

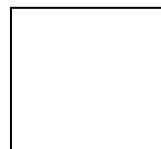


INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense

Física Teórica 3

2a prova - 1o período de 2017 - 03/06/2017

NOTA DA
PROVA



Atenção: Leia as recomendações abaixo antes de fazer a prova.

1. A prova consiste em 20 questões de múltipla escolha, e terá duração de 2 horas
2. Os aplicadores não poderão responder a nenhuma questão, a prova é autoexplicativa e o entendimento da mesma faz parte da avaliação.
3. É permitido o uso apenas de calculadoras científicas simples (sem acesso wifi ou telas gráficas).
4. É expressamente proibido portar telefones celulares durante a prova, mesmo no bolso. **A presença de um celular levará ao confisco imediato da prova e à atribuição da nota zero.**
5. Antes de começar, assine seu nome e turma de forma LEGÍVEL em todas as páginas e no cartão de respostas ao lado.
6. Marque as suas respostas no CARTÃO RESPOSTA. **Preencha INTEGRALMENTE (com caneta) o círculo referente a sua resposta.**
7. Assinale apenas uma alternativa por questão. Em caso de erro no preenchimento, rasure e indique de forma clara qual a resposta desejada.
8. Analise sua resposta. Ela faz sentido? Isso poderá ajudar você a encontrar erros.
9. **Nas questões marcadas com asterisco (**), a resposta só será considerada se o corpo da prova contiver algum cálculo, ou rascunho, que justifique corretamente a resposta.**
10. Caso alguma questão seja anulada, o valor da mesma será redistribuído entre as demais.
11. Escolha as respostas numéricas mais próximas do resultado exato.

Nome			
Prof(a)		Turma	

	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
1	☐	☐	☐	☐	☐	11	☐	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐	☐	12	☐	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐	☐	13	☐	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐	☐	14	☐	☐	☐	☐	☐
5	☐	☐	☐	☐	☐	15	☐	☐	☐	☐	☐
6	☐	☐	☐	☐	☐	16	☐	☐	☐	☐	☐
7	☐	☐	☐	☐	☐	17	☐	☐	☐	☐	☐
8	☐	☐	☐	☐	☐	18	☐	☐	☐	☐	☐
9	☐	☐	☐	☐	☐	19	☐	☐	☐	☐	☐
10	☐	☐	☐	☐	☐	20	☐	☐	☐	☐	☐

Versão da Prova
(preenchido pelo professor) A ☐ B ☐ C ☐ D ☐

Get this form
and more at: **ZipGrade.com**

Copyright 2015 ZipGrade LLC.
This work available under
Creative Commons Attribution-
ShareAlike 3.0 license.

Constantes e conversões: $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^3 \text{ L}$ $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$ $\rho_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/(kg K)}$

$L_{f-\text{água}} = 3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}$ $L_{v-\text{água}} = 22,6 \times 10^5 \text{ J/kg}$ $T_F = (9/5)T_C + 32$ $T_K = T_C + 273$ $T_3 = 273,16 \text{ K}$

$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = R/N_A$

$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ $v^{\text{som-ar}} = 343 \text{ m/s}$ $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/K} \cdot \text{m}^2$

Fluidos: $P = |F|/A$ $P = P_0 + \rho gh$ $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{cte}$ $Q = A \cdot v$

Calor: $Q = mc\Delta T = nC\Delta T$ $Q = mL$ $dQ/dt = k(A/L)\Delta T$ $dQ/dt = e\sigma AT^4$ $dQ_{\text{res}}/dt = e\sigma A(T^4 - T_0^4)$

Termodinâmica: $N = M/m$ $n = N/N_A$ $PV = Nk_B T = nRT$

$SG = \text{Sobre-gás}$. $W^{SG} = -\int PdV$ $W^{SG}_{\text{isoterm}} = -nRT \ln(V_f/V_i)$, $W^{SG}_{\text{adiab}} = (P_f V_f - P_i V_i)/(\gamma - 1)$

$\Delta E^{\text{térm}} = nC_V \Delta T = Q^{\text{receb-gás}} + W^{SG}$ $C_P - C_V = R$ $C_V^{\text{Mono}} = 3R/2$ $C_V^{\text{Diat}} = 5R/2$ $C_V^{\text{Sólido}} = 3R$ $\gamma = C_P/C_V$

