



Com base no que vimos sobre energia interna e trabalho, podemos, pensando na conservação de energia, pensar no seguinte esquema:

Q. 1 – FORMAS DE ENERGIAS E SUAS TROCAS EM UM GÁS

Basicamente aí se encontra a primeira lei da termodinâmica:

Q. 2 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Eq. (01)

Vamos agora aplicar estes conceitos nas diversas transformações que vimos.

Q. 3 – TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

Q. 4 – TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA

Q. 5 – TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Q. 6 – TRABALHO EM UM CICLO

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23/08/2022

EXERCÍCIOS

1. (Espcex (Aman) 2020) Um gás ideal é comprimido por um agente externo, ao mesmo tempo em que recebe calor de 300 J de uma fonte térmica.

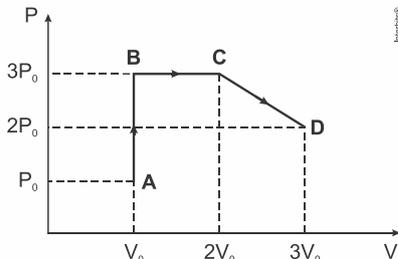
Sabendo-se que o trabalho do agente externo é de 600 J, então a variação de energia interna do gás é

- a) 900 J. b) 600 J. c) 400 J. d) 500 J. e) 300 J.

2. (Uece 2019) Considere um gás confinado em um recipiente cilíndrico, de paredes fixas, exceto pela tampa, que é composta por um êmbolo móvel que exerce uma pressão constante (P) sobre o gás. Caso o gás se expanda e seu volume sofra um incremento ΔV, em função de deslocamento do êmbolo, o trabalho realizado pelo gás é

- a) P/ΔV. b) ΔV/P. c) PΔV. d) -PΔV.

3. (Ufpr 2019) O diagrama P×V ao lado ilustra uma sequência de processos termodinâmicos executada por um gás ideal monoatômico, passando pelos pontos A, B, C e D, caracterizados pelos valores de pressão e volume apresentados no diagrama.



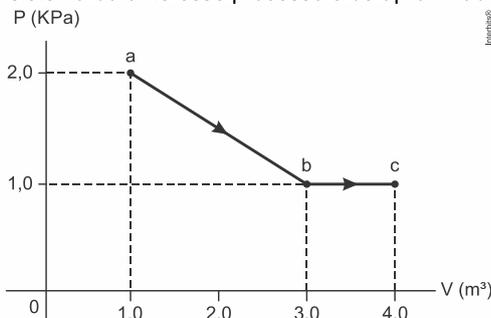
Tendo em vista as informações apresentadas no diagrama, considere as seguintes afirmativas:

- O processo A → B é isométrico.
- Os pontos C e D estão à mesma temperatura.
- O trabalho realizado pelo gás no processo B → C é nulo.
- O processo C → D é isobárico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
b) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas 3 e 4 são verdadeiras.
d) Somente as afirmativas 1, 2 e 4 são verdadeiras.
e) As afirmativas 1, 2, 3 e 4 são verdadeiras.

4. (Efomm 2019) Um mol de um gás ideal monoatômico vai do estado a ao estado c, passando pelo estado b com pressão, como mostrado na figura abaixo. A quantidade de calor Q que entra no sistema durante esse processo é de aproximadamente:

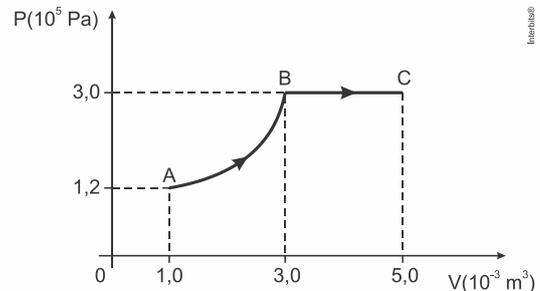


- a) 4.000 J
b) 5.000 J
c) 6.000 J
d) 7.000 J
e) 8.000 J

5. (Unioeste 2019) Em um sistema fechado, um gás ideal passa lentamente de um estado inicial 1 para um estado final 2 devido a uma expansão isotérmica. Assim, ao final deste processo termodinâmico,

- o gás não terá absorvido energia na forma de calor uma vez que a temperatura no estado 1 é igual à temperatura no estado 2.
- o trabalho realizado pelo gás será igual à variação da energia interna calculada entre o estado 2 e o estado 1.
- o calor absorvido pelo gás será igual à variação da energia interna calculada entre o estado 2 e o estado 1.
- o trabalho realizado sobre o gás será igual à energia por ele absorvida na forma de calor ao passar do estado 1 para o estado 2.
- o trabalho realizado pelo gás será igual à energia por ele absorvida na forma de calor ao passar do estado 1 para o estado 2.

