

# II Olimpíada de Física da OSA na UNICAMP

2008

Nome:

Código:

## INSTRUÇÕES GERAIS

1. Preencha a primeira página com o seu nome e código de prova.
2. NÃO DESTAQUE, sob nenhuma hipótese, as folhas desta prova.
3. A prova contém 10 questões, das quais 8 deverão ser respondidas. O espaço para resposta das 2 outras questões, que você escolheu não responder, deve ser RISCADO. Caso isso não aconteça, serão corrigidas as 8 primeiras questões da prova.
4. A resolução da prova poderá ser feita a lápis, caneta azul ou preta. No entanto, A RESPOSTA FINAL DE CADA ITEM DEVE ESTAR CLARAMENTE DEFINIDA E ESCRITA COM CANETA AZUL OU PRETA.
5. O prazo máximo de duração da prova é de 4 (QUATRO) HORAS. Não será permitido que nenhum aluno deixe a sala antes de completados 2 (DUAS) HORAS desde o início da mesma.
6. Caso você tenha alguma dúvida, levante a mão e um fiscal de prova irá até a sua carteira.
7. É PROIBIDO o uso de CALCULADORA.
8. Justifique TODAS as suas respostas. Respostas sem justificativas, mesmo que corretas, serão desconsideradas.
9. O resultado da prova será disponibilizado na homepage do evento, <http://www.ifi.unicamp.br/osa/olimp2>

**BOA PROVA!**



## Questão 1

Uma das teorias mais famosas em Física é a do Big Bang, que se refere à idéia de que o universo se iniciou como uma singularidade no espaço e no tempo. Então, tudo estava condensado num espaço muito pequeno em que existiam densidades e temperaturas extremamente elevadas. A partir disso, o universo tem estado em expansão contínua, de modo que a densidade e a temperatura médias têm decrescido continuamente.

A velocidade de expansão do universo (isto é, a rapidez com que as galáxias se afastam entre si) é determinada pela lei de Hubble, descoberta em 1929 pelo astrônomo Edwin Hubble (1889-1935). Esta lei estabelece que a velocidade  $v$  de separação de quaisquer duas galáxias do universo é diretamente proporcional à sua separação  $R$ :

$$v = H.R \quad (1)$$

onde  $H$  é conhecido como parâmetro de Hubble. Até hoje, cientistas debatem se  $H$  é constante ou se varia com o tempo. Suponhamos que seja constante.

(a) Determine qual deve ser a dimensão do parâmetro de Hubble.

(b) A idade do universo pode ser estimada a partir da equação acima, que corresponde ao tempo necessário para que duas galáxias atinjam a separação  $R$ . A partir disto, obtenha uma estimativa da ordem de grandeza para a idade do Universo.

(c) Considere agora que a constante de Hubble varie linearmente com o tempo, de forma que  $H = Bt$ , onde  $B$  é uma constante. Nesse caso, qual seria a idade do Universo?

## Questão 2

O “Sky Dive” é uma modalidade de esporte radical, onde uma pessoa (sky diver) salta de um avião ou um helicóptero, caindo em queda livre até, depois de um certo tempo, acionar o pára-quadras.

Considere que um sky diver salta de um helicóptero no instante  $t_0$ . Algum tempo depois, outro sky diver também salta. Ambos descem realizando a mesma trajetória. Despreze os efeitos de resistência do ar, e considere que ambos estão somente sob efeito da aceleração da gravidade  $g$ .

- (a) O que se pode concluir a respeito da diferença de velocidades dos sky divers? Explique.
- (b) Discuta o que ocorre com as distâncias verticais entre eles.
- (c) Considere agora que eles estão presos entre si por uma corda elástica. O que é possível afirmar sobre a tensão exercida nessa corda durante a queda?