$(TV^{\gamma-1} = \text{cte e } PV^{\gamma} = \text{cte})_{\text{transf-adiabat}}$ $\lambda = V/(N \pi 4 \sqrt{2} r^2)$ $\epsilon_{\text{med}} = \frac{1}{2} m v_{\text{rms}}^2 = (3/2) k_B T$

$W^{\text{útil}} = -W^{SG}$ $\eta = W^{\text{útil}}/Q_Q$ $K = Q_F/W^{\text{entra}}$ $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_F/T_Q$ $K_{\text{Carnot}} = T_F/(T_Q - T_F)$

Ondas: $D(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \phi_0) = A \sin(k(x-vt) + \phi_0) = A \sin(\phi)$ $k = 2\pi/\lambda$ $\omega = 2\pi/T$ $v = \lambda f = \omega/k$

$v_{\text{corda}} = (T_c/\mu)^{1/2}$ $I = P/\text{Área}$ $\beta = (10 \text{ dB}) \log(I/I_0)$, $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

1) Um gás ideal confinado sofre um processo isobárico no qual sua temperatura diminui até que $T = T_0 / 2$. O que acontece com o *livre caminho médio* das moléculas do gás nesse processo?

A) cai pela metade

λ é proporcional a V / N , portanto pela lei dos gases ideais é proporcional a T / P
Se P é constante e T cai pela metade, λ cai pela metade

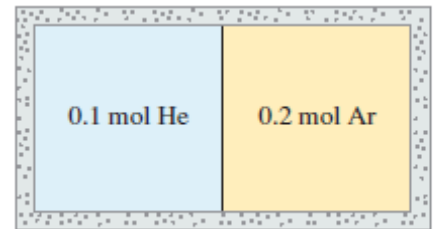
B) nada, ele fica igual

C) dobra

D) aumenta mas não chega a dobrar

E) cai para um valor maior que a metade do inicial

2 e 3) Dois recipientes com gases monoatômicos ^4He e ^{40}Ar estão em bom contato térmico entre si há um tempo muito longo, mas bem isolados da sua vizinhança (fig).



2) Sobre o valor atual das velocidades quadráticas médias v_{rms} de cada gás, e suas energias cinéticas médias de translação ϵ , podemos afirmar:

a) $v_{\text{He}} > v_{\text{Ar}}$ e $\epsilon_{\text{He}} = \epsilon_{\text{Ar}}$

b) $v_{\text{He}} < v_{\text{Ar}}$ e $\epsilon_{\text{He}} = \epsilon_{\text{Ar}}$

c) $v_{\text{He}} = v_{\text{Ar}}$ e $\epsilon_{\text{He}} = \epsilon_{\text{Ar}}$

d) $v_{\text{He}} > v_{\text{Ar}}$ e $\epsilon_{\text{He}} \neq \epsilon_{\text{Ar}}$

e) $v_{\text{He}} < v_{\text{Ar}}$ e $\epsilon_{\text{He}} \neq \epsilon_{\text{Ar}}$

Após muito tempo $T_{\text{He}} = T_{\text{Ar}}$, portanto $\epsilon_{\text{He}} = \epsilon_{\text{Ar}}$ (já que ϵ é proporcional a T)

Mas $\epsilon = 1/2 m (v_{\text{rms}})^2$, então como $m_{\text{He}} < m_{\text{Ar}}$, segue que $v_{\text{He}} > v_{\text{Ar}}$.

3) Sobre a energia térmica total E^{term} e a temperatura final de cada gás, podemos afirmar que:

a) $E_{\text{He}} = E_{\text{Ar}}$ e $T_{\text{He}} \neq T_{\text{Ar}}$

b) $E_{\text{He}} > E_{\text{Ar}}$ e $T_{\text{He}} = T_{\text{Ar}}$

c) $E_{\text{He}} < E_{\text{Ar}}$ e $T_{\text{He}} = T_{\text{Ar}}$

d) $E_{\text{He}} > E_{\text{Ar}}$ e $T_{\text{He}} \neq T_{\text{Ar}}$

e) $E_{\text{He}} < E_{\text{Ar}}$ e $T_{\text{He}} \neq T_{\text{Ar}}$

Após muito tempo $T_{\text{He}} = T_{\text{Ar}}$, portanto $\epsilon_{\text{He}} = \epsilon_{\text{Ar}}$ (já que ϵ é proporcional a T)