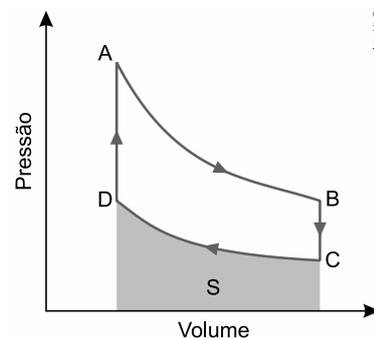
6. (Fac. Albert Einstein - Medicina 2019) Para provocar a transformação gasosa ABC, representada no diagrama P×V, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1.400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.



Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho AB dessa transformação foi de

- a) 600 J. b) 400 J. c) 500 J.
d) 1.100 J. e) 800 J.

7. (Famerp 2019) Um motor funciona obedecendo ao ciclo de Stirling, no qual um gás ideal é submetido a duas transformações isotérmicas, AB e CD, e a duas transformações isovolumétricas, BC e DA, como mostra a figura.



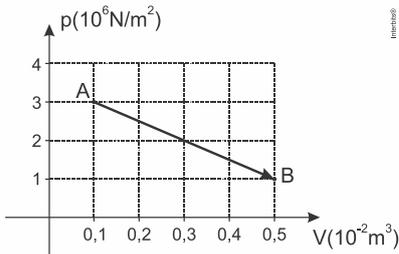
a) Sabendo que a temperatura do gás na transformação AB é 327 °C e que a pressão nos pontos B e C valem $8,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ e $4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, respectivamente, calcule a temperatura do gás, em kelvins, durante a transformação CD.

b) Sabendo que a área S sob a curva da transformação CD, destacada na figura, corresponde a uma quantidade de energia igual a 3.700 J, calcule a quantidade de calor, em joules, que o gás libera nessa transformação.

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23/08/2022

8. (Uepg-pss 2 2019) O gráfico abaixo representa uma transformação sofrida por 4 mol de um gás ideal monoatômico. A respeito dessa transformação, assinale o que for correto.
Dado: constante geral dos gases ideais $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$



- 01) O trabalho foi realizado sobre o gás.
- 02) A transformação foi isobárica.
- 04) O trabalho realizado na transformação foi de 8 kJ.
- 08) A temperatura do gás para a situação A vale aproximadamente 90 K.

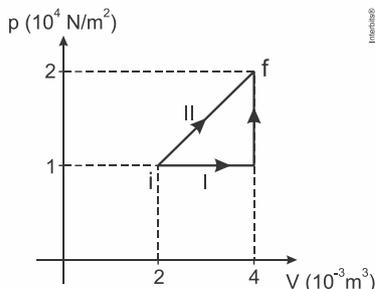
9. (Ufu 2019) Em um motor de automóvel, a mistura de combustível com ar é comprimida pelo pistão antes da ignição a uma taxa de 10,0 para 1,0, ou seja, o volume final do cilindro é 10 vezes menor que o volume inicial, como mostrado na figura abaixo (figura fora de escala).



Considere que não haja trocas de calor entre a mistura no interior do cilindro e sua vizinhança, que as dimensões do equipamento não sofram variações significativas com a temperatura, e que a mistura tenha comportamento semelhante ao de um gás ideal e faça o que se pede.

- a) Se a pressão inicial e a temperatura inicial valem 1,5 atm e 127 °C respectivamente, e a pressão final é de 30 atm, calcule, em graus Celsius, a temperatura da mistura na situação final.
- b) Explique a variação de temperatura sofrida pela mistura.

