



FÍSICA II

LISTA DE EXERCÍCIOS 9 – Processos Termodinâmicos e Segunda Lei da Termodinâmica.

Antes de começar os exercícios envolvendo cálculos, pare e tente lembrar as definições dos processos isotérmicos, isobáricos, isovolumétricos e adiabáticos. Isto pode parecer inútil, mas é de suma importância para resolver os exercícios seguintes. Saber qual processo está envolvido em cada problema a partir das informações dadas guiará a escolha das equações corretas a serem aplicadas. Além disso, o conceito é sempre cobrado nas avaliações.

1) Quando 20,9 J foram adicionados sob a forma de calor a um gás ideal particular, o volume variou de $50,0 \text{ cm}^3$ para 100 cm^3 , enquanto a pressão permaneceu constante a 1,0 atm. (a) De quanto variou a energia interna do gás? Se a quantidade de gás presente for $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, determine o calor específico molar do gás: (b) a pressão constante e (c) a volume constante.

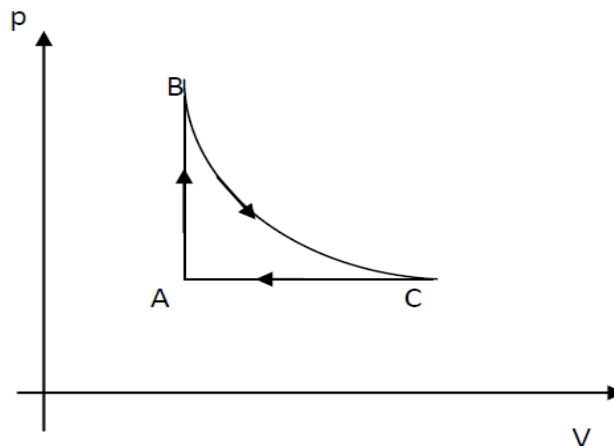
2) Um cilindro preenchido por um pistão contém 0,1 mol de ar e encontra-se em uma sala a 20°C . O pistão é empurrado tão lentamente que o ar em seu interior permanece em equilíbrio térmico com o restante da sala. Encontre o trabalho realizado pelo ar dentro do cilindro se o volume final for a metade do volume inicial do cilindro.

3) Um mol de gás hélio, inicialmente nas CTP (condições ideais de temperatura e pressão: 1 atm, 0°C) passa por um processo isovolumétrico em que a pressão cai à metade de seu valor inicial. (a) Qual é o trabalho realizado pelo gás? (b) Qual a temperatura final do gás? (c) O gás agora expande-se isobaricamente para um volume duas vezes maior que seu valor inicial, qual o trabalho realizado pelo gás?

4) Um gás ideal tem calor específico molar a volume constante igual a $12,5 \text{ J/mol.K}$ e calor específico molar a pressão constante igual a $20,8 \text{ J/mol.K}$. Este gás está contido em um cilindro e é comprimido para um terço de seu volume original sem que haja trocas de calor com o meio externo. Durante o processo, 45J de trabalho é realizado sobre o gás pelo agente compressor. (a) Qual o calor absorvido pelo gás? (b) Qual a variação da energia interna do gás?

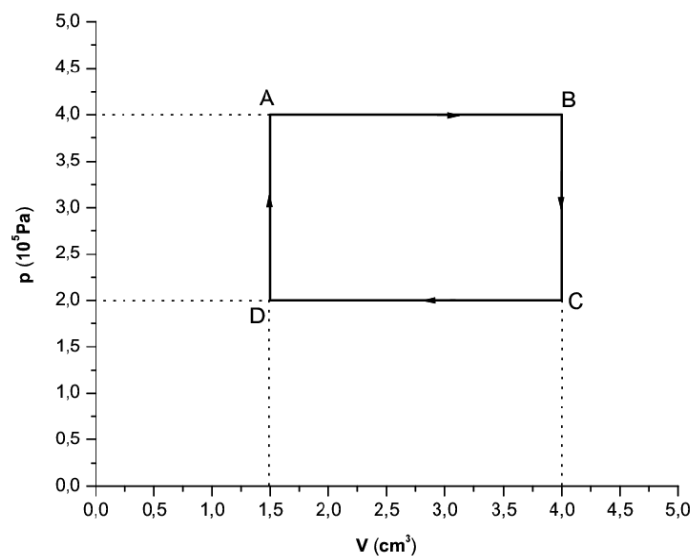
5) Em cada situação, encontre a variação de energia interna do sistema: (a) Um sistema absorve 500 cal de calor e ao mesmo tempo realiza 400J de trabalho. (b) Um sistema absorve 300 cal de calor e um trabalho de 420 J de trabalho é realizado sobre ele. (c) 1200 cal são removidas de um gás cujo volume é mantido constante. ($1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$)

