



# ITA 2023



## TERMODINÂMICA (II)

AULA 05

MÁQUINA TÉRMICAS E ENTROPIA

Prof. Vinícius Fulconi





# Sumário

Apresentação do Professor	4
1. MÁQUINAS TÉRMICAS E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	5
2. MOTORES	5
2. REFRIGERADOR/AQUECEDOR	7
3. A EQUIVALÊNCIA ENTRE OS ENUNCIADOS DE KELVIN-PLANCK E CLAUSIUS	10
4. REVERSIBILIDADE	11
5. O CICLO DE CARNOT	14
6. A ESCALA ABSOLUTA TERMODINÂMICA	20
7. OUTROS CICLOS TERMODINÂMICOS FAMOSOS	21
2.7.1. CICLO OTTO	21
2.7.2. CICLO DE JOULE	23
2.7.3. CICLO DIESEL	24
8. IRREVERSIBILIDADE, DESORDEM E ENTROPIA	28
ENTROPIA DE UM GÁS IDEAL	29
VARIÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA EXPANSÃO ISOTÉRMICA DE UM GÁS IDEAL	29
VARIÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA EXPANSÃO LIVRE DE UM GÁS IDEAL.	30
VARIÇÃO DA ENTROPIA PARA PROCESSOS À PRESSÃO CONSTANTE	32
VARIÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA COLISÃO PERFEITAMENTE INELÁSTICA	33
VARIÇÃO DE ENTROPIA PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE UM RESERVATÓRIO PARA OUTRO	34
3.1.6. VARIÇÃO DE ENTROPIA PARA UM CICLO DE CARNOT	35
O DIAGRAMA $T \times S$ NO CICLO DE CARNOT	36
ENTROPIA E A DISPONIBILIDADE DE ENERGIA	37
O DEMÔNIO DE MAXWELL	39
ENTROPIA E PROBABILIDADE	40
Lista de questões	42
Nível 1	42
Nível 2	57
Nível 3	99
Resolução	129
Nível 1	129



Nível 2	153
Nível 3	222
Considerações finais	290



## Apresentação do Professor

Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!

Sou o professor Vinícius Fulconi, tenho vinte e cinco anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Militares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você nunca vai passar no ITA!* Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiram! Entretanto, eu preferi negritar e gravar “*Você vai passar no ITA!*”

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Sonhos

Perseverança e  
trabalho duro

Realizações

Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em uma das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Militares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: O que é necessário para começar esse curso?



**ALERTA!**

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**



## 1. MÁQUINAS TÉRMICAS E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Como vimos na primeira lei, a energia é sempre conservada. A segunda lei busca analisar a viabilidade de se colocar o uso dessa energia. Frequentemente, cientistas e engenheiros buscam máquinas térmicas (dispositivos que transformam calor em trabalho) com a melhor eficiência.

Vimos que em um ciclo termodinâmico, podemos escrever que:

$$\Delta U_{ciclo} = 0 \Rightarrow \tau_{ciclo} = Q_{ciclo}$$

Podemos dividir nossas máquinas em duas categorias:

- Motor:  $Q \rightarrow \tau$ .
- Refrigerador/Aquecedor:  $\tau \rightarrow Q$ .

## 2. MOTORES

Vamos fazer um esquema simples que representa um motor:

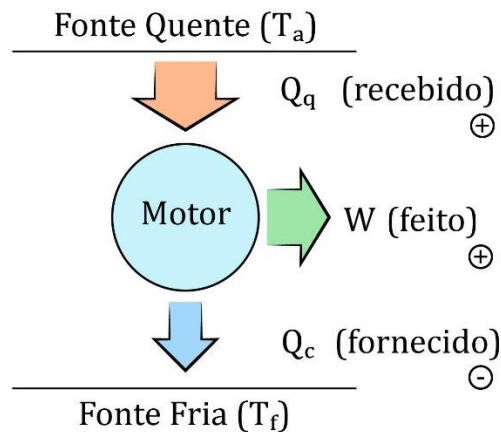


Figura 1: Esquema representativo de um motor recebendo calor da fonte quente, realizando trabalho e rejeitando calor para a fonte fria.

Para o ciclo, temos:

$$\tau_{ciclo} = Q_{ciclo} \Rightarrow \tau = Q_Q + Q_F$$

$$\tau = Q_Q - |Q_F|$$

Definimos *rendimento de uma máquina térmica* ( $\eta$ ) como sendo a razão entre o trabalho realizado pela máquina e o calor retirado do reservatório de alta temperatura:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_Q} = \frac{Q_Q - |Q_F|}{Q_Q} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_Q}$$

Olhando para o rendimento de uma máquina térmica, vemos que se desejamos maximizar a eficiência, basta pegar o menor valor possível para  $\frac{|Q_F|}{Q_Q}$ . Para minimizar esse resultado, precisamos diminuir ao máximo  $|Q_F|$  e aumentar  $Q_Q$ , o que representa transformar todo o calor proveniente da fonte quente em trabalho no ciclo. Entretanto, por mais que desejamos diminuir  $|Q_F|$ , ele nunca será zero. Tal fato foi enunciado por Kelvin-Planck pelo seguinte teorema:





“É impossível construir uma máquina térmica cíclica que consiga retirar todo calor da fonte quente e transformá-lo integralmente em trabalho.”

Esse enunciado é conhecido como a Segunda Lei da Termodinâmica para máquinas térmicas.

Em outras palavras:

$$\eta = 100\% \rightarrow \text{impossível}$$

Podemos representar a transformação de calor em trabalho pelo sentido gráfico:

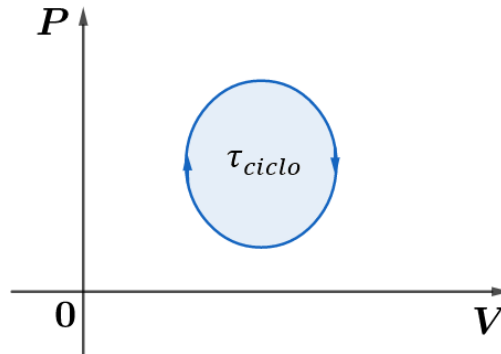


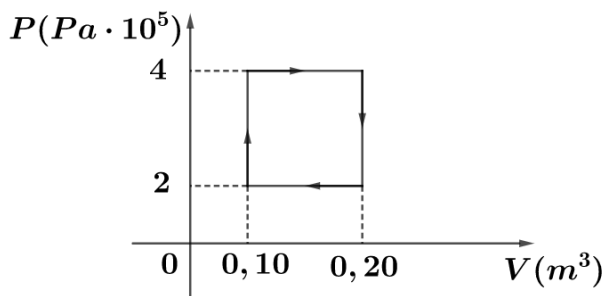
Figura 2: Trabalho de um ciclo termodinâmico qualquer.

A área interna do ciclo representa, numericamente, o trabalho que se obtém na máquina.



**Exemplo:**

O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado e o calor absorvido, por ciclo. Calcule o rendimento de uma máquina térmica que segue o ciclo descrito pelo diagrama, sabendo que ela absorve  $8 \cdot 10^4$  J de energia térmica por ciclo.



**Comentários:**

Pelo ciclo podemos calcular o trabalho realizado pelo gás no ciclo, fazendo o cálculo da área da região interna:

$$\tau = (4 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5) \cdot (0,20 - 0,10) \Rightarrow \tau = 2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Note que a energia térmica fornecida no enunciado é justamente o calor fornecido pela fonte quente.