10. (Ufrgs 2019) Um gás ideal contido em um cilindro com pistão pode ser levado de um estado inicial i até um estado final f , seguindo dois processos distintos, I e II, conforme ilustrado na figura abaixo.



Os trabalhos W_I e W_{II} , realizados pelo gás nos processos I e II, valem respectivamente

- a) 10 J e 30 J.
- b) 20 J e 20 J.
- c) 20 J e 30 J.
- d) 30 J e 10 J.
- e) 30 J e 20 J.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Exemplos:

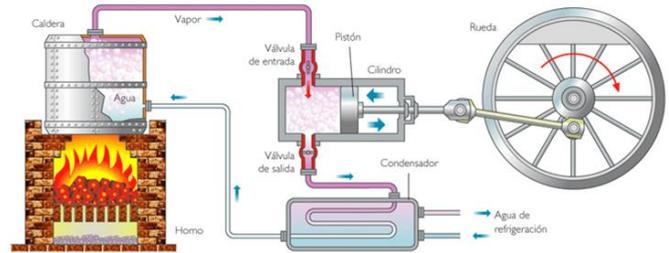


Figura 1: Máquina a vapor

A máquina a vapor, amplamente utilizada durante a primeira revolução industrial, é um exemplo de máquina térmica: a fornalha aquece a água da caldeira pela queima de carvão; a água na caldeira entra em ebulição; o vapor de água entra, por uma válvula quando esta está aberta, em um cilindro e empurra um pistão, acionando algum mecanismo, como a roda de um trem; posteriormente a válvula de entrada (válvula de admissão) é fechada e a válvula de saída se abre, enquanto o pistão volta para eliminar o vapor; o vapor deve então ser resfriado para poder retornar à caldeira.

Note que ao empurrar o pistão o gás realiza trabalho, assim sua energia é reduzida. É justamente através do trabalho que a energia térmica é convertida em energia mecânica.

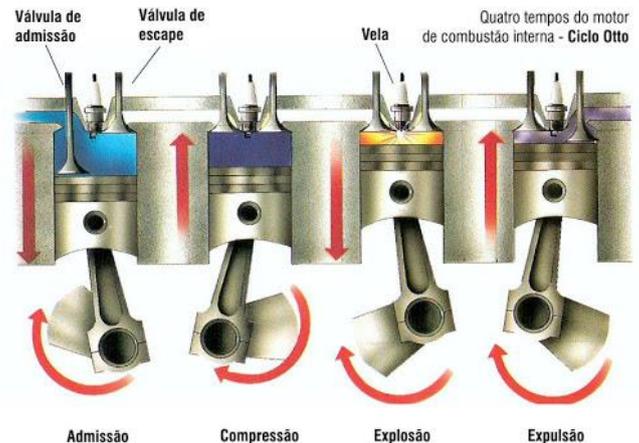


Figura 2: Motor de combustão interna.

Como o nome indica, um motor de combustão interna, diferente da máquina a vapor, realiza a queima dentro do cilindro. A expansão do gás devido à queima empurra o cilindro, fazendo-o realizar trabalho e, com isso, empurra o carro, aciona o gerador do veículo (normalmente chamado de alternador, responsável por carregar a bateria e alimentar a parte elétrica), bomba de óleo para lubrificação e outros componentes, a depender de cada veículo.

Normalmente, os veículos possuem 4 cilindros dispostos em linha. Alguns veículos, com o UP, Onix, Argo, Kwid, possuem três cilindros dispostos em linha. Existem também alguns veículos com os cilindros dispostos em V ("vê"), chamados de V seguido de um número que corresponde ao número de cilindros. Por exemplo, o Azeera V6 com 6 cilindros, ou o Mustang V8, com 8 cilindro. Existem motores usados em locomotivas ou navios com muitos cilindros, tendo motores V12, V16, V24 entre muitos outros. Se você quiser ver alguns outros tipos de motores, com inúmeras animações, o professor recomenda a wikipedia: https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_V6. Neste link você pode seguir para inúmeros outros tipos de motores.

Outro conceito importante é a cilindrada: os veículos são caracterizados sempre por um número, onde é comum dizermos

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23 /08/2022

que tal veículo é 1.0, ou 2.0, 1.4 e outros. Isso corresponde à soma dos volumes de todos os cilindros onde ocorre a queima do combustível, em litros. Por exemplo, um veículo 1.6 tem como soma de todos os volumes dos cilindros igual à 1,6 litro.