6) Uma máquina térmica opera tendo 1000 mols de um gás ideal monoatômico como compressor. O gás passa por três processos termodinâmicos até retornar ao seu estado inicial constituindo o ciclo fechado mostrado na figura abaixo. A curva BC constitui um processo isotérmico e $p_A = 1 \text{ atm}$, $V_A = 22,4 \text{ m}^3$, $p_B = 2 \text{ atm}$. Quais os valores de T_A , T_B e V_C ?



7) Em relação ao problema anterior, obtenha o trabalho líquido realizado em um ciclo termodinâmico e calcule a eficiência desta máquina térmica.

8) O diagrama p-V mostrado na figura abaixo representa um ciclo termodinâmico sofrido por um gás ideal em uma máquina térmica. Qual o trabalho feito pelo gás nas porções (a) AB do ciclo? (b) BC do ciclo? (c) CD do ciclo? (d) DA do ciclo?



9) Para o ciclo termodinâmico da questão anterior encontre (a) O trabalho líquido realizado no ciclo. (b) O calor absorvido pelo gás em cada ciclo.

10) Ainda sobre a questão 8, considerando que o gás seja ideal monoatômico e composto de 0,1 mol de moléculas, determine a variação de temperatura, variação da energia interna e o calor absorvido durante as etapas (a) AB, (b) BC, (c) CD e (d) DA do ciclo termodinâmico. (e) A eficiência da máquina térmica que opera neste ciclo

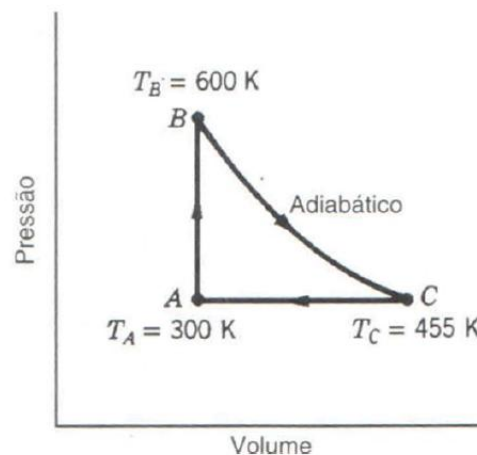
11) Uma quantidade de gás ideal monoatômico consiste de n moles inicialmente à temperatura T_1 . Então, a pressão e o volume são lentamente dobrados de forma a traçar uma linha reta no diagrama pV. Em termos de n , R e T_1 , encontre (a) W , (b) ΔE e (c) Q . (d) Se definíssemos um calor específico molar para este processo, qual seria?

12) Um mol de gás ideal monoatômico é aquecido em um COMPARTIMENTO RÍGIDO, ou seja, que não pode contrair nem expandir. A temperatura do gás eleva-se de 300K para 600K. (a) Encontre o calor absorvido, o



trabalho realizado pelo gás e a variação de energia interna do gás. (b) Encontre estas mesmas quantidades se o aquecimento acontecer em um compartimento de volume variável mas que mantenha a pressão interna inalterada.

13) Um motor faz com que 1 mol de um gás ideal monoatômico percorra o ciclo mostrado na figura abaixo. O processo AB ocorre a volume constante, o processo BC ocorre sem trocas de calor e o processo CA ocorre sem que haja variação de pressão. (a) Calcule o calor, a variação de energia interna e o trabalho para cada um dos três processos e para o ciclo como um todo. (b) Se a pressão no ponto A é 1 atm, encontre a pressão e o volume nos pontos B e C, (c) Qual o rendimento da máquina térmica que opera neste ciclo?



14) Pare e pense: Quais os processos termodinâmicos envolvidos em uma máquina de Carnot? Por que estes processos tornam a eficiência da máquina de Carnot a maior de todos os outros ciclos? Esta eficiência pode ser alcançada por uma máquina real? Por que? Se não souber responder alguma destas perguntas, sugiro uma breve revisão da teoria antes de prosseguir esta lista.

15) Uma máquina de Carnot trabalha entre dois reservatórios em temperaturas de 300K e 200K. (a) Qual a eficiência? (b) Se a máquina absorve 100J do reservatório quente por ciclo, qual o trabalho líquido realizado? (c) Quanto calor é "jogado fora" em cada ciclo? (d) Qual o coeficiente de desempenho se esta máquina for usada como um refrigerador entre os mesmos reservatórios?