Portanto, o rendimento desse motor pode ser expresso por:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_Q} = \frac{2 \cdot 10^4}{8 \cdot 10^4} = \frac{1}{4}$$

$$\eta = 25 \%$$

## 2. REFRIGERADOR/AQUECEDOR

Como já vimos, o calor não sai da fonte fria para a fonte quente espontaneamente. Para que isso ocorra, é necessário fornecer uma certa quantidade de trabalho. Vamos representar uma máquina frigorífica da seguinte forma:

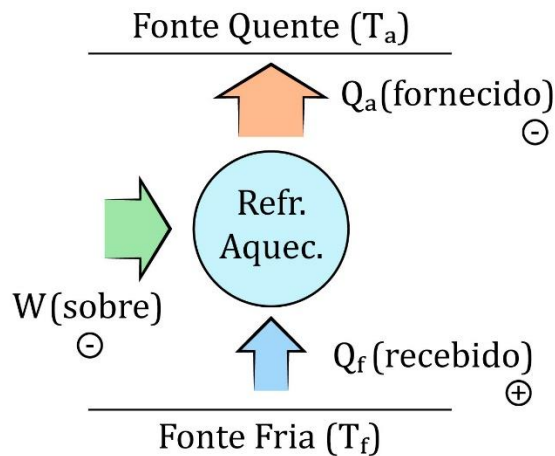


Figura 3: Representação esquemática de um refrigerador/aquecedor.

Aplicando a primeira lei da termodinâmica para uma máquina frigorífica, temos:

$$\Delta E_{int} = 0 \Rightarrow \tau_{ciclo} = Q_Q + Q_F$$

Note que o trabalho sobre o gás é negativo e o calor quente é retirado da máquina, logo:

$$\tau_{ciclo} < 0 \text{ e } Q_Q < 0$$

Algebricamente, podemos escrever que:

$$-|\tau_{ciclo}| = -|Q_Q| + Q_F$$

$$\therefore | \tau_{ciclo} | + | Q_F | = Q_Q$$

Para uma máquina frigorífica não definimos rendimento mas sim *eficiência* ( $\epsilon$ ). Chamamos de eficiência ( $\epsilon_R$ ) de uma máquina frigorífica a relação entre a quantidade de calor retirada da fonte fria ( $Q_F$ ) e o trabalho necessário para essa transferência. Isto é:

$$\epsilon_R = \frac{|Q_F|}{|\tau_{ciclo}|} = \frac{|Q_F|}{|Q_Q| - |Q_F|}$$

Se olharmos para o reservatório da fonte fria, estamos tirando calor dele, portanto, temos uma máquina de refrigeração. Por outro lado, se olharmos para a fonte quente, estamos fornecendo calor para ela, então, temos uma máquina de aquecimento. Podemos definir a eficiência do aquecedor ( $\epsilon_A$ ) como sendo:



$$\varepsilon_A = \frac{|Q_Q|}{|\tau_{ciclo}|} = \frac{|Q_Q|}{|Q_Q| - |Q_F|}$$

Matematicamente, podemos ver que:

$$\varepsilon_A - \varepsilon_R = \frac{|Q_Q|}{|Q_Q| - |Q_F|} - \frac{|Q_F|}{|Q_Q| - |Q_F|} = \frac{|Q_Q| - |Q_F|}{|Q_Q| - |Q_F|}$$

$$\therefore \boxed{\varepsilon_A - \varepsilon_R = 1}$$

Como já sabemos, quando colocamos um corpo aquecido em contato direto com um corpo frio, o calor será transferido do corpo quente para o corpo frio até que ambos estejam na mesma temperatura. Entretanto, o inverso nunca ocorre. Ou seja, o calor não é transferido do mais frio para o mais quente, deixando o corpo mais frio e o outro mais quente.

Este fato experimental foi enunciado por Clausius e é conhecido como a Segunda Lei da Termodinâmica para refrigeradores:

É impossível construir uma máquina térmica (refrigerador) que opere em ciclos consiga transmitir integralmente calor da fonte fria à fonte quente.

Em outras palavras:

é impossível  $\varepsilon_R \rightarrow \infty$

Observe que a 1ª Lei da Termodinâmica apenas traz a ideia de conservação de energia em todos os processos naturais, mas ela não diz nada a respeito da probabilidade ou possibilidade de ocorrência de determinado evento.

Imagine um corpo em movimento em uma determinada superfície com atrito. Sabemos que se ele tem uma certa energia cinética inicial, tal energia será convertida em calor, conforme prevê a Primeira Lei da Termodinâmica. Entretanto, se fornecermos calor ao corpo puramente através de uma fonte quente, ele não entrará em movimento, adquirindo a energia cinética inicial. Note que a primeira lei nada fala sobre a possibilidade de ocorrência desse evento.

Na verdade, a segunda lei tem um caráter estatístico, revelando que os processos naturais apresentam um sentido preferencial de ocorrência, buscando sempre que o sistema, espontaneamente, vá para um estado de equilíbrio.

Observe que dissemos o sentido preferencial, pois na verdade, a segunda lei não afirma qual transformação é possível (entre duas), mas sim a que tem maior probabilidade de ocorrer.

Vamos citar alguns exemplos assimétricos da natureza que evidenciam a segunda lei:

- Quando colocamos em contato dois corpos com temperaturas diferentes, haverá passagem de calor, espontaneamente, do mais quente para o mais frio, até alcançarem a temperatura de equilíbrio térmico. Como vimos, a passagem de calor do corpo frio para o corpo quente não ocorre de forma espontânea. Para que isso aconteça é necessário fornecimento de energia na forma de trabalho.





- Quando uma gota de tinta for colocada em um líquido, as partículas dessa gota se dispersarão espontaneamente, até que todo o líquido fique tingido. Não é impossível, mas altamente improvável, que as partículas da tinta se reúnam, de modo espontâneo, de forma a restaurar a gota original.
- Se conectarmos dois recipientes, o primeiro contendo hélio e o segundo nitrogênio, espontaneamente esses gases se misturarão. Embora seja altamente improvável, não é impossível que, em um dado instante, as moléculas se separem, de forma espontânea, restaurando a configuração inicial.

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Uma geladeira retira, por segundo, 1000 kcal do congelador, enviando para o ambiente 1200 kcal. Considere 1 kcal = 4,2 kJ.

A potência do compressor da geladeira vale:

- a) 700 kW
- b) 800 kW
- c) 840 kW
- d) 600 kW
- e) 500 kW

**Comentários:**

Primeiramente, vamos lembrar que  $W = J/s$  e note que ele forneceu as quantidades de energia por segundo. Logo, o trabalho fornecido pelo compressor, por segundo, é de:

$$|\tau_{ciclo}| + |Q_F| = Q_Q$$

$$|\tau_{ciclo}| + 1000 = 1200$$

$$|\tau_{ciclo}| = 200 \text{ cal (por segundo)}$$

Transformando em joules, temos:

$$|\tau_{ciclo}| = 200 \cdot 4,2 = 840 \text{ J (por segundo)}$$

Portanto, a potência do compressor é de 840 joules por segundo, isto é, 840 W.

INDO MAIS  
FUNDO!





### 3. A EQUIVALÊNCIA ENTRE OS ENUNCIADOS DE KELVIN-PLANCK E CLAUSIUS

Embora os enunciados para máquinas térmicas (Kelvin-Planck) e para refrigeradores (Clausius) da segunda lei pareçam diferentes, na verdade eles são equivalentes.

Os enunciados são:

1. Máquinas térmicas (Kelvin-Planck): “É impossível construir uma máquina térmica cíclica que consiga retirar todo calor da fonte quente e transformá-lo integralmente em trabalho.”
2. Refrigerador (Clausius): “É impossível construir uma máquina térmica (refrigerador) que opere em ciclos consiga transmitir integralmente calor da fonte fria à fonte quente.”

Para provar essa equivalência, vamos utilizar um exemplo e mostra que se o enunciado para máquinas térmicas é falso, então o enunciado para refrigeradores também é falso.

Vamos admitir que a afirmação de Clausius é falsa, ou seja, é possível transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente, sem a necessidade de quaisquer outros efeitos. Com isso, vamos construir uma máquina que remove 100 J de energia de uma fonte quente, realiza 40 J de trabalho e rejeita 60 J de calor para o reservatório frio.