Porém, como há mais mols de Ar, então $E_{\text{He}} < E_{\text{Ar}}$

4) Quando a pressão de um gás ideal diminui isotermicamente até o seu volume dobrar, a velocidade média das suas moléculas:

a) cai por um fator $\sqrt{2}$

b) aumenta por um fator $\sqrt{2}$

c) permanece constante

d) dobra

e) cai pela metade.

A vel quadrática média é proporcional a $T^{1/2}$.

Se o gás sofre um processo isotérmico, T não muda

quadrática

5) De acordo com o teorema da equipartição da energia, a energia térmica de um gás é dividida igualmente entre:

a) as moléculas do gás

b) a energia cinética e a energia potencial do gás

c) a energia cinética de translação e a energia cinética de rotação das moléculas do gás

d) os graus de liberdade das moléculas do gás

e) a temperatura e a pressão do gás

Cada grau de liberdade guarda $1/2 k_B T$

6) A máquina térmica no diagrama ao lado poderia ser realizada fisicamente? Dados: $T_Q = 400 \text{ K}$ e $T_F = 200 \text{ K}$

a) Sim, pois ela respeita a 1a e 2a leis da termodinâmica

b) Não, pois ela respeita a 1a e 2a leis da termodinâmica

c) Não, pois ela respeita a 1a lei da termodinâmica mas viola a 2a lei.

d) Não, pois ela respeita a 2a lei da termodinâmica mas viola a 1a lei.

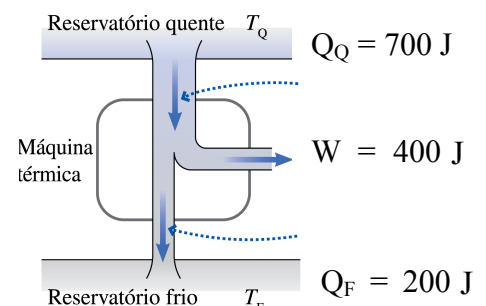
e) Não, pois ela viola a 1a e 2a leis da termodinâmica

Viola a 1a Lei pois $W + Q_F \neq Q_Q$

Viola a 2a Lei pois $W/Q_Q = 4/7 > \eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_F/T_Q = 1/2$

(obs: se usasse a 1a Lei (que é violada aqui) e

calculasse $1 - Q_F/Q_Q$, daria $5/7$ que continua $> 1/2$)



7) Sobre máquinas térmicas podemos afirmar:

- a) podem converter calor integralmente em trabalho
- b) convertem calor parcialmente em trabalho, expelindo a outra parte para um reservatório frio
- c) usam trabalho externo para extrair calor de um reservatório quente
- d) possuem um rendimento máximo limitado pelo rendimento de uma máquina reversível
- e) duas das outras respostas são verdadeiras

b e d corretas

a é falso pois violaria 2a Lei

c é falso pois a MT extrai trabalho útil, não usa trabalho externo para funcionar.

8. Do ponto de vista microscópico, é possível dizer que a 2a Lei da termodinâmica surge do fato de que

A) Apesar dos movimentos microscópicos serem reversíveis, é mais provável que um sistema de muitas partículas interagentes evolua de um estado mais ordenado para um mais desordenado.

B) Apesar dos movimentos microscópicos serem irreversíveis, é mais provável que um sistema de muitas partículas interagentes evolua de um estado mais desordenado para um mais ordenado.

C) Apesar dos movimentos microscópicos serem reversíveis, é mais provável que um sistema de muitas partículas interagentes evolua de um estado mais desordenado para um mais ordenado.

D) Apesar dos movimentos microscópicos serem irreversíveis, é mais provável que um sistema de muitas partículas interagentes evolua de um estado mais ordenado para um mais desordenado.