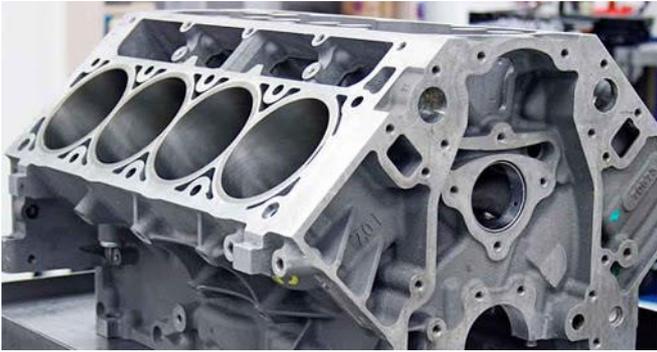


Figura 3: Fotografia que mostra o bloco de um motor V8

Os motores de combustão interna usados em veículos automotores são chamados de motores 4 tempo, como podemos ver na Figura 2: o cilindro descendo e recebendo combustível corresponde ao primeiro tempo (**admissão**); a mistura de combustível com oxigênio é comprimida, correspondendo ao segundo tempo (**compressão**); quando o ar está comprimido, ocorre uma faísca elétrica quando o veículo é movido à álcool ou gasolina, e corresponde ao terceiro tempo (**explosão**); posteriormente, o resultado da reação de combustão ocorre a expulsão do combustível, chegando finalmente ao quarto tempo (**exaustão** ou **expulsão**).

Há muitas coisas interessantes a respeito de motores, como, por exemplo, que motores a diesel não possuem vela, pois a mistura é aquecida na compressão, produzindo a queima. Além disso, como o álcool queima mais lentamente, a faísca em um motor a álcool deve ocorrer ligeiramente antes do que ocorreria num motor a gasolina. Carros flex devem ter sensores que detectam o combustível.

Muitos países, incluindo o Brasil, usam usinas termoelétricas como fontes geradoras de energia elétrica. A parte envolvendo transformação de calor em energia mecânica, para mover os geradores, funcionam de forma muito similar às máquinas a vapor, como representado na figura Figura 4.

Como podemos ver na Figura 5, o princípio de funcionamento de uma usina termonuclear é também similar ao de uma máquina a vapor: reações nucleares aquecem a água em um circuito primário; esta água do circuito primário se transforma em vapor e aquece a água de uma caldeira em um circuito secundário; a água do circuito secundário, por sua vez, vira vapor e move uma turbina, que gera energia elétrica.