16) Em cada ciclo, uma máquina térmica remove 150J de um reservatório a 100°C e despeja 125J em um reservatório térmico a 20°C. (a) Qual a eficiência desta máquina? (b) Qual a razão entre esta eficiência e a eficiência de uma máquina de Carnot que opera entre estes reservatórios?

17) Uma máquina térmica opera entre uma fonte quente e uma fria que possuem temperaturas de 480K e 300K respectivamente. Assuma que a máquina produza 1,2 kJ de energia mecânica para cada 1000 cal absorvida (1 cal=4,182J). (a) Qual a eficiência desta máquina térmica. (b) Qual a eficiência de uma máquina de Carnot que opere entre estas mesmas duas temperaturas?

18) Uma máquina de Carnot ideal absorve calor de uma fonte quente a 317°C, realiza algum trabalho, e entrega o restante da energia na forma de calor para uma fonte fria a 117°C. (a) Se 500 kcal de calor é tirado da fonte quente, quanto calor é entregue para fonte fria? (a) Quanto trabalho é realizado por ciclo?

19) Um gás ideal está confinado em um cilindro com um pistão. O pistão é vagarosamente empurrado, comprimindo o gás, mas mantendo a temperatura em 20°C. Durante a compressão, realiza-se 730J de trabalho



sobre o gás. (a) Qual a variação de entropia no sistema? (b) Por quê este resultado não viola a segunda lei da termodinâmica $\Delta S > 0$?

20) Uma quantidade de calor ΔQ é transferida de um reservatório térmico à temperatura T_1 para outro reservatório à temperatura T_2 , sendo que $T_1 > T_2$ para que o processo seja espontâneo. Os reservatórios são grandes o suficiente para que a troca de calor não cause uma mudança de temperatura considerável. Mostre que a entropia total dos dois sistemas juntos irá aumentar, apesar de a energia se conservar.

21) Uma máquina térmica absorve 100J e ejeta 60J na forma de calor em cada ciclo. (a) Qual a eficiência da máquina térmica? (b) Se cada ciclo leva 0,5s para ser percorrido, encontre a potência desenvolvida por esta máquina.

22) Suponha que 4,0 mols de um gás diatômico ideal, com calor específico a volume constante igual a 20,8 J/mol.K, aumente sua temperatura de 60,0K sob condições de pressão constante. (a) Quanta energia foi transferida para o gás sob a forma de calor? (b) De quanto aumentou a energia interna do gás? (c) Quanto trabalho foi realizado pelo gás? (d) De quanto aumentou a energia cinética do gás?

23) Uma amostra de gás ideal se expande de pressão e volume iniciais correspondentes a 32atm e 1,0L, respectivamente, para um volume final e 4,0L. A temperatura inicial do gás era 300K. Quais serão a pressão e temperatura finais desse gás e quanto trabalho ele realizará durante a expansão, se esta for: (a) Isotérmica, (b) adiabática e o gás monoatômico ideal ($C_v = 3R/2$) e adiabática e o gás diatômico ideal ($C_v = 5R/2$)?

24) Um mol de gás monoatômico ideal a uma pressão inicial de $5,0 \times 10^3$ Pa e temperatura inicial de 600K, se expande de um volume inicial $V_i = 1,0\text{m}^3$ até um volume final $V_f = 2,0\text{m}^3$. Durante a expansão, a pressão P e o

volume V do gás estão relacionados por $P = 5,0e^{\left(\frac{V_i - V}{a}\right)}$, onde a pressão é dada em quilopascals, V_i e V estão em metros cúbicos e $a = 1,0\text{m}^3$. Qual (a) a pressão final? (b) a temperatura final do gás? (c) Qual o trabalho realizado pelo gás durante a expansão?

25) Um mol de oxigênio (gás diatômico ideal) é aquecido à pressão constante, com o processo tendo início a 0°C . Quanto calor precisa ser adicionado para que o gás duplique o seu volume?

26) Um gás ideal sofre uma compressão adiabática de $P_i = 1,0$ atm, $V_i = 1,0 \times 10^6 \text{L}$, $T_i = 0^\circ \text{C}$ para $P_f = 1,0 \times 10^5$ atm, $V_f = 1,0 \times 10^3 \text{L}$. (a) Qual a razão entre calores específicos a pressão e a volume constante? (b) Qual a sua temperatura final? (c) Quantos mols do gás estão presentes?