Então, nossa máquina hipotética tem rendimento de 40 % ( $\eta = \frac{\tau}{Q_Q} = \frac{40}{100} = 0,4$ ). Se admitirmos que o enunciado de Clausius não fosse verdadeiro, então poderíamos utilizar um refrigerador perfeito para tirar 60 J de energia da fonte fria e levá-los para a fonte quente, sem a necessidade de qualquer trabalho.

Assim, o refrigerador perfeito teria o papel de tirar 40 joules da fonte quente e produzir 40 J de trabalho, criando a máquina perfeita, o que viola o enunciado de Kelvin-Planck, já que nenhuma energia está sendo rejeitada para nenhuma parte. Logo, o enunciado de Kelvin-Planck também seria falso. Esquemáticamente, temos:

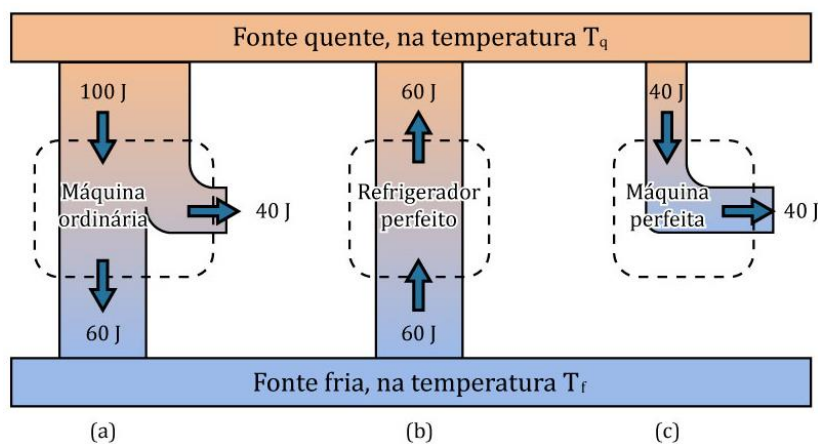


Figura: Esquema representativo de uma máquina simples, que remove 100 J de calor de uma fonte quente, realiza 40 J de trabalho e rejeita 60 J para a fonte fria. Se o enunciado de Clausius para a segunda lei fosse falso, então um refrigerador perfeito (b) poderia retirar 60 J de calor da fonte fria e rejeitá-los para a fonte quente sem realizar ou consumir trabalho algum. Como efeito total, teríamos uma máquina térmica operando com o refrigerador, como mostrado em (a) e em (b), capaz de remover 40 J da fonte quente e converter completamente em trabalho, sem qualquer outro efeito, violando o enunciado de Kelvin-Planck.



Agora, vamos admitir que o enunciado de Kelvin-Planck seja falso e mostraremos que o enunciado de Clausius não será verdadeiro.

Para isso, vamos tomar um refrigerador comum, que remove 100 J de energia de uma fonte fria, utiliza 50 J de trabalho e rejeita 150 J de calor para a fonte quente. Se o enunciado de Kelvin-Planck fosse falso, então poderíamos criar uma máquina térmica perfeita que remova energia de uma única fonte e converta-a, integralmente, em trabalho, ou seja, com rendimento de 100 %.

Dessa forma, a máquina perfeita que idealizamos poderia remover 50 J de energia do reservatório quente e realizar 50 J de trabalho. Com isso, poderíamos pensar que o resultado líquido do refrigerador seria a transferência de 100 J de calor do reservatório frio para o quente, sem a necessidade de trabalho, o que contradiz com o enunciado de Clausius. Podemos esquematizar esse processo da seguinte forma:

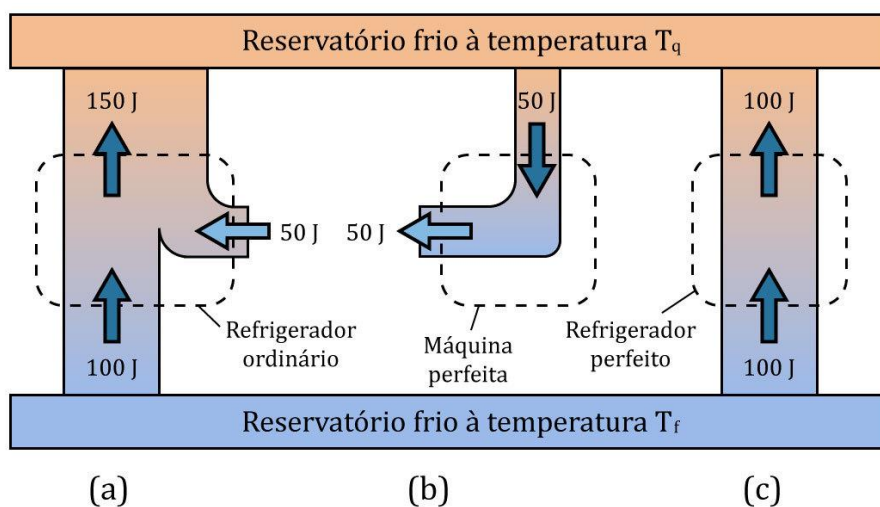


Figura: Em (a), o refrigerador comum remove 100 J de um reservatório frio, quando recebe 50 J de trabalho. Com isso, uma máquina térmica perfeita (b) viola o enunciado da 2ª lei para máquinas térmicas, absorvendo 50 J da fonte quente e transformando-os integralmente em trabalho. Dessa forma, podemos colocar os dois juntos e temos o refrigerador perfeito que viola o enunciado da 2ª lei para refrigeradores, pois são retirados 100 J da fonte fria e transformando-os em calor para fonte quente, sem qualquer outro efeito.

Diante disso, se o enunciado de Kelvin-Planck é falso, então o enunciado de Clausius também será. Portanto, as duas formulações para a Segunda Lei da Termodinâmica são equivalentes.



## 4. REVERSIBILIDADE

Vamos imaginar um simples processo de transferência de calor  $Q$  de uma fonte quente para uma outra fria. Pelo enunciado de Clausius, é impossível remover essa quantidade calor  $Q$  de volta para a fonte quente, sem provocar uma outra modificação nas vizinhanças (realização de trabalho).

Se utilizarmos um refrigerador para retirar a quantidade de calor  $Q$  da fonte fria, iremos transferir a quantidade de calor  $Q + \tau$  para a fonte quente, em que  $\tau$  é o trabalho realizado sobre o



refrigerador. Assim, a energia  $\tau$  teria sido perdida pelas vizinhanças do sistema para que houvesse uma quantidade extra, igual a  $\tau$ , transferida para a fonte quente.

Pelo enunciado de Kelvin-Planck, não podemos remover este calor de uma fonte quente e transformá-lo completamente em trabalho. Qualquer que seja o CICLO, deve haver uma etapa em que parte do calor é rejeitada para as vizinhanças.

Note que o processo de condução de calor de um corpo quente para um outro frio é *irreversível*, pois não podemos retornar o sistema ao estado inicial, sem provocar uma modificação permanente nas vizinhanças.

Podemos definir *irreversibilidade* como sendo:

Qualquer processo em que o sistema e as suas vizinhanças não podem retornar aos respectivos estados iniciais.

Note que o conceito de irreversibilidade está profundamente relacionado com a 2ª Lei de Termodinâmica.

Na natureza, existem muitos processos irreversíveis. Podemos dizer que todo processo que transforma energia mecânica em energia interna é irreversível. Por exemplo, um corpo escorregando sobre uma mesa que possui atrito é irreversível. Neste caso, não podemos extrair o aumento da energia interna do corpo e da superfície, convertendo novamente em energia mecânica.

Um processo irreversível importante é a expansão livre adiabática de um gás, de um compartimento cheio para outro vazio (expansão livre de Joule). Embora este processo não realize trabalho, não troque calor e não haja modificação da energia interna, é impossível simplesmente invertê-lo.