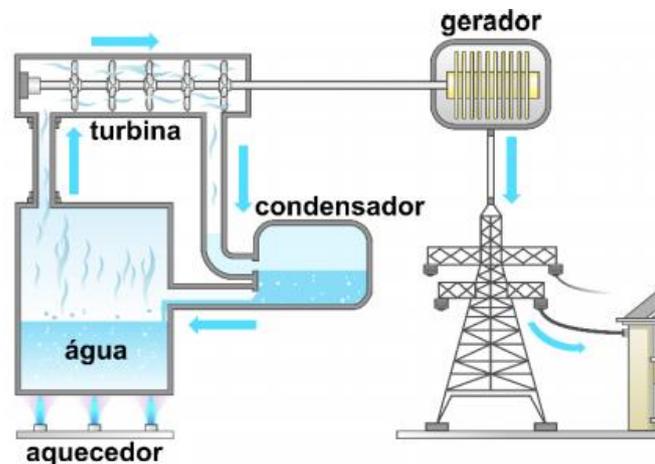


Figura 4: Usinas termoelétricas

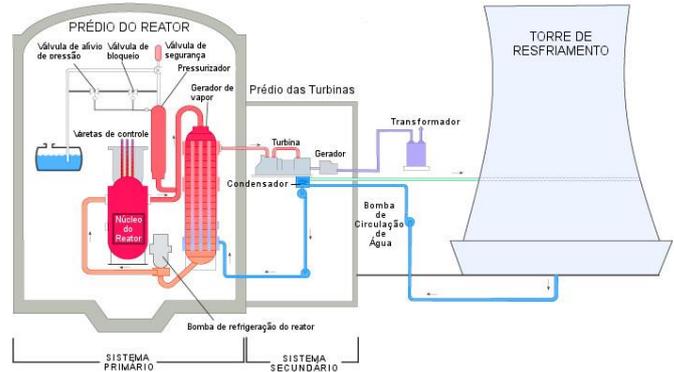


Figura 5: Usina termonuclear

Em **todos** os motores térmicos, precisamos de um sistema para resfriar o vapor de água ou controlar a temperatura do motor. Nos veículos, são os radiadores; nas usinas termoelétricas ou termonucleares, usam águas correntes de rios, água de lagos ou torres de refrigeração. Portanto, aquela “fumaça” que você vê saindo daquelas “chaminés” em usinas nucleares é, na verdade, vapor de água.

Representação geral:

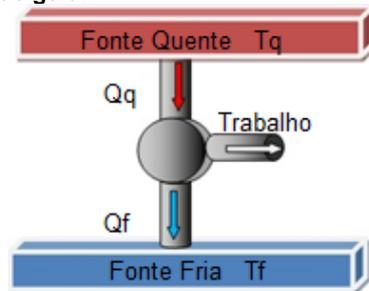
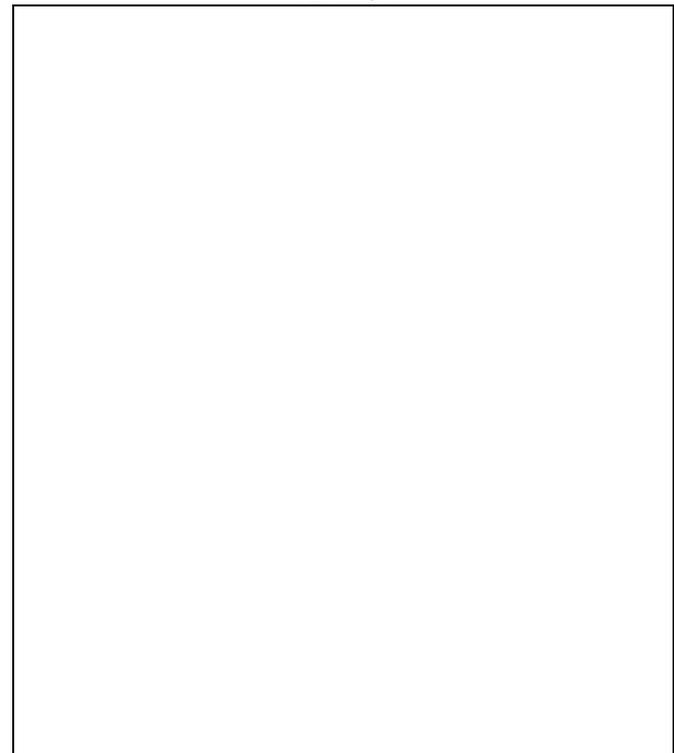


Figura 6: Representação de uma máquina térmica com uma fonte quente (quem fornece calor) e uma fonte fria (usada para refrigerar o motor). É uma representação um tanto quanto abstrata e genérica de máquinas térmicas

Q. 7 – DEFINIÇÃO E RENDIMENTO DE UMA MÁQUINA TÉRMICA



PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23 /08/2022

Q. 8 – CICLO DE CARNOT

Q. 9 – RENDIMENTO MÁXIMO POSSÍVEL (RENDIMENTO DE UMA MÁQUINA TÉRMICA OPERANDO EM UM CICLO DE CARNOT)

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

ENUNCIADO DE CLAUSIUS
(Rudolf Emanuel Clausius - 1850)

O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho.

ENUNCIADO DE KELVIN E PLANK
(Lord Kelvin e Max Plank - 1851)

É impossível, para uma máquina térmica que opera em ciclos, converter integralmente calor em trabalho.

ENTROPIA

Q. 10 – ORDEM E DESORDEM

Q. 11 – IRREVERSIBILIDADE

A entropia total de um sistema isolado nunca diminui: ou ela fica constante ou aumenta.