### Questão 3

A equação de van der Waals apresenta uma aproximação mais real para a equação de estado de um gás:

$$\left[ p + a \left( \frac{N}{V} \right)^2 \right] [V - Nb] = k_B N T \quad (2)$$

onde  $p$  é a pressão,  $V$  é o volume,  $N$  é o número de moléculas,  $T$  é a temperatura,  $k_B$  é a constante de Boltzman e  $a$  e  $b$  são constantes proporcionais ao volume de uma molécula e às forças moleculares, respectivamente.

(a) O gás ideal é uma aproximação que pode ser tomada fazendo  $a \rightarrow 0$  e  $b \rightarrow 0$  na equação de van der Waals. Em que condições físicas a equação do gás ideal é uma boa aproximação?

(b) Podemos definir o coeficiente de expansão térmico  $\alpha$  da variação de qualquer propriedade  $X$  do gás (comprimento, volume, densidade, pressão, etc.) em função da temperatura como

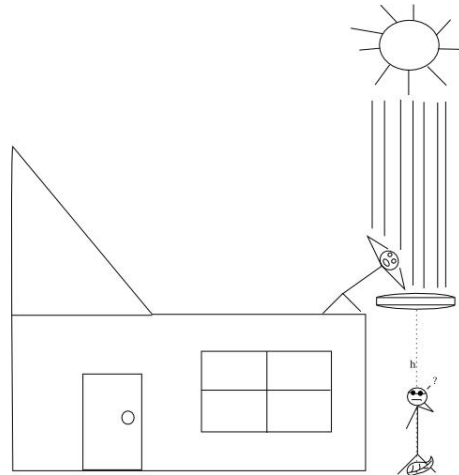
$$\alpha = \frac{1}{X_0} \frac{\Delta X}{\Delta T} \quad (3)$$

onde  $X_0$  representa o valor da propriedade numa temperatura inicial de referência. Considerando um gás real que obedece a equação de van der Waals, calcule o coeficiente de expansão térmico da pressão, a volume constante, quando este passa de um estado inicial com pressão  $p_1$  para um estado final com pressão  $p_2$ .

(c) Compare o resultado obtido no item (b) com o que você esperaria encontrar utilizando a equação do gás ideal. Justifique sua resposta.

### Questão 4

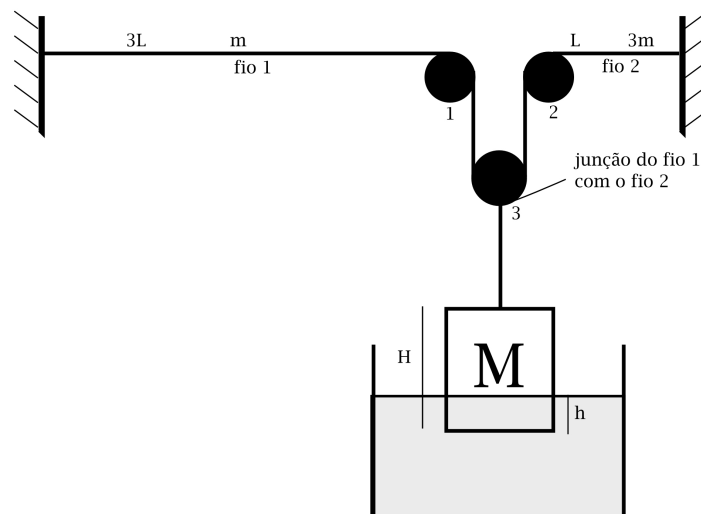
Um astrônomo amador estava construindo um telescópio caseiro na laje da sua casa, por volta do meio dia, quando por um descuido, deixou cair uma enorme lente convergente, diretamente em direção ao chão, a 4 m de altura (despreze a resistência do ar).