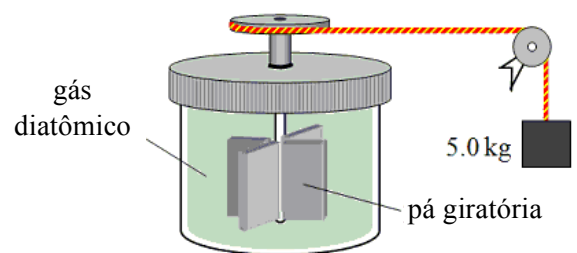
E) Devido aos movimentos microscópicos serem reversíveis, é igualmente provável que um sistema de muitas partículas interagentes evolua de um estado mais desordenado para um mais ordenado, ou vice-versa.

Movimentos microscópicos são reversíveis (seguem leis de Newton). Mas um gde número de partículas interagentes vai tender para o estado macroscópico mais provável, que é o mais desordenado (de maior entropia).

9) Uma pá giratória está inserida em um recipiente selado e isolado termicamente, o qual contém um gás diatômico. A pá é acionada por uma corda conectada a um peso (fig.). Quando o peso cai, fazendo a pá girar, verifica-se que a temperatura do gás aumenta.

Seria possível esta máquina funcionar ao reverso, ou seja: começando com o peso na altura do chão, seria possível

que o gás reduzisse sua temperatura, ao mesmo tempo fazendo a pá rodar ao contrário e erguer o peso?



A) Sim, seria possível, pois este processo respeitaria todas as Leis da Termodinâmica

B) Não, devido à Lei Zero da Termodinâmica

C) Não, devido à 1a Lei da Termodinâmica apenas

D) Não, devido à 2a Lei da Termodinâmica apenas

E) Não, devido à 1a e 2a Leis da Termodinâmica

Neste caso a 1a Lei seria respeitada (a energia total seria conservada, mas a 2a Lei não (calor seria transformado espontaneamente em trabalho com 100% de eficiência)

10)** Uma máquina térmica usa 0,02 mol de um gás diatômico como substância de trabalho. Ela é descrita pelo ciclo mostrado na figura ao lado, onde o processo de 1 para 2 é adiabático.

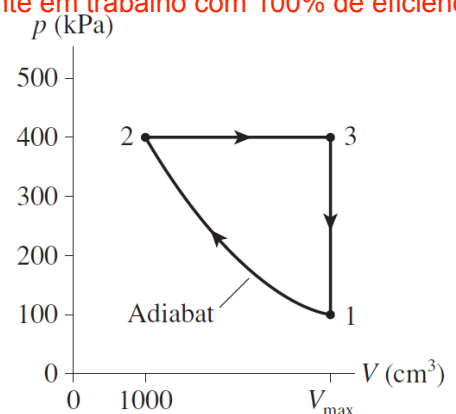
Qual o rendimento térmico da máquina?

Dados: $V_{\max} = 2690 \text{ cm}^3$, $T_1 = 1620 \text{ K}$, $T_2 = 2407 \text{ K}$, $T_3 = 6479 \text{ K}$.

- a) 75 % b) 15% c) 17% d) 21% e) 34 %

Neste ciclo: $Q_q = Q_{23} = n C_p (T_3 - T_2)$ e $Q_f = |Q_{31}| = n C_v (T_3 - T_1)$ (no trecho adiabático $Q = 0$)

Portanto: $\eta = 1 - Q_f / Q_q = 1 - 5/7 (T_3 - T_1) / (T_3 - T_2) = 0.15$



11) Uma perturbação pode ser escrita na forma $y(x, t) = (e^{-(x/b)^2} e^{2xt/b} e^{-t^2})^a$. Essa expressão:

- a) não representa uma onda em propagação.
- b) representa uma onda que se propaga com $v = a$.
- c) representa uma onda que se propaga com $v = a/b$.
- d) **representa uma onda que se propaga com $v = b$.**
- e) representa uma onda que se propaga com $v = 1/b$.

