmica de fundo de microondas, a radiação de corpo negro que preenche o Universo e que detectamos hoje à temperatura de 2,73 K. Estas observações permitiram, em particular, estimar o seguinte valor para a constante de Hubble (taxa actual de expansão do Universo) com um erro bastante pequeno: $H_0 \approx 72$ km/s/Mpc.

6.a O *tempo de Hubble* é o inverso da constante de Hubble, sendo aproximadamente igual à idade do Universo. Calcule o tempo de Hubble, expresso em anos.

Nota: 1 Mpc = 10^6 pc

6.b O *raio de Hubble* é a distância para a qual a velocidade de recessão das galáxias é igual à velocidade da luz. Este parâmetro mede, aproximadamente, o raio do Universo observável em cada época. Calcule, em anos-luz, o valor actual do *raio de Hubble*.

6.c O Universo tornou-se transparente à radiação cósmica de fundo de microondas na altura em que se tornou neutro – época da recombinação, quando que se formaram os átomos dos elementos leves (hidrogénio, hélio, algum lítio) a partir dos núcleos e dos electrões que preenchiam o Universo. Nessa época, o Universo era bem mais quente e a radiação cósmica de fundo era, de facto, radiação de um corpo negro à temperatura de cerca de 3000 K. O que acontece é que o comprimento de onda dos fótons dessa radiação é alterado ao longo do seu percurso através de um Universo em

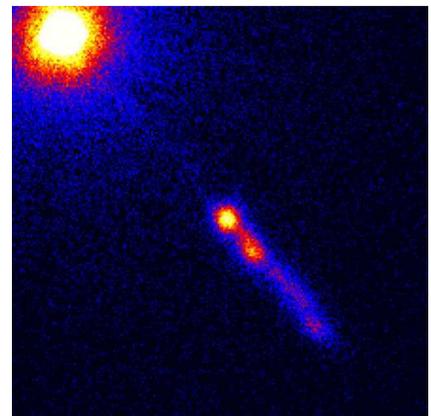
expansão, desviando-se para o vermelho e dando origem a uma distribuição de corpo negro que observamos hoje com uma temperatura bastante inferior (os 2,73 K já mencionados). Pode-se pensar neste efeito fazendo uma analogia com o efeito Doppler.

Use a *lei de Wien*(*) para a radiação de corpo negro para determinar o desvio cosmológico para o vermelho (*redshift*, z) da época da recombinação.

*A *lei de Wien* diz que o fluxo da radiação de corpo negro atinge o seu máximo para um comprimento de onda que é inversamente proporcional à temperatura do corpo negro.

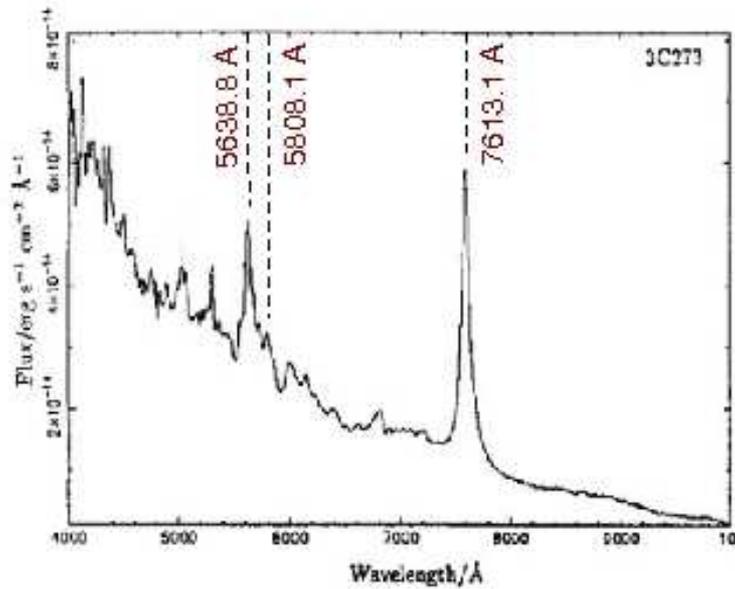
6.d Considere duas regiões do Universo que actualmente se encontram separadas por uma distância de 150 Mpc. A distância entre elas foi menor no passado devido à expansão do Universo, que é proporcional ao factor de escala, $a(t)$. Calcule a distância a que se encontravam essas regiões na época da recombinação, assumindo que o factor de escala numa dada época é inversamente proporcional à temperatura do Universo na mesma época.

7. 3C273 é um dos quasars mais próximos e mais brilhantes. A imagem ao lado, em raios X, mostra como o quasar é compacto e tem ainda um jacto. Para obtermos informação sobre qualquer objecto celeste analisa-se o seu espectro. Um espectro dá-nos informação sobre a distância, a composição química, a densidade e a temperatura do objecto celeste.



O espectro de 3C273, representado em baixo, mostra um contínuo, devido à acreção do buraco negro no centro desta galáxia. Sobrepostas ao contínuo, vemos riscas de emissão de nuvens no campo gravitacional do buraco negro. Cada risca representa um composto químico, que se caracteriza pelo comprimento de onda.

Quando uma fonte de radiação se encontra em movimento, as riscas do seu espectro são deslocadas ($\lambda_{\text{observado}}$) da sua posição de repouso (λ_{repouso}). Quando um objecto celeste se afasta com uma velocidade de recessão (v), diz-se que o objecto tem um redshift z .



Comprimentos de onda de riscas de emissao (λ_{repouso})	
[OII]	3727 Å
H-beta	4861 Å
[OIII]	5007 Å
H-alpha	6563 Å

7.a Usando a tabela anterior, identifique as 3 riscas assinaladas no espectro de 3C273.

Nota: Os comprimentos de onda no espectro são comprimentos de onda observados.

7.b Calcule a frequência em repouso, f_{repouso} , de cada uma das riscas da tabela.

7.c Usando a risca mais intensa do espectro, calcule o redshift (z) do quasar sabendo que:

$$1+z = \lambda_{\text{observado}} / \lambda_{\text{repouso}}$$

7.d Calcule a velocidade de recessão (v) deste quasar, sabendo que: $(1+z)^2 = (c+v)/(c-v)$

Fim da prova

Tabela de dados:

Dados: $m_{Lua} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ $r_{Lua} = 1,74 \times 10^3 \text{ km}$
 $r_{Terra} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$ $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
 $m_{Terra} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$

Velocidade da luz (vazio): $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Massa do Sol: $M = 1,98 \times 10^{30} \text{ kg}$

Raio do Sol: $R = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$

Luminosidade do Sol: $L_{Sol} = 3,846 \times 10^{26} \text{ W}$

Temperatura superficial do Sol: $T_{Sol} = 5780 \text{ K}$

Constante solar: $F_{sol} = 1370 \text{ W/m}^2$

Conversão de unidades:

Unidade Astronómica (UA): $1 \text{ UA} = 1,49 \times 10^{11} \text{ m}$

$1 \text{ parsec (pc)} = 206265 \text{ UA} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m} = 3,2616 \text{ anos-luz}$

$1 \text{ \AA} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$

$1 \text{ rad} = 206265''$