- (a) Quanto tempo a lente levaria para cair até o chão?
- (b) Uma folha vegetal, extremamente seca devido à falta de chuva, estava em repouso no chão, próxima à casa. Lembrando que podemos utilizar luz solar focalizada para iniciarmos combustão (e considerando que isso aconteça instantaneamente), quanto tempo levaria para a folha queimar? Considere o início da queda da lente como o tempo inicial, e a distância focal da lente como 3 m.
- (c) Um observador cauteloso, utilizando um ótimo óculos de sol, por acaso passava ao lado da casa quando a tragédia aconteceu. Ele possui bons reflexos, por isso conseguiu desviar da lente no último instante, evitando ferimentos graves e um grande prejuízo para o astrônomo. Se este observador pudesse enxergar em câmera lenta, e permanecesse olhando pela lente até ela quase atingir o chão, descreva qualitativamente como ele veria a imagem do astrônomo durante a queda da lente, explicitando a influência da distância focal da lente.

### Questão 5

Mede-se a velocidade  $v$  de propagação de ondas transversais no fio 1 com uma extremidade presa a uma parede, que é mantido esticado pelo peso de um bloco suspenso através de uma polia. Em seguida, mergulha-se o bloco na água até uma altura  $h < H$  e verifica-se que a velocidade de propagação cai para  $\eta\%$  da anterior.



- (a) Qual a densidade do bloco em relação à água?
- (b) Sabendo que o comprimento do fio 1 até a polia 1 é de  $3L$ , e que a massa é  $m$ , e sabendo também que o comprimento do fio 2 até a polia 2 é  $L$  e que a massa é  $3m$ , calcule o quociente entre as velocidades de propagação de ondas transversais no fio 1 e no fio 2, no caso em que o bloco não está imerso na água (considere o bloco homogêneo).

**Questão 6**

Dois carros A e B deslizam numa pista escorregadia (coberta de gelo) enquanto tentam parar no semáforo. A massa do carro A é  $m_A = 1100\text{kg}$  e do carro B é  $m_B = 1400\text{kg}$ . O coeficiente de atrito cinético entre os pneus de cada carro e a pista é  $\mu = 0,13$ . O carro A consegue parar no semáforo, mas o carro B não consegue e acaba batendo na traseira do carro A. Após a colisão, o carro A vai parar a  $8,2\text{m}$  a frente, e o carro B a  $6,1\text{m}$ . Considere que o coeficiente de atrito cinético permaneça constante durante todo o acontecimento.

- (a) Das distâncias que cada carro se moveu após a colisão, quais as velocidades de cada carro imediatamente após o impacto?
- (b) Utilizando a conservação do momento linear, ou quantidade de movimento, encontre a velocidade com que o carro B atingiu o carro A.
- (c) É correto utilizar a lei de conservação acima para este problema? Justifique.



### Questão 7

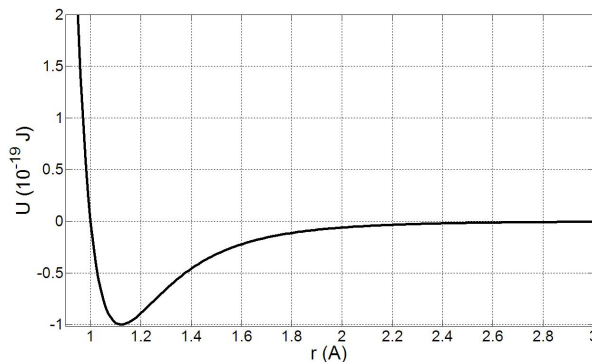
José, ao chegar em casa com muito calor percebeu que seu ar-condicionado estava quebrado e querendo se refrescar mesmo assim, foi à cozinha, fechou as portas e as janelas e deixou aberta a porta de geladeira. Você acha que ele conseguiu diminuir a temperatura da cozinha? Por quê?