Essa expressão pode ser reescrita como

$$\exp [-a/b^2 (x^2 - 2xbt + (bt)^2)]$$

$$= \exp [-a/b^2 (x - bt)^2]$$

Isto é uma função de $x-bt$, portanto representa uma onda andando com velocidade b na direção positiva de x

12) Uma onda senoidal se desloca numa corda com velocidade 3,7 m/s no sentido negativo do eixo x . As cristas da onda passam cinco vezes por segundo pelo ponto $x = 0$. No instante $t = 0$, esse ponto da corda está deslocado para cima de 0,5m com respeito à sua posição de equilíbrio. Este valor corresponde à metade do deslocamento que é atingido quando a crista passa por lá. Baseado nessas informações, qual é a expressão matemática que descreve esta onda? *** Cristas 5 vezes por seg $\rightarrow \omega = 2\pi \cdot 5 = 10\pi = 31,4 \text{ rad/s}$**

a) $D(z,t) = (1,0 \text{ m}) \sin [8,49 x + 31,4 t + \pi/6]$

b) $D(z,t) = (0,5 \text{ m}) \sin [1,35 x + 5 t + \pi/2]$

c) $D(z,t) = (1,0 \text{ m}) \sin [1,35 x - 5 t + \pi/6]$

d) $D(z,t) = (0,5 \text{ m}) \sin [8,49 x - 31,4 t + \pi/2]$

e) $D(z,t) = (1,0 \text{ m}) \sin [8,49 x - 31,4 t + \pi/6]$

*** $v = 3,7 \text{ m/s} \rightarrow k = \omega / v = 31,4 / 3,7 = 8,49 \text{ rad/m}$**

(obs: tb poderia calcular primeiro λ , depois obter $k = 2\pi / \lambda$)

*** onda no sentido negativo $\rightarrow$ função de $kx + \omega t$**

*** as informações acima já eram suficientes. Mas podia ainda usar $0,5\text{m} = A/2$ (metade do deslocamento máximo) $\rightarrow A = 1,0\text{m}$ e por fim que $D(x,t=0) = 1,0\text{m} \sin \phi_0 = 0,5\text{m} \rightarrow \phi_0 = \pi/6$**

13) ** O nível de ruído (volume) de som a 4,0 m de uma grande serra elétrica é de 100 dB. A que distância o volume do som será de 80dB ?

- a) 400 m b) **40 m** c) 5,0 m d) 3,2 m e) 0,4 m

O volume cair em 20dB significa diminuir a intensidade por um fator de 100. Para ondas sonoras (que se propagam em 3D), a intensidade cai com r^2 . Portanto, para ela diminuir por um fator de 100, a distância deve aumentar por um fator de 10.

14) Duas canoas estão separadas por 10m na superfície de um lago, na qual ondas se propagam. Cada canoa oscila periodicamente para cima e para baixo, indo do seu ponto mais alto para o mais baixo e retornando ao início em 8,0 segundos. Quando uma canoa está no seu ponto de maior altura, a outra está no seu ponto mais baixo, e todos os pontos entre elas estão a alturas intermediárias. Determine a velocidade das ondas no lago.

- A) 1,25 m/s B) 5,0 m/s **C) 2,5 m/s** D) 0,63 m/s E) 0,75 m/s

período da onda $T =$ tempo de 1 oscilação completa $= 8,0\text{s}$

distancia de 1 canoa a outra $=$ distancia de crista para vale seguinte $= 1/2$ comprimento de onda $\rightarrow \lambda = 20\text{m}$

$$v = \lambda f = \lambda / T = 20\text{m}/8\text{s} = 2,5 \text{ m/s}$$

15) A figura abaixo mostra o gráfico-instantâneo e o gráfico-história para um pulso de onda que se propaga em uma corda esticada. Os gráficos descrevem a onda sob diferentes perspectivas. Qual o sentido de propagação da onda e sua velocidade?

Gráfico-instantâneo para $t=0,01$ s

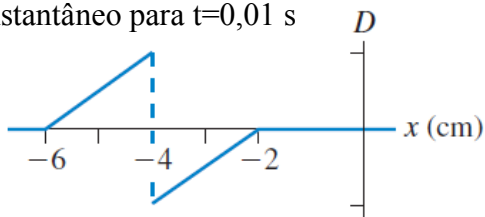
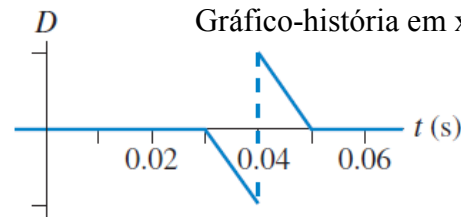