Note como a irreversibilidade está intimamente ligada com a segunda lei. Vamos hipoteticamente tomar um gás na temperatura  $T$  que se expande livremente do volume  $V_1$  até o volume  $V_2$ . Como já vimos, a temperatura final será  $T$ , dado que o gás é ideal, já que não houve variação da energia interna do gás.

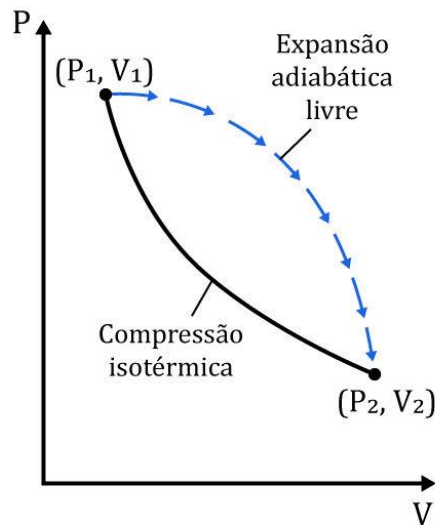
Podemos voltar o gás ao volume inicial por meio de uma compressão isotérmica, fazendo um trabalho  $\tau$  e retirando uma quantidade de calor  $Q = \tau$ , que é rejeitada para o reservatório com temperatura  $T$ .

Sabemos que a compressão isotérmica é irreversível e a combinação da expansão livre adiabática com a compressão isotérmica coloca novamente o gás no estado inicial. Entretanto, é necessário converter uma certa quantidade de trabalho  $\tau$  em energia para o reservatório à temperatura  $T$ .

Pelo enunciado de Kelvin-Planck, é impossível converter integralmente esta energia em trabalho, não realizando outras modificações na vizinhança, o processo completo torna-se irreversível.



Portanto, podemos dizer que a expansão livre adiabática é irreversível e se o gás já está expandido, então ele não retorna espontaneamente ao seu volume inicial, conforme representado no diagrama  $PV$  logo abaixo:



*Figura: Indicamos a expansão livre do gás pela linha de setas. Ela não pode ser representada no diagrama  $PV$  por uma curva, já que o processo não é quase-estático e o gás não percorre sucessivas etapas de equilíbrio. O gás pode retornar ao estado inicial por uma compressão isotérmica reversível, convertendo trabalho em calor. Entretanto, o ciclo como um todo não pode ser invertido, pois o calor não pode ser convertido inteiramente em trabalho, sem qualquer outra alteração nas vizinhanças. Logo, a expansão adiabática livre é irreversível.*

Diante dessas considerações, podemos caracterizar um processo reversível pelas condições necessárias:

- Não ter trabalho realizado pelo atrito, por forças viscosas ou qualquer outro tipo de força dissipativa que produza calor.
- As trocas de calor ocorrem devido a variações de temperatura infinitamente pequena ( $\Delta T \rightarrow dT$ ).
- O processo dever ser quase-estático, tal que o sistema sempre esteja num estado infinitamente próximo do estado de equilíbrio.

Assim, se um processo viole qualquer uma dessas condições, então ele será irreversível. Na natureza, grande parte dos processos são irreversíveis.

Para termos um processo reversível devemos satisfazer as condições listadas acima de forma completa. Por isso, na prática é praticamente impossível realizar um processo que seja reversível por completo. Contudo, podemos fazer algumas aproximações e termos processos bem próximos de um reversível.

Vamos agora tomar como exemplo uma expansão isobárica de um gás com volume inicial  $V_1$  e volume final  $V_2$ . Para que este processo seja reversível, devemos ter que o calor seja fornecido quase isotermicamente, isto é, não há condução de calor através de uma diferença finita de temperatura. Dessa forma, podemos nos aproximar do processo isobárico realizando uma sucessão de processos alternados, isotérmicos e adiabáticos quase-estáticos, como mostra a figura abaixo:



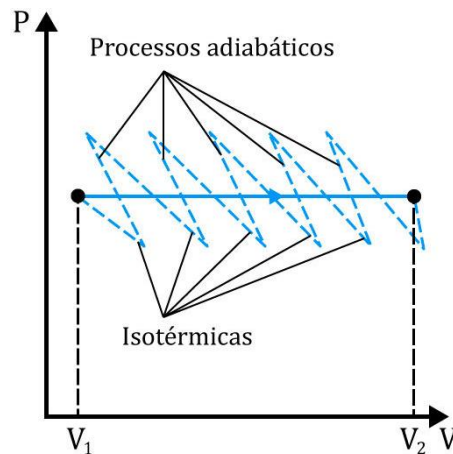


Figura: Representação de uma expansão quase-estática em pressão constante. Podemos considerar o processo como sendo reversível, pois trata-se de uma sequência de isotermas e de adiabáticas reversíveis, com a aproximação que quisermos. Dessa forma, qualquer processo quase-estático pode ser realizado de forma praticamente reversível, utilizando muitas fontes térmicas, de tal forma que o calor trocado o seja sempre isotermicamente.

Assim, com uma grande quantidade de fontes térmicas, é possível fazer esta sequência se aproximar o quanto queiramos do processo isobárico. Com isso, efetuaremos trocas de calor nas isotérmicas entre o sistema e uma fonte na mesma temperatura.

Diante disso, podemos fazer qualquer outro processo quase-estático, em um diagrama  $PV$ , ser aproximado de um processo reversível constituído por uma série de isotermas e adiabáticas quase-estáticas.



## 5. O CICLO DE CARNOT

Antes de a primeira lei ter sido enunciada, Sadi Carnot, um jovem engenheiro francês, desenhou uma máquina ideal que trabalhava entre duas fontes térmicas e descobriu que existia um limite teórico para o rendimento dessa máquina, imposto pelas temperaturas das fontes térmicas.

Hoje, conhecemos essa máquina como máquina térmica de Carnot, que efetua o ciclo de Carnot.

Os trabalhos de Carnot podem ser expressos num teorema simples, mas muito importante para a termodinâmica, famigerado como *teorema de Carnot*:

Nenhuma máquina térmica que opera entre duas fontes térmicas pode ter rendimento superior ao de uma máquina funcionando reversivelmente entre estas mesmas fontes.

Vamos provar este teorema utilizando a segunda lei. Para isso, vamos imaginar uma máquina operando reversivelmente entre duas fontes térmicas. Se supormos que ela recebe 100 joules de calor da fonte quente, realiza 40 joules de trabalho e rejeita 60 joules de calor para a fonte fria, como representado na figura 32a. Note que seu rendimento é de 40 %.

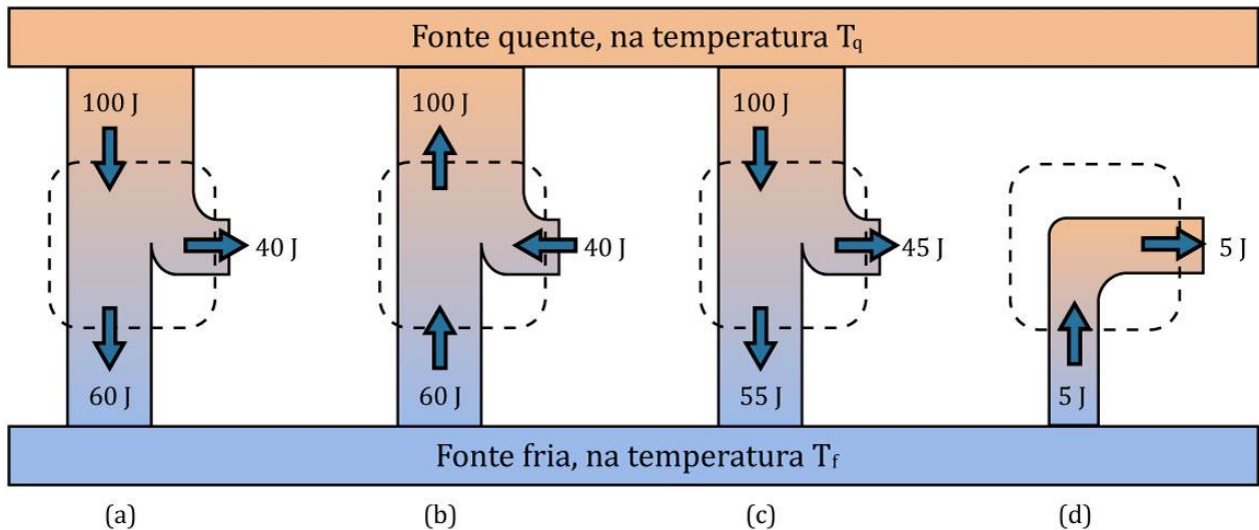


Figura: Esquema representativo para o teorema de Carnot.