### Questão 8

Considere uma molécula diatômica de  $H_2$ , onde cada átomo pode ser visto como uma “esfera”, separados por uma distância  $r$  entre eles. Considere que a interação entre os átomos pode ser representada por uma única força, cujo módulo pode ser dado por

$$F = \frac{12}{r^{13}} - \frac{6}{r^7}, \quad (4)$$

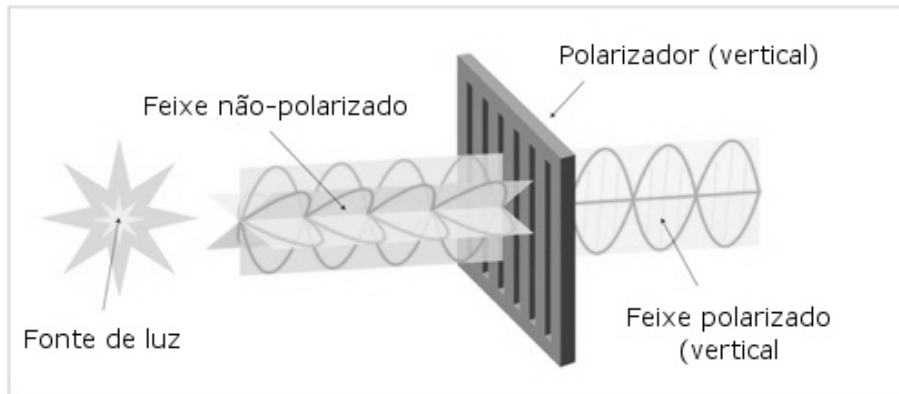
e que todas as outras forças que poderiam agir no sistema sejam desprezíveis. Desta forma, a energia potencial de interação entre os dois átomos, devido à força  $F$ , depende da distância, ie,  $U = U(r)$ . O gráfico abaixo representa o valor da energia potencial em função da distância entre os átomos, medida em  $\text{Å}$  (angstrom), ou seja,  $10^{-10}m$ .



- (a) O ponto de equilíbrio representa a distância mais provável de encontrar os dois átomos ao formar uma molécula, e pode ser encontrado quando a força de interação, que une os dois átomos, é nula. Baseado nisso, encontre o ponto de equilíbrio da molécula de  $H_2$ , e o valor da energia potencial neste ponto.
- (b) Sabe-se que a energia mecânica do sistema é  $E = -0,5 \cdot 10^{-19} J$ . Se a molécula está no ponto de equilíbrio, há movimento da molécula? Por quê?
- (c) Considere ainda a energia mecânica do sistema como a dada no item anterior. Neste caso, descreva o movimento dos átomos em termos da distância de separação entre eles.
- (d) Qual a energia necessária para ionizar a molécula, ie, para retirar um dos átomos e desfazer a molécula?

### Questão 9

Um feixe de luz proveniente de uma lâmpada, por exemplo, possui polarização indefinida, ou seja, os campos eletromagnéticos que o compõe estão presentes em todas as direções transversais à direção de propagação (feixe não polarizado). Ao passar por um polarizador, somente uma destas direções é mantida no feixe, como visto no desenho abaixo.



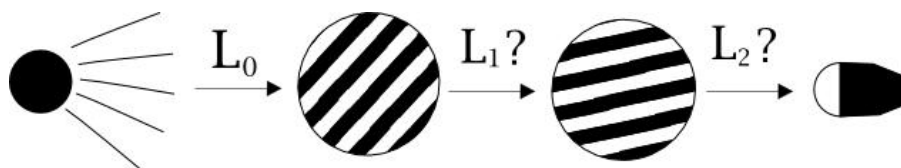
Com isso, o feixe obviamente perde parte de sua intensidade (ou potência), o que pode ser descrito pela primeira das seguintes equações:

$$L = L_i/2 \quad (5)$$

$$L = L_i \cos^2(\theta) \quad (6)$$

A segunda equação descreve o comportamento da intensidade do feixe ao passar por um segundo polarizador, que faz um ângulo  $\theta$  com a direção de polarização anterior. Nas duas equações,  $L$  é a intensidade após o polarizador, e  $L_i$  a intensidade incidente.

(a) Imagine um experimento em que um feixe de luz não polarizado, com intensidade  $L_0$  passa por dois polarizadores, o primeiro fazendo um ângulo  $\theta_1$  com um eixo vertical imaginário, e o segundo  $\theta_2$ . Encontre duas expressões que indiquem a intensidade deste feixe após passar pelo primeiro e segundo polarizador, respectivamente.