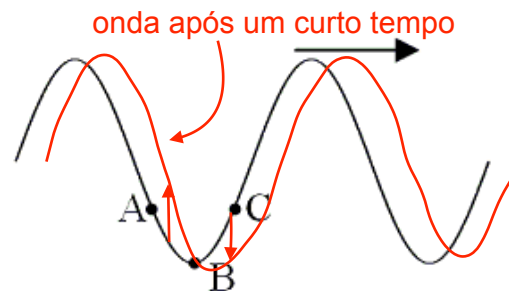
Gráfico-história em $x = 2$ cm



- a) sentido negativo de x , 2 m/s
 b) sentido negativo de x , 3 m/s
 c) sentido negativo de x , 4 m/s
 d) **sentido positivo de x , 2 m/s**
 e) sentido positivo de x , 4 m/s
- Pelo gráfico história: em $t = 0,01$ s o pulso ainda não chegou em $x = 2$ cm, mas começa a chegar lá em $t = 0,03$ s (0,02 s depois).
 Pelo gráfico instantâneo, em $t = 0,01$ s o pulso estava à esq. do ponto $x = 2$ cm, portanto ele se desloca no sentido positivo de x . Nesse instante, o ponto mais próximo do pulso estava em $x = -2$ cm, então ele precisa se deslocar 4 cm em 0,02 s
 $\rightarrow v = 0,04 \text{ m} / 0,02 \text{ s} = 2 \text{ m/s}$

16) O desenho abaixo mostra a imagem, em um determinado instante fixo no tempo, de uma onda que se propaga em uma corda esticada no sentido indicado pela seta. Observe os pontos A, B e C da corda. Qual das opções abaixo descreve corretamente em que direções os pontos da corda nos intervalos entre A e B e entre B e C estão se movendo neste instante?

- | Entre A e B | Entre B e C |
|---------------------|-------------------|
| A) para baixo | para cima |
| B) para cima | para cima |
| C) para a direita | para a direita |
| D) para baixo | para baixo |
| E) para cima | para baixo |



17. ** Uma corda de piano é afinada, através de um cuidadoso ajuste na sua tensão, de modo a produzir uma nota dó de frequência $f = 261.63$ Hz. Em um dado momento, ocorre um acidente que danifica o sistema que mantinha a corda tensionada, fazendo essa tensão cair para um terço da original. Assumindo que o comprimento de onda não muda, qual será agora a frequência produzida por esta corda?

- A) 87.21 Hz **B) 151.05 Hz** C) 261.63 Hz D) 453.16 Hz E) 784.89 Hz

v_{onda} é proporcional a $T^{1/2}$, portanto após o acidente v_{onda} cai para $v_{\text{onda}} / \sqrt{3}$. Como $v_{\text{onda}} = \lambda f$ e λ não se altera, f deve cair pelo fator $\sqrt{3}$.

18) Um agente de segurança usa um aparelho rádio-transmissor que tem também um alto-falante embutido. Ao ser ligado, o transmissor emite um pulso de ondas de rádio de 10 kHz ao mesmo tempo em que o alto-falante emite uma onda sonora também de 10 kHz. Nesse caso, é correto dizer que:

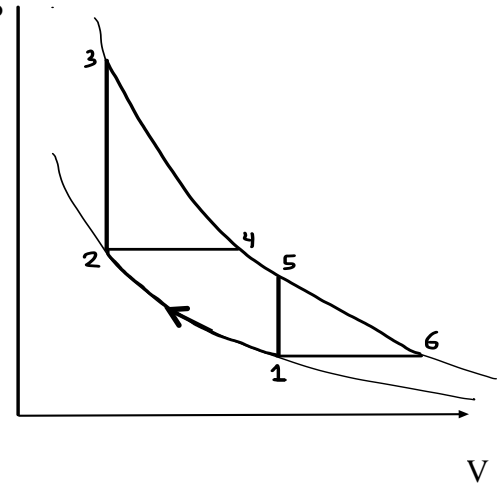
- A) As duas ondas terão os mesmos comprimento de onda, já que se propagam no mesmo meio, o ar.
 B) A onda sonora terá comprimento de onda muito maior que a onda de rádio.
C) A onda sonora terá comprimento de onda muito menor que a onda de rádio.
 D) As duas ondas terão os mesmos comprimento de onda, já que serão ambas ondas transversais
 E) A onda sonora poderá ter comprimento de onda maior ou menor que a onda de rádio, dependendo da temperatura do ar.