27) (a) um gás ideal inicialmente à pressão P_0 sofre uma expansão livre isotérmica até que o seu volume seja 3 vezes o seu volume inicial. Qual será então sua pressão, em função de P_0 ? (b) O gás é em seguida comprimido lenta e adiabaticamente de volta ao seu volume original. A pressão após a compressão é $3^{1/3} P_0$. Qual seu calor específico a volume constante?

28) Quatro mols de um gás ideal expandem de um volume V_1 para um volume $V_2 = 2V_1$. (a) Se a expansão é isotérmica a 400K, encontre o trabalho realizado pelo gás. (b) Ache a variação de entropia, se houver alguma. (c) Se a expansão é reversivelmente adiabática em vez de isotérmica, qual a variação de entropia?



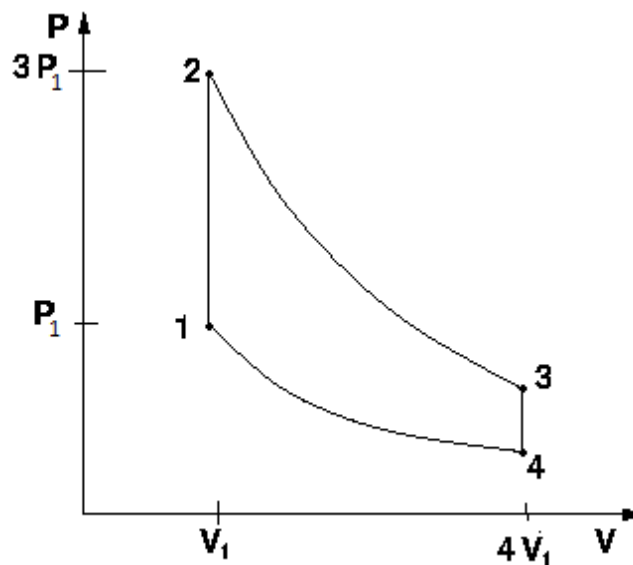
29) Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica reversível a 27°C aumentando seu volume de 1,30L para 3,40L. A variação de entropia do gás é de $22,0\text{ J/K}$. Quantos mols do gás estão presentes?

30) Em um experimento, 200g de alumínio com um calor específico de 900 J/Kg.K a 100°C são misturados com 50,0g de água a $20,0^{\circ}\text{C}$, com a mistura termicamente isolada. (a) Qual a temperatura de equilíbrio? (b) Quais são as variações de entropia do alumínio, da água e do sistema todo?

31) (a) Uma máquina de Carnot opera entre uma fonte quente a 320 K e uma fria a 260 K. Se ela absorve 500 J de calor por ciclo na fonte quente, quanto trabalho por ciclo realiza? (b) Se a mesma máquina, trabalhando em sentido contrário, funciona como um refrigerador entre as mesmas fontes térmicas, quanto trabalho por ciclo deve ser fornecido para se mover 1000J de calor da fonte fria?

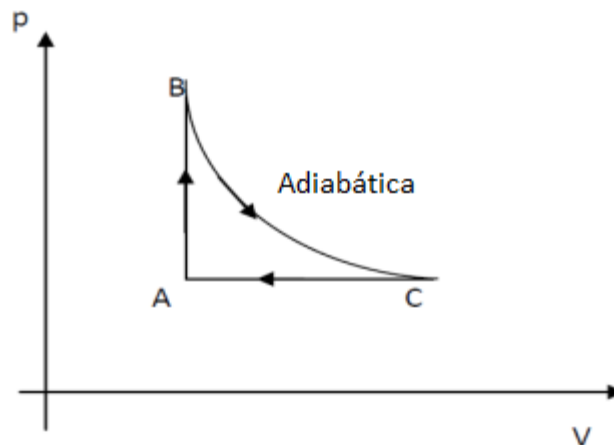
32) O motor em um refrigerador possui uma potência de 200W. Se o compartimento do congelador estiver a 270K e o ar do lado de fora estiver a 300K, qual a quantidade máxima de energia que pode ser extraída sob a forma de calor do compartimento do congelador em 10,0 minutos?

33) A operação de um motor de combustão interna está representado pelo ciclo da figura abaixo. Suponha que a mistura combustível-ar de admissão é um gás ideal, use uma razão de compressão igual a 4 por 1 ($V_4 = 4V_1$) e os processos 2-3 e 4-1 são adiabáticos. Suponha que $P_2 = 3P_1$. (a) Determine a pressão e a temperatura em cada um dos pontos de vértice do diagrama PV em termos de P_1 , T_1 e da razão γ entre os calores específicos molares do gás. (b) Qual a eficiência do ciclo?