Se a máquina opera em um ciclo reversível, então ela pode operar no sentido inverso, isto é, absorver 60 joules de calor da fonte fria e enviando 100 joules para a fonte quente, recebendo um trabalho de 40 joules, como representa a figura 32b.

Agora, vamos considerar uma outra máquina térmica que pode ou não operar reversivelmente e mostraremos que se o seu rendimento for maior que o da primeira, então a segunda lei pode ser violada.

Suponhamos que essa máquina é utilizada para retirar 100 joules de energia da fonte quente. Já que estamos admitindo que ela pode ter rendimento maior que 40 %, ela pode realizar um trabalho maior que 40 joules (45 joules, por exemplo) e rejeitar 55 joules de calor para fonte fria, como mostra o esquema da figura 32c.

Se empregarmos a máquina reversível como um refrigerador, então ao combinarmos as duas máquinas o efeito seria a remoção de 5 joules de calor da fonte fria e sua total transformação em trabalho, como representado na figura 32d, o que viola o enunciado de Kelvin-Planck.

Literalmente, podemos fazer a prova do teorema utilizando quantidades quaisquer de calor recebido ou cedido, e de trabalho efetuado, conforme representado no esquema abaixo:

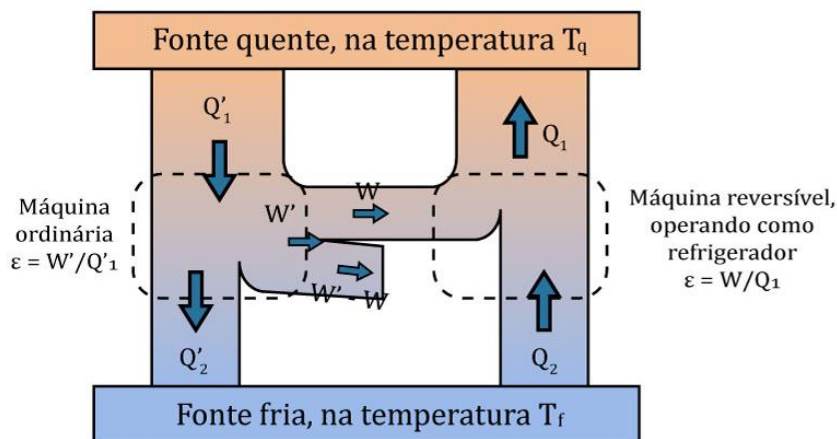


Figura: Esquema do teorema de Carnot, para quaisquer valores de calor e de trabalho. Note que a máquina térmica opera ao contrário, como um refrigerador, tirando calor  $Q_2$  da fonte fria e rejeitando  $Q_1$  para a fonte quente, consumindo o trabalho  $W$ . Se uma outra máquina tenha rendimento maior que a reversível, então ela pode remover um calor  $Q'_1 = Q_1$  da fonte quente e realizar o trabalho  $W' > W$ . Dessa forma,



*podemos usar o trabalho  $W$  para operar o refrigerador. Com isso, o resultado das duas máquinas seria a remoção de  $Q_2 - Q'_2$  da fonte fria e sua completa conversão em trabalho  $W' - W$ .*

Nesse esquema, o calor recebido na máquina ordinária ( $Q'_1$ ) é igual ao calor rejeitado pela máquina reversível  $Q_1$  (refrigerador). Se o rendimento da máquina ordinária é maior que o da máquina reversível, então o trabalho  $\tau'$  é maior que o trabalho  $\tau$  (energia necessária para operar a máquina reversível como um refrigerador).

Assim, o efeito líquido do funcionamento conjunto das duas máquinas é a remoção da quantidade de calor  $Q_2 - Q'_2$  do reservatório frio e a sua transformação completa em trabalho.

Podemos fazer o seguinte balanço de energia para cada máquina:

$$\begin{cases} |Q'_1| = |Q'_2| + |\tau'| \\ |\tau| + |Q_2| = |Q_1| \end{cases}$$

Como  $|Q'_1| = |Q_1|$ , então  $|Q_2| - |Q'_2| = |\tau'| - |\tau|$ .

Por outro lado, se o rendimento da máquina ordinária for menor que o da máquina reversível, então não há qualquer violação da segunda lei. O resultado líquido da operação conjunta é a transformação de trabalho em energia interna do reservatório frio.

Dessa forma, mostramos que o rendimento de uma máquina reversível é sempre maior ou no mínimo igual ao rendimento de qualquer outra máquina térmica que opera entre as mesmas fontes térmicas, conforme enuncia o teorema de Carnot.

Um corolário importante do teorema de Carnot diz que:

.....  
Todas as máquinas térmicas reversíveis que operam entre as mesmas temperaturas extremas, têm o mesmo rendimento.  
.....

Note que essa é uma consequência direta do teorema de Carnot, já que ele afirma que o rendimento de qualquer das máquinas reversíveis é maior ou igual ao rendimento de uma outra qualquer. Então, se olharmos para a segunda, ela teria um rendimento maior ou igual ao da primeira. Logo, como as duas não podem ter ao mesmo tempo rendimentos maiores um do outro, então as duas máquinas terão rendimentos iguais.

Podemos enunciar o teorema de Carnot para o funcionamento de refrigeradores:

.....  
Nenhum refrigerador que opere entre duas fontes térmicas, pode ter eficiência maior que a de um refrigerador reversível operando entre as mesma duas fontes.  
.....

O corolário é expresso da seguinte forma:

.....  
Todos os refrigeradores reversíveis, que operam entre as mesmas duas fontes térmicas, têm o mesmo coeficiente de eficiência.  
.....



Dado que o ciclo de Carnot é reversível, devemos ter que a transferência de calor deve ser feita sem diferenças finitas de temperaturas, pois, do contrário, a transferência seria irreversível. Portanto, a máquina deve receber e rejeitar calor de forma isotérmica. Se admitirmos que o gás esteja inicialmente na temperatura  $T_Q$  (fonte quente), então o gás se expande isotermicamente até o ponto 2. Durante a expansão, o gás realiza trabalho e absorve a quantidade de calor  $Q_1$  da fonte quente.

Admitiremos que o calor é recebido isotermicamente e quase-estaticamente, de modo que a expansão é reversível. Se o gás é ideal, então, pela primeira lei da termodinâmica, o trabalho é igual ao calor absorvido:

$$\Delta U = Q_{entra} - \tau_{pelo\ gás} \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q_{1 \rightarrow 2} = \tau_{1 \rightarrow 2}$$

Lembrando que o trabalho em uma transformação isotérmica é dado por:

$$\tau_{iso} = Q_{iso} = n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

Então:

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \tau_{1 \rightarrow 2} = n \cdot R \cdot T_Q \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (eq. 1)$$

Observação: essa afirmação não seria verdadeira caso o gás fosse real.

Após remover o gás do contato térmico com a fonte quente, ele sofre uma expansão quase-estática e adiabática, até atingir a temperatura  $T_F$  da fonte fria, no ponto 3.

Assim, podemos escrever que:

$$T \cdot V^{\gamma-1} = constante$$

$$T_Q \cdot V_2^{\gamma-1} = T_F \cdot V_3^{\gamma-1} \quad (eq. 2)$$

Em seguida, o gás é comprimido isotermicamente em contato com a fonte fria até o ponto 4. Então, novamente temos:

$$Q_{3 \rightarrow 4} = \tau_{3 \rightarrow 4} = n \cdot R \cdot T_F \cdot \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) \quad (eq. 1)$$

Note que durante essa compressão, realiza-se trabalho sobre o gás e ele rejeita calor para a fonte fria.