Pelo fato físico básico de que $v_{\text{som}} \ll v_{\text{luz}}$, e dado que $v = \lambda f$, conclui-se que $\lambda_{\text{som}} \ll \lambda_{\text{luz}}$ para ondas de mesma frequência.

(obs: as velocidades são diferentes mesmo se tratando do "mesmo" meio, pois o mecanismo físico das ondas sonoras no ar (compressões e rarefações em um gás) é completamente distinto do que rege as ondas de luz (indução eletromagnética))

19**) A figura mostra duas curvas adiabáticas em um diagrama PV de um gás ideal. É possível construir diferentes máquinas térmicas que envolvam compressões e expansões adiabáticas do gás ao longo dessas mesmas duas curvas. Por exemplo, o mesmo trecho de compressão adiabática 1→2 pode ser incluído em um chamado ciclo de Brayton (composto de dois trechos adiabáticos e dois trechos isobáricos) e num chamado ciclo de Otto (composto de dois trechos adiabáticos e dois isovolumétricos). Os rendimentos destes ciclos são dados respectivamente pelas expressões

$$\eta_{Brayton} = 1 - 1 / r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{e} \quad \eta_{Otto} = 1 - 1 / r_V^{\gamma-1},$$



onde $r_p = P_{\text{máx}} / P_{\text{mín}}$ e $r_V = V_{\text{máx}} / V_{\text{mín}}$ são as razões entre a máxima e mínima pressão (resp. , volume) atingidos ao longo de cada ciclo respectivo.

Comparando as eficiências dos ciclos de Brayton e de Otto contendo o trecho 1-2 na figura acima, podemos concluir que

- A) $\eta_{Brayton} < \eta_{Otto}$
- B) $\eta_{Brayton} = \eta_{Otto}$
- C) $\eta_{Brayton} > \eta_{Otto}$
- D) $\eta_{Brayton}$ pode ser $>$, $<$ ou $=$ que η_{Otto} , dependendo do valor da pressão no ponto 1
- E) $\eta_{Brayton}$ pode ser $>$ ou $<$ que η_{Otto} , dependendo do valor de γ

r_p do ciclo Brayton (1246): P_2 / P_1

r_V do ciclo Otto (1235): V_1 / V_2

como 1-2 é adiabático $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \rightarrow P_2 / P_1 = (V_1 / V_2)^\gamma \rightarrow r_p^{Brayton} = (r_V^{Otto})^\gamma$

substituindo na definição de $\eta_{Brayton}$, obtemos $\eta_{Brayton} = \eta_{Otto}$

20) ** Você quer aquecer uma casa num local de clima frio, usando uma bomba de calor (aparelho que usa trabalho elétrico para retirar calor do exterior para o interior aquecido). Sua bomba de calor funciona com um coeficiente de desempenho que é 30% do máximo permitido pela 2a Lei da Termodinâmica. Se você quer manter sua casa a $T = 27^\circ\text{C}$, a partir de qual temperatura externa T_{ext} sua bomba consumirá em energia elétrica (trabalho) mais joules por segundo do que ela consegue retirar do exterior frio?

- a) Para $T_{\text{ext}} < -42^\circ\text{C}$
- b) Para $T_{\text{ext}} > -42^\circ\text{C}$
- c) Para $T_{\text{ext}} < 20,8^\circ\text{C}$
- d) Para $T_{\text{ext}} > 20,8^\circ\text{C}$
- e) Para qualquer T_{ext} , ela sempre consumirá menos trabalho do que o calor retirado do exterior frio.

Desempenho da bomba de calor $K = Q_f / W$. Queremos encontrar a condição sobre T_{ext} para que $K < 1$.

Pelo enunciado: $K = 0,30$ $K_{\text{Carnot}} = 0,30 * T_{\text{ext}} / (300\text{K} - T_{\text{ext}})$. Note que K cai para zero à medida em que T_{ext} diminui.

Resolvendo para $K < 1$ encontramos: $T_{\text{ext}} < 231\text{K} = -42^\circ\text{C}$