(b) Um pesquisador deseja medir a intensidade da luz ao final deste experimento, e para isso ele coloca um conversor fotovoltaico atrás do segundo polarizador. Este tipo de dispositivo é capaz de converter luz em eletricidade, ou seja, ao ser atingido por um feixe luminoso, ele produz uma corrente ou tensão elétrica. Quantitativamente, a corrente elétrica gerada é obtida através da responsividade, uma grandeza que relaciona a potência luminosa incidente com a resposta elétrica, e possui unidade  $A/W$ , onde  $A$  indica Ampères (unidade de corrente elétrica) e  $W$  indica Watts (unidade de potência). Assim, podemos deduzir que:

$$I_L = R.L \quad (7)$$

onde  $I_L$  é a corrente elétrica,  $R$  a responsividade e  $L$  a potência luminosa. Sabendo que o pesquisador encontrou o altíssimo valor de  $3A$  para a corrente elétrica gerada por seu feixe, que possui potência luminosa inicial  $L_0 = 4W$ , e que a responsividade do seu conversor pode ser considerada  $2A/W$ , obtenha uma relação entre os ângulos dos polarizadores utilizados neste experimento, e dê pelo menos dois conjuntos de valores possíveis.

### Questão 10

Astrólogos costumam dizer que a posição dos astros no momento do nascimento de uma pessoa influencia sua personalidade e até mesmo seu destino, apesar de não fornecerem nenhum argumento científico que comprove este fenômeno. Como bons cientistas, podemos analisar a situação da seguinte maneira: estrelas e outros corpos celestes poderiam influenciar eventos terrestres através da sua gravidade, ou ainda sua radiação eletromagnética emitida. Será que a magnitude destas duas propriedades seria suficiente para exercer alguma influência? Confira resolvendo este exercício.

(a) A força gravitacional entre dois corpos pode ser encontrada através Lei da Gravitação Universal, publicada por Sir Isaac Newton, em 1687:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (8)$$

onde  $G$  é a constante gravitacional,  $m_1$  e  $m_2$  são as massas dos dois corpos em questão, e  $r$  é a distância entre eles. Considere um bebê prematuro de 1 kg, e calcule a força gravitacional entre ele e os seguintes corpos:

| Corpo     | Distância   | Massa                       |
|-----------|-------------|-----------------------------|
| Sol       | 1 a.u.      | $2 \cdot 10^{30} \text{kg}$ |
| Marte     | 3 a.u.      | $6 \cdot 10^{24} \text{kg}$ |
| Estrela 1 | 10 anos-luz | $6 \cdot 10^{30} \text{kg}$ |

(b) Calcule a força gravitacional entre o bebê e o médico que realiza o parto. Para isso, estime um valor para a massa do médico e sua distância ao bebê. O que você pode concluir com seus resultados? Explique.

(c) Todo corpo aquecido a uma certa temperatura emite radiação eletromagnética, um fenômeno conhecido como radiação de corpo-negro. A potência total desta radiação é proporcional à temperatura elevada à quarta, ou seja, para um receptor de área  $A$ , a uma distância  $r$  da fonte de radiação, temos:

$$P_T = \sigma T^4 \left( \frac{A}{4\pi r^2} \right) \quad (9)$$

onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann. Calcule a potência total incidente em um bebê que está nascendo, proveniente dos seguintes corpos (ignore a absorção da radiação pelas paredes do prédio e atmosfera):

| Corpo     | Temperatura | Distância   |
|-----------|-------------|-------------|
| Sol       | 6000 K      | 1 a.u.      |
| Estrela 1 | 3000 K      | 10 anos-luz |
| Estrela 2 | 10000 K     | 40 anos-luz |

(d) Como no item (b), estime um valor para a temperatura do médico, e calcule a potência da radiação emitida por ele. O que você conclui com isso? Discuta.