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23/08/2022

EXERCÍCIOS

Se necessário, nas questões a seguir, utilize os valores fornecidos abaixo:

Densidade da água = 1 g/cm^3

Aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$

$1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$

$1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

11. (Efomm 2020) Uma máquina de Carnot é projetada para operar com 200 W de potência entre fontes de calor de 200°C e 100°C . Com base nas características descritas, a quantidade de calor absorvida por essa máquina, a cada segundo, é de aproximadamente

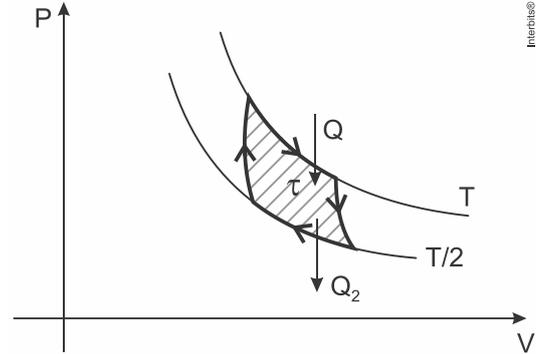
- a) 400 J
- b) 550 J
- c) 670 J
- d) 800 J
- e) 950 J

12. (Ufrgs 2020) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% , e a temperatura de sua fonte quente é 500 K . A máquina opera a uma potência de $4,2 \text{ kW}$ e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- a) $200 \text{ K} - 42 \text{ J}$.
- b) $200 \text{ K} - 420 \text{ J}$.
- c) $200 \text{ K} - 42.000 \text{ J}$.
- d) $300 \text{ K} - 42 \text{ J}$.
- e) $300 \text{ K} - 420 \text{ J}$.

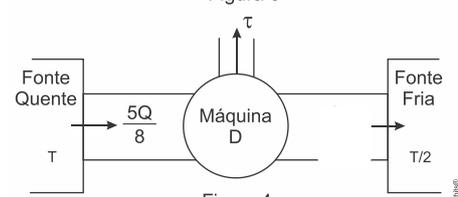
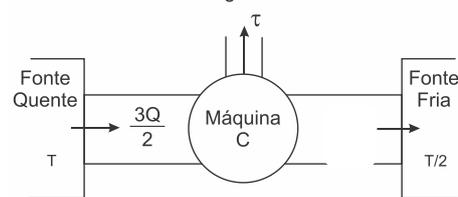
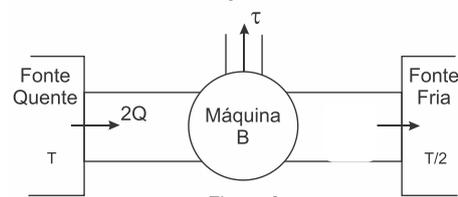
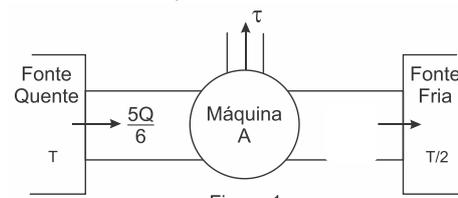
[A QUESTÃO A SEGUIR FOI ANULADA. APRESENTAMOS UMA VERSÃO MODIFICADA E COM RESPOSTA]

13. (Epcar (Afa) 2020 – MODIFICADA) Considere uma máquina térmica ideal M que funciona realizando o ciclo de Carnot, como mostra a figura abaixo.



Essa máquina retira uma quantidade de calor Q de um reservatório térmico à temperatura constante T , realiza um trabalho total τ e rejeita um calor Q_2 para a fonte fria à temperatura $\frac{T}{2}$, também constante.

A partir das mesmas fontes quente e fria projeta-se quatro máquinas térmicas A, B, C e D , respectivamente, de acordo com as figuras 1, 2, 3 e 4 abaixo; para que realizem, cada uma, o mesmo trabalho τ da máquina M .