Por fim, o gás é comprimido adiabaticamente e quase-estaticamente, até atingir a temperatura inicial  $T_Q$ , fechando o ciclo. Podemos representar o ciclo de Carnot da seguinte forma:

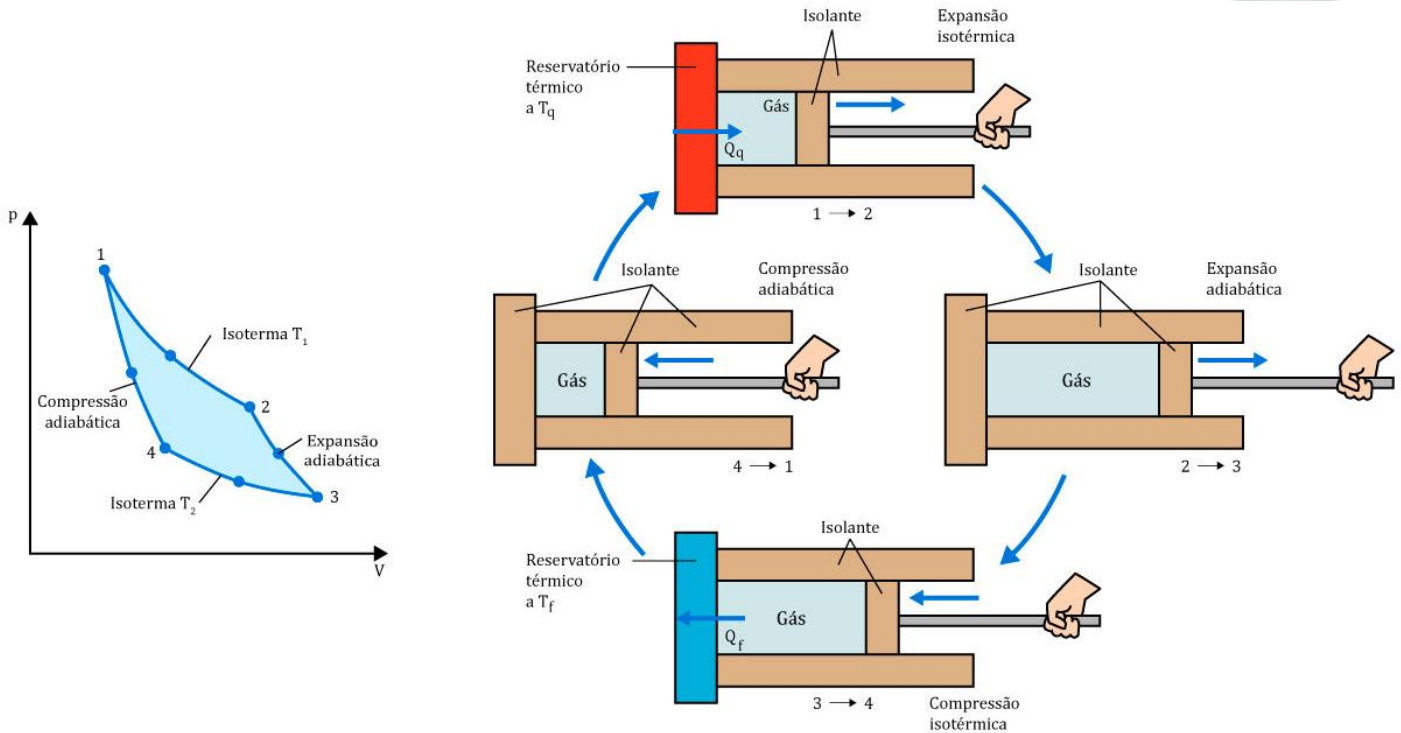


Figura: Representação de um ciclo de Carnot e seu diagrama P – V.

Sabemos que área interna ao ciclo é numericamente igual ao trabalho. Além disso, pela primeira lei da termodinâmica temos que:

$$\tau_{ciclo} = Q_{ciclo} \Rightarrow \tau_{ciclo} = Q_{1 \rightarrow 2} + Q_{3 \rightarrow 4} \text{ (eq. 3)}$$

Além disso, da compressão adiabática, temos:

$$T_F \cdot V_4^{\gamma-1} = T_Q \cdot V_1^{\gamma-1} \text{ (eq. 4)}$$

Se dividirmos a equação 2 pela 4, temos que:

$$\frac{T_Q \cdot V_2^{\gamma-1}}{T_Q \cdot V_1^{\gamma-1}} = \frac{T_F \cdot V_3^{\gamma-1}}{T_F \cdot V_4^{\gamma-1}} \Rightarrow \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}} \text{ (eq. 5)}$$

Portanto, o rendimento da máquina de Carnot é dado por:

$$\eta_{Carnot} = \frac{\tau_{ciclo}}{Q_Q} = \frac{Q_{1 \rightarrow 2} + Q_{3 \rightarrow 4}}{Q_{1 \rightarrow 2}} = 1 + \frac{Q_{3 \rightarrow 4}}{Q_{1 \rightarrow 2}}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 + \frac{n \cdot R \cdot T_F \cdot \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)}{n \cdot R \cdot T_Q \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 + \frac{T_F \cdot \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{-1}}{T_Q \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_F \cdot \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{T_Q \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$





Mas na equação 5, vimos que  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ , então  $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$ . Finalmente, concluímos que o rendimento de Carnot é dado por:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

Observe que o rendimento de uma máquina reversível pode ser expresso das seguintes formas:

$$n_{rev} = 1 + \frac{Q_{3 \rightarrow 4}}{Q_{1 \rightarrow 2}} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{Q_{3 \rightarrow 4}}{Q_{1 \rightarrow 2}} + \frac{T_F}{T_Q} = 0$$

$$\therefore \frac{Q_{3 \rightarrow 4}}{T_F} + \frac{Q_{1 \rightarrow 2}}{T_Q} = 0 \quad (eq. 6)$$

Guarde a equação 6, pois ela é muito importante para nós. Mais à frente ela fará todo sentido no nosso estudo.

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

a) um inventor afirmou ter construído uma máquina térmica cujo desempenho atinge 90% daquele de uma máquina de Carnot. Sua máquina, que trabalha entre as temperaturas de 27 °C e 327 °C, recebe, durante certo período,  $1,2 \cdot 10^4 \text{ cal}$  e fornece simultaneamente, um trabalho útil de  $1,0 \cdot 10^4 \text{ J}$ . A afirmação do inventor é verdadeira? Justifique.

b) se o trabalho útil da máquina térmica do item anterior fosse exercido sobre o êmbolo móvel de uma ampola contendo um gás ideal à pressão de 200 Pa, qual seria a variação de volume sofrida pelo gás, caso a transformação fosse isobárica?

**Comentários:**

a) Primeiramente, devemos saber qual é o rendimento de uma máquina de Carnot, operando com as duas temperaturas dadas em questão e depois julgar a afirmação do inventor. O rendimento de Carnot para as temperaturas de trabalho é dado por:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{27+273}{327+273} = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$$

Rendimento da máquina do inventor:

$$\eta_{inventor} = \frac{\tau_{ciclo}}{Q_Q} = \frac{1 \cdot 10^4}{1,2 \cdot 10^4 \cdot 4,186} \cong 19,9 \%$$

Logo:

$$\frac{\eta_{inventor}}{\eta_{Carnot}} = \frac{19,9}{50} = 0,398 \text{ ou } 39,8\%$$

Logo, a afirmação do inventor é falsa.

b) O trabalho à pressão constante é dado por:

$$\tau = P \cdot \Delta V$$



$$1 \cdot 10^4 = 200 \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = 50 \text{ m}^3$$



## 6. A ESCALA ABSOLUTA TERMODINÂMICA

Como vimos, o rendimento de Carnot depende apenas das temperaturas dos dois reservatórios e não depende das propriedades da qualquer substância. Pensando nisso, em 1848, Kelvin propôs uma escala de temperaturas baseada numa máquina de Carnot.