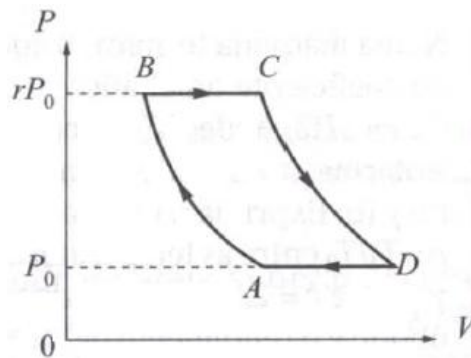


34) Um motor de Carnot possui uma potência de 500W. Ele opera entre reservatórios com temperatura constantes a 100°C e 60°C . (a) Qual a taxa de entrada de calor? (b) Qual a taxa de saída de calor de exaustão em quilojoules por segundo?

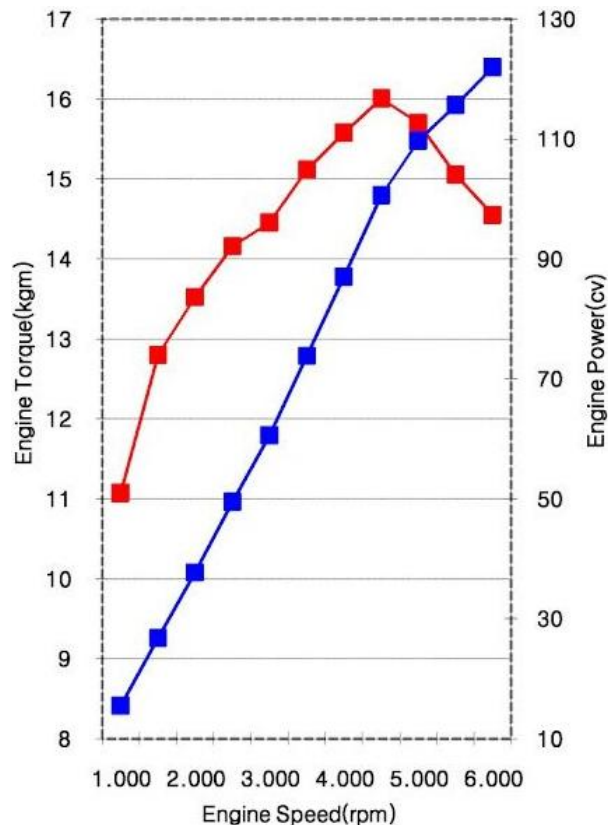
35) Um mol de gás ideal monoatômico passa pelo ciclo mostrado na figura a seguir. O processo bc é uma expansão adiabática. $P_b = 10,0\text{ atm}$, $V_b = 1,0 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ e $V_c = 8,0V_b$. Calcule: (a) o calor adicionado ao gás, (b) o calor cedido pelo gás, (c) o trabalho realizado pelo gás e (d) a eficiência do ciclo.



36) O ciclo Joule, representado na figura abaixo onde AB e CD são adiabáticas, é uma idealização do que ocorre em uma turbina a gás. BC e DA representam respectivamente o aquecimento e resfriamento à pressão constante, $r = P_B/P_A$ é a taxa de compressão. (a) Obtenha uma expressão para a eficiência deste ciclo em termos de γ e r .



37) O veículo HB20, da fabricante Hyundai, motor 1.6 e de 16 válvulas tem massa declarada de 1027kg. O motor é constituído de 4 cilindros em linha, cujos volume internos somados é de 1,591L (daí a denominação de motor 1.6) A taxa de compressão declarada do motor é de 12:1 (fonte: <http://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=1511>). A figura abaixo mostra a curva de torque e potência (em unidades de cv) do veículo em função do número de ciclos termodinâmicos que o motor executa por minuto (rotação em rpm). Um automóvel deste modelo sobe uma ladeira de inclinação 15° e com uma velocidade de 79,82km/h transportando duas pessoas de 75kg cada. (a) Qual a potência, em cavalos, entregue às rodas do carro pelo motor durante a subida ($1\text{cv}=735,5\text{W}$)? (b) Através do gráfico, estime quantos ciclos por segundo o motor está desenvolvendo. (c) Supondo que a mistura de ar com vapor de gasolina comprimida no interior dos cilindros seja um gás ideal poliatômico, obtenha a eficiência deste motor admitindo que ele realiza um ciclo OTO ideal. (d) Sabe-se que devido ao atrito entre partes móveis do motor, operação das válvulas, sistema de refrigeração e ao sistema de bombeamento de ar para dentro e fora dos cilindros, apenas 35% a potência desenvolvida no ciclo termodinâmico do motor é entregue às rodas do carro. Desta forma, qual o trabalho líquido gerado por ciclo termodinâmico em cada cilindro? (Como o motor possui 4 cilindros, o trabalho líquido do ciclo de cada cilindro é um quarto do trabalho líquido total exercido pelo motor por ciclo). (e) Qual o calor gerado na explosão da gasolina durante a etapa da ignição? (f) Qual a variação de pressão dentro do cilindro durante esta etapa?