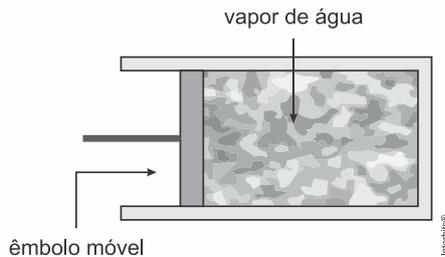
Nessas condições, as máquinas térmicas que poderiam ser construídas, a partir dos projetos apresentados, seriam

- a) A e B
- b) B e C
- c) C e D
- d) A e D

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23 /08/2022

14. (Ufjf-pism 2 2019) Uma máquina a vapor é uma máquina térmica que utiliza a pressão do vapor d'água. Considerando que o calor é uma forma de energia, este pode produzir trabalho. Conforme as leis da Termodinâmica, as máquinas a vapor operam em ciclos. James Watt (1736-1819) contribuiu de forma decisiva para a Revolução Industrial (entre a 2ª metade do séc. XVIII e a 1ª metade do séc. XIX) nos processos de melhoria no motor a vapor. Mesmo após a invenção do motor a combustão no final do sec. XIX, ainda hoje são utilizados motores térmicos – por exemplo, nas usinas nucleares – para a geração de eletricidade. Analise as afirmações a seguir a respeito de máquinas a vapor, respondendo se são verdadeiras ou falsas, **JUSTIFICANDO SUA RESPOSTA DA MANEIRA MAIS OBJETIVA POSSÍVEL.**



- a) Considere que, em determinado momento, o volume do vapor permanece constante, porque o êmbolo que pressiona o vapor travou devido a uma falha mecânica. Nesse caso, conforme a 1ª lei da Termodinâmica, toda a energia obtida na forma de calor é transformada em energia interna.
- b) De acordo com a 2ª lei da Termodinâmica, as máquinas a vapor, no decorrer de um ciclo, transformam em trabalho todo calor recebido da fonte quente, e a energia interna do vapor se mantém constante.

15. (Espcex (Aman) 2019) Considere uma máquina térmica X que executa um ciclo termodinâmico com a realização de trabalho. O rendimento dessa máquina é de 40% do rendimento de uma máquina Y que funciona segundo o ciclo de Carnot, operando entre duas fontes de calor com temperaturas de 27°C e 327°C . Durante um ciclo, o calor rejeitado pela máquina X para a fonte fria é de 500 J , então o trabalho realizado neste ciclo é de

- a) 100 J .
b) 125 J .
c) 200 J .
d) 500 J .
e) 625 J .

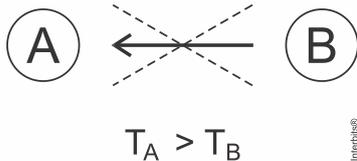
16. (Ufjf-pism 2 2020) Recipientes fechados que contêm gases podem ser expostos a grandes variações de temperatura. Eles sempre devem ter uma válvula de segurança que se abre de modo a evitar que a pressão interna se aproxime da pressão máxima a que eles resistem. Considere uma panela de pressão, tampada, contendo 1 mol de um gás ideal monoatômico, inicialmente à pressão atmosférica e à temperatura de 27°C . Esse gás é aquecido até alcançar a temperatura de 177°C . Se for necessário, considere que $1\text{ atm} = 10^5\text{ N/m}^2$, $R = 8,3\text{ J/mol}\cdot\text{K}$, $0\text{ K} = -273^\circ\text{C}$, e que a energia interna de um gás monoatômico é dada por $(3/2)nRT$.

- a) Determine a variação de pressão do gás contido na panela devido ao aquecimento, e a quantidade de calor fornecida ao gás durante este aquecimento.
- b) Suponha que a válvula de segurança esteja obstruída. Assim que o gás atinge a temperatura de 177°C , a pressão interna supera a pressão máxima suportada e a panela explode. Sendo assim, o gás experimenta uma súbita variação de temperatura (considere como processo adiabático) de 177°C para 77°C . Calcule o trabalho total realizado pelo gás sobre as partes da panela.

PROF. DANILO

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E MÁQUINAS TÉRMICAS – TOP HUMANAS – 23/08/2022

17. (Ueg 2019) Em um livro com diagramação antiga era apresentado o esquema a seguir, da troca de calor entre dois corpos A e B.



Nesse esquema o autor explica que “o calor espontaneamente não pode ir de um corpo para outro de temperatura mais alta”. Essa afirmação está de acordo com a

- transformação adiabática.
- primeira Lei da Termodinâmica.
- segunda Lei da Termodinâmica.
- propagação de calor por convecção.
- experimentação de Joule-Thompson.