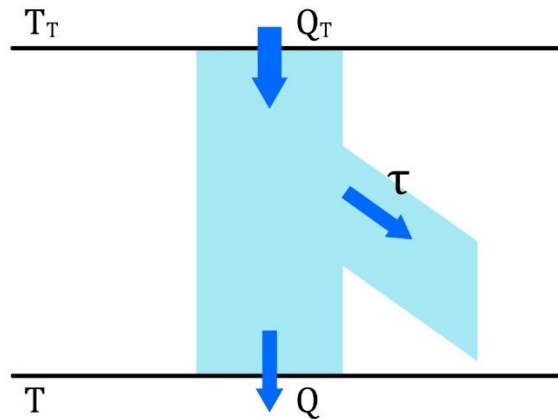


Figura 4: Teorema de Carnot e a escala absoluta termodinâmica.

O reservatório quente foi adotado como o ponto triplo da água, com temperatura absoluta  $T_T = 273,16 \text{ K}$ . O reservatório frio corresponde ao sistema cuja temperatura  $T$  queira-se determinar.

Se chamarmos de  $Q_T$  a quantidade de calor trocada com o reservatório quente (ponto triplo da água) e  $Q$  a quantidade de calor trocada com o reservatório frio (sistema), então:

$$\frac{|Q_T|}{T_T} = \frac{|Q|}{T} \Rightarrow T = T_T \cdot \frac{|Q|}{|Q_T|} \Rightarrow T = 273,16 \cdot \frac{|Q|}{|Q_T|}$$

Na prática, essa escala absoluta termodinâmica é irrealizável, já que a máquina de Carnot é teórica. Contudo, essa escala tem uma importância teórica muito grande pois ela ajuda a conceituar o *zero absoluto*. Podemos dizer que ele é a temperatura do reservatório frio de uma máquina de Carnot com rendimento de 100%. Matematicamente, temos:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{0}{T_Q} = 1 \text{ ou } 100\%$$

Mas, tal máquina contraria a Segunda Lei da Termodinâmica, então podemos dizer que o *zero absoluto é inatingível*. Esse resultado é conhecido por muitos como a Terceira Lei da Termodinâmica ou Princípio de Nernst.



Note que a maior vantagem de se definir uma escala absoluta termodinâmica está no fato dela não depender das propriedades da substância termométrica e, com isso, temos um conceito mais amplo de temperatura.



## 7. OUTROS CICLOS TERMODINÂMICOS FAMOSOS

Vamos apresentar alguns ciclos termodinâmicos conhecidos pelas literaturas e que possuem certa importância para nossos vestibulares, podendo cair em alguma das provas.

### 2.7.1. CICLO OTTO

Em 1876, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto projetou um motor que funcionava em 4 tempos. Basicamente, esse ciclo é composto de quatro processos:

- AB: compressão rápida (adiabática) de uma mistura de ar com vapor de gasolina, de um volume inicial  $V_0$  para  $V_0/r$  ( $r \equiv$  taxa de compressão, ou seja,  $r = V_A/V_B$ ).
- BC: aquecimento isométrico devido à ignição.
- CD: expansão adiabática dos gases aquecidos, movendo o pistão.
- DA: rejeição isométrica de calor, representando a queda de pressão associada à exaustão dos gases da combustão.

Vamos apresentar uma versão idealizada daquela que ocorre em um motor a gasolina de 4 tempos, esquematizando pelo diagrama  $P - V$  abaixo:

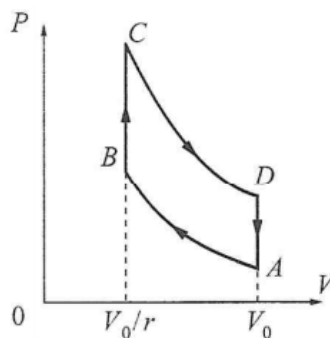


Figura 5: Diagrama  $P - V$  para o ciclo Otto.

Considerando que toda mistura seja um gás ideal de coeficiente adiabático igual a  $\gamma$ , vamos demonstrar que o rendimento do ciclo é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}$$

Demonstração:

O rendimento do ciclo pode ser escrito como:



$$\eta = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{Quente}}} = \frac{Q_{\text{Quente}} - Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}} = 1 - \frac{Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}}$$

No ciclo Otto, AB e CD são adiabáticas, portanto, não há trocas de calor. As trocas de calores ocorrem nos processos BC e DA, que são isovolumétricos. Nesses processos, teremos que  $Q_{BC} = C_V \cdot (T_C - T_B)$  e  $Q_{DA} = C_V \cdot (T_A - T_D)$ . Note que  $T_D > T_A$ . Então, o módulo do calor liberado em  $Q_{DA} = C_V \cdot (T_D - T_A)$ .

Portanto, o rendimento pode ser escrito como:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}} = 1 - \frac{C_V \cdot (T_D - T_A)}{C_V \cdot (T_C - T_B)}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}}$$

Para mostrar a outra relação, vamos escrever as relações nas transformações adiabáticas AB e CD:

$$\begin{cases} T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B \cdot V_B^{\gamma-1} \\ T_C \cdot V_C^{\gamma-1} = T_D \cdot V_D^{\gamma-1} \end{cases}$$

Como BC é isovolumétrico, então  $V_C = V_B$ . O mesmo ocorre de D para A, então  $V_A = V_D$ .

Então:

$$\frac{T_A \cdot V_A^{\gamma-1}}{T_D \cdot V_D^{\gamma-1}} = \frac{T_B \cdot V_B^{\gamma-1}}{T_C \cdot V_C^{\gamma-1}}$$

$$\therefore \boxed{\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C}}$$

Além disso, a taxa de compressão é dada por:

$$r = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_D}{V_C}$$

Então, tomando a transformação adiabática de C para D, escrevemos as relações entre as temperaturas e taxa de compressão:

$$T_C \cdot V_C^{\gamma-1} = T_D \cdot V_D^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}}$$

Logo, pela equação do rendimento que acabamos de demonstrar, podemos manipular algebricamente da seguinte forma:

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_D \left(1 - \frac{T_A}{T_D}\right)}{T_C \left(1 - \frac{T_B}{T_C}\right)}$$

Como  $\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C}$ , então  $1 - \frac{T_A}{T_D} = 1 - \frac{T_B}{T_C}$ . Então, o rendimento pode ser reescrito como:



$$\eta = 1 - \frac{T_D}{T_C}$$

Expressando o rendimento em função da taxa de compressão e do coeficiente adiabático do gás, temos finalmente que:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}$$

### 2.7.2. CICLO DE JOULE

O ciclo de Joule é composto por duas adiabáticas e duas isobáricas. Podemos ele representar ele da seguinte forma:

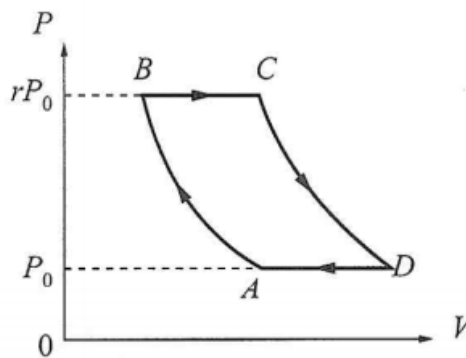


Figura 6: Diagrama P – V do ciclo Joule.

Neste ciclo, temos os seguintes processos:

- AB e CD são adiabáticas, uma idealização do que ocorre em uma turbina a gás.
- BC e DA representam aquecimento e resfriamento, respectivamente, a pressão constante.
- A taxa de compressão é definida como  $r = P_B/P_A$ .