Respostas:

1) (a) 15,9 J, (b) 34,3 J/mol.K, (c) 25,9 J/mol.K.

2) -169J

3) (a) 0 J, (b) 136,58 K, (c) 1135 J

4) (a) 0J, (b) 45J

5) (a) 1700J, (b) 1680J e (c) -5000J

6) 273 K, 546 K, 44,8 m³

7) 880 kJ; 0,13.

8) (a) 1J, (b) 0J, (c) -0,5J, (d) 0J

9) (a) 0,5 J, (b) 0,5J

10) (a) 1,203K; 1,5J; 2,5J (b) -0,962K; -1,2J; -1,2J (c) -0,6K; -0,75J; -1,25J (d) 0,36K; 0,45J, 0,45J; (e) 0,17

11) (a) 1,5nRT₁, (b) 4,5nRT₁, (c) 6nRT₁, (d) 2R

12) (a) 3,74kJ; 0; 3,74kJ, (b) 6,24kJ; 2,5kJ; 3,74kJ

13) (a) Q_{AB}=3740J; ΔE_{AB}=3740J; W_{AB}=0J; Q_{BC}=0J; ΔE_{BC}=-1810J; W_{BC}=1810J; Q_{CA}=-3220J; ΔE_{CA}=-1930J; W_{CA}=-1290J; Q_{ciclo}=520J; ΔE_{ciclo}=0J; W_{ciclo}=520J (b) V_B=0,0246m³; p_B=2atm; V_C=0,0373m³; p_C=1atm; (c) 13,9%

15) (a) 33,3%, (b) 33,3J; (c) 66,7J; (d) 2



- 16) (a) 16,7%, (b) 77,7%
- 17) (a) 28,7%; (b) 37,5%
- 18) (a) 331 kcal , (b) 710 kJ
- 19) (a) -2,49 J/K, (b) Essa é com você
- 20) $\Delta S = \Delta Q(T_1 - T_2) / (T_1 T_2)$
- 21) (a) 40%, (b) 80W
- 22) (a) 6986,4J; (b) 4992J; (c) 1994,4J; (d) 2990,7J.
- 23) (a) 300K, 8,0Atm e 4436,1J; (b) 119K, 3,17Atm e 2887,9J; (c) 172,3K, 4,6Atm e 3395,8J.
- 24) (a) 1839,4 Pa; (b) 442,7K; (c) 3160J
- 25) 7940J.
- 26) (a) 1,667; (b) 27362,9 K; (c) 44079,5 mol.
- 27) (a) $1/3 P_0$; (b) 3R.
- 28) (a) 9216,1J; (b) 23,0 J/K; (c) 0.
- 29) 2,75 mols.
- 30) (a) 330K; (b) -22,0J/K; 24,9 J/K; 2,9 J/K.
- 31) (a) 93,75J; (b) 230,8J.
- 32) $1,08 \times 10^6$ J.
- 33) (a) $T_2 = 3T_1$, $P_2 = 3P_1$; $P_3 = 3/4^{\gamma} P_1$, $T_3 = 3/4^{\gamma-1} T_1$; $P_4 = 1/4^{\gamma} P_1$, $T_3 = 1/4^{\gamma-1} T_1$; (b) $1-4^{\gamma-1}$.
- 34) (a) 4,66 KJ/s; (b) 4,16 KJ/s.
- 35) (a) 1453J; (b) -541,6J; (c) 911,4J; (d) 0,63.
- 36) $1 - (1/r)^{(\gamma-1)/\gamma}$
- 37) (a) 90cv, (b) 69,4 ciclos/s, (c) 0,56, (d) 680,9J (e) 1209J; (f) $120,9 \times 10^5$ Pa