18. (Uepg 2019) A termodinâmica, além da sua importância tecnológica relacionada à industrialização e aos meios de transporte, com o desenvolvimento e uso das máquinas a vapor, está intimamente relacionada com os processos físicos que envolvem trocas de calor e realização de trabalho mecânico. Em relação à termodinâmica e suas leis, assinale o que for correto.

- 01) A Lei Zero da Termodinâmica estabelece que, se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então estarão em equilíbrio térmico entre si.
- 02) A variação de energia interna de um gás ideal não depende do processo envolvido, depende apenas dos estados inicial e final.
- 04) A Segunda Lei da Termodinâmica estabelece uma regra para a troca de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes.
- 08) Carnot estabeleceu uma relação para o valor máximo de rendimento de uma máquina térmica ideal.
- 16) A Primeira Lei da Termodinâmica está relacionada com o princípio da conservação da energia.

19. (Upf 2018) São várias as reportagens veiculadas na mídia que mostram pessoas tentando construir um motor que não necessita fornecimento contínuo de energia externa para funcionar, ao que se denomina de “moto perpétuo”. Essas máquinas têm como objetivo gerar energia para manter o seu próprio movimento, bastando dar um impulso inicial e o movimento se dará de forma perpétua.

Se essa máquina funcionasse, necessariamente se estaria violando a

- Lei da Conservação de Energia.
- Primeira Lei de Newton.
- Lei da Conservação de Quantidade de Movimento.
- Lei da Gravitação Universal.
- Equação geral dos gases.

20. (Ita 2018) No livro Teoria do Calor (1871), Maxwell, escreveu referindo-se a um recipiente cheio de ar:

“... iniciando com uma temperatura uniforme, vamos supor que um recipiente é dividido em duas partes por uma divisória na qual existe um pequeno orifício, e que um ser que pode ver as moléculas individualmente abre e fecha esse orifício de tal modo que permite somente a passagem de moléculas rápidas de A para B e somente as lentas de B para A. Assim, sem realização de trabalho, ele aumentará a temperatura de B e diminuirá a temperatura de A em contradição com...”.

Assinale a opção que melhor completa o texto de Maxwell.

- a primeira lei da termodinâmica.
- a segunda lei da termodinâmica.
- a lei zero da termodinâmica.
- o teorema da energia cinética.
- o conceito de temperatura.

GABARITOS

1. A 2. C 3. A 4. D 5. E
6. C

7. a) $T_{CD} = 300K$.

b) $Q_{CD} = -3.700J$.

O sinal (-) indica que o calor foi liberado; ou seja, o gás libera 3.700 J de calor.

8. $04 + 08 = 12$.

9. a) $T = 800 K = 527 ^\circ C$.

b) Pela 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$Q = \tau + \Delta U$$

Como não há troca de calor com o ambiente durante a compressão, devemos ter que:

$$Q = 0 \text{ e } \tau < 0$$

Logo:

$$0 = \tau + \Delta U \Rightarrow \Delta U = -\tau \Rightarrow \Delta U > 0$$

Como ΔU é proporcional a ΔT , este deve ter uma variação positiva.

10. C 11. E 12. E 13. B*

*Questão original anulada. Esta questão foi modificada para ter gabarito.

14. a) **Verdadeira:** Travando-se o êmbolo, não há realização de trabalho ($W = 0$). Pela conservação da energia, todo calor (Q) é transformado em energia interna (ΔU).

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = Q$$

Aplicando a 1ª Lei:

b) **Falsa:** a afirmação contraria a 2ª lei da Termodinâmica que, segundo o enunciado de Kelvin-Planck: *É impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta toda a quantidade de calor recebido em trabalho.*

15. B

16. a) $p_2 = 1,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ e $Q = 1867,5 \text{ J}$.

b) $\tau = 1245 \text{ J}$.

17. C

18. $01 + 02 + 04 + 08 + 16 = 31$.

19. A 20. B

RESOLUÇÃO COMPLETA

Confira na Figura 7 [a resolução completa desta lista](#).



Figura 7: Escaneie este QR-Code ou clique nele, se estiver no pdf, para acessar a resolução completa dos exercícios desta lista.