Assim, o rendimento para o ciclo de Joule é dado por:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Demonstração:

O rendimento do ciclo pode ser escrito como:

$$\eta = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{Quente}}} = \frac{Q_{\text{Quente}} - Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}} = 1 - \frac{Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}}$$

No ciclo de Joule, AB e CD são adiabáticas, portanto, não a trocas de calor. As trocas de calores ocorrem nos processos BC e DA, que são isobáricos. Nesses processos, teremos que  $Q_{BC} = C_P \cdot (T_C - T_B)$  e  $Q_{DA} = C_P \cdot (T_A - T_D)$ . Note que  $T_D > T_A$ . Então, o módulo do calor liberado em  $Q_{DA} = C_P \cdot (T_D - T_A)$ .

Logo, o rendimento pode ser escrito como:





$$\eta = 1 - \frac{Q_{Frio}}{Q_{Quente}} = 1 - \frac{C_P(T_D - T_A)}{C_P(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

Para as transformações adiabáticas, podemos dizer que:

$$\begin{cases} \frac{T_A^\gamma}{P_A^{\gamma-1}} = \frac{T_B^\gamma}{P_B^{\gamma-1}} \\ \frac{T_C^\gamma}{P_C^{\gamma-1}} = \frac{T_D^\gamma}{P_D^{\gamma-1}} \end{cases}$$

Mas,  $P_B = P_C$  e  $P_A = P_D$ , então:

$$\frac{\frac{T_A^\gamma}{P_A^{\gamma-1}}}{\frac{T_D^\gamma}{P_D^{\gamma-1}}} = \frac{\frac{T_B^\gamma}{P_B^{\gamma-1}}}{\frac{T_C^\gamma}{P_C^{\gamma-1}}} \Rightarrow \frac{T_A^\gamma}{T_D^\gamma} = \frac{T_B^\gamma}{T_C^\gamma} \Rightarrow \boxed{\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C}}$$

Além disso, para a transformação CD, podemos escrever que:

$$\frac{T_C^\gamma}{P_C^{\gamma-1}} = \frac{T_D^\gamma}{P_D^{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{P_D}{P_C}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Como  $\frac{P_D}{P_C} = \frac{P_A}{P_B} = r$ , então:

$$\boxed{\frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

Novamente, temos a manipulação algébrica semelhante àquela feita no ciclo Otto. Então:

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_D}{T_C} \frac{1 - \frac{T_A}{T_D}}{1 - \frac{T_B}{T_C}} = 1 - \frac{T_D}{T_C}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

### 2.7.3. CICLO DIESEL

O ciclo Diesel representa, de forma idealizada, o funcionamento de um outro tipo de moto a combustão interna, que é comumente utilizado em motores a diesel de caminhões e utilitários. Nele a ignição do combustível é feita pelo próprio aquecimento devido a compressão.

Esse ciclo foi concebido pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel em 1897, e permite taxas de compressão maiores que as dos motores que funcionam com o ciclo Otto.

Podemos representar um ciclo Diesel de quatro tempos da seguinte forma:

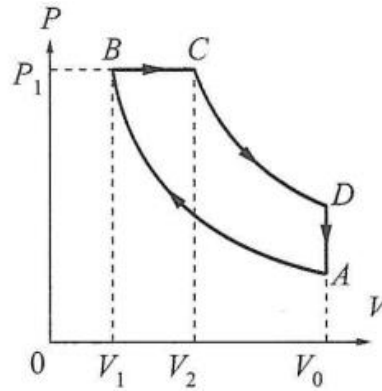


Figura 7: Diagrama  $P - V$  do ciclo Diesel.

Neste ciclo, AB e CD são adiabáticas, a ignição ocorre a pressão constante (etapa BC), sem a necessidade de uma faísca. Chamamos de  $r_c = V_0/V_1$  a taxa de compressão entre o volume máximo e o volume mínimo. Além disso, denominamos por taxa de expansão adiabática a razão  $r_e = V_0/V_2$ .

Vamos provar que o rendimento de um ciclo Diesel é expresso por:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right) = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\left(\frac{1}{r_e}\right)^\gamma - \left(\frac{1}{r_c}\right)^\gamma}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_c}}$$

Demonstração:

Inicialmente, o rendimento do ciclo pode ser escrito como:

$$\eta = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{Quente}}} = \frac{Q_{\text{Quente}} - Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}} = 1 - \frac{Q_{\text{Frio}}}{Q_{\text{Quente}}}$$

No ciclo Diesel, o calor absorvido pela fonte quente ocorre a pressão constante, então:

$$Q_P = Q_{BC} = C_P \cdot (T_C - T_B)$$

Lembrando que para um gás ideal são válidas as relações:

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1} \text{ e } C_P = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}$$

Então, o calor a pressão constante é expresso por:

$$Q_P = Q_{BC} = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} \cdot (T_C - T_B)$$

Por outro lado, o calor liberado pela fonte fria ocorre a volume constante, portanto:

$$Q_V = Q_{DA} = C_V \cdot (T_A - T_D)$$

$$Q_V = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot (T_A - T_D)$$

De acordo com o ciclo apresentado, temos que  $T_D > T_A$ , portanto, o valor absoluto do calor liberado pela fonte fria é de  $\frac{R}{\gamma - 1} \cdot (T_D - T_A)$ .



De posse desses valores, podemos encontrar o rendimento do ciclo Diesel em função das temperaturas:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{Frio}}{Q_{Quente}} = 1 - \frac{\frac{R}{\gamma - 1} \cdot (T_D - T_A)}{\frac{R\gamma}{\gamma - 1} \cdot (T_C - T_B)}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right)}$$

Agora, precisamos relacionar as temperaturas com as taxas de compressões fornecidas.

Em cada processo adiabático, podemos escrever que:

$$\begin{cases} T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B \cdot V_B^{\gamma-1} \\ T_C \cdot V_C^{\gamma-1} = T_D \cdot V_D^{\gamma-1} \end{cases}$$

Além disso, temos que  $V_A = V_D = V_0$ ,  $V_C = V_2$  e  $V_B = V_1$ . Além disso,  $r_c = \frac{V_0}{V_1}$  e  $r_e = \frac{V_0}{V_2}$ , ou seja,  $r_c \cdot V_1 = r_e \cdot V_2$ . Ou ainda,  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{r_e}{r_c}$  Então:

$$\frac{T_A \cdot V_A^{\gamma-1}}{T_D \cdot V_D^{\gamma-1}} = \frac{T_B \cdot V_B^{\gamma-1}}{T_C \cdot V_C^{\gamma-1}}$$

$$\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C} \left( \frac{r_e}{r_c} \right)^{\gamma-1}$$

De B para C é isobárico, então:

$$\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$$

$$\frac{T_B}{T_C} = \frac{V_B}{V_C} = \frac{r_e}{r_c}$$

Logo:

$$\frac{T_A}{T_D} = \frac{r_e}{r_c} \cdot \left( \frac{r_e}{r_c} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{r_e}{r_c} \right)^{\gamma}$$

Portanto, basta manipular algebricamente a equação do rendimento com as temperaturas, para encontrar o rendimento em função das taxas de compressões:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right) = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_D \left( 1 - \frac{T_A}{T_D} \right)}{T_C \left( 1 - \frac{T_B}{T_C} \right)}$$



$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D}{T_C} \right) \left( \frac{1 - \left( \frac{r_e}{r_C} \right)^\gamma}{1 - \frac{r_e}{r_C}} \right)$$

Como o processo de C para D é adiabático, então:

$$T_C \cdot V_C^{\gamma-1} = T_D \cdot V_D^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_D}{T_C} = \left( \frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{V_2}{V_0} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{1}{r_e} \right)^{\gamma-1}$$

Finalmente, precisamos apenas manipular as equações algebricamente:

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{\gamma} \right) \cdot \left( \frac{1}{r_e} \right)^{\gamma-1} \cdot \left( \frac{1 - \left( \frac{r_e}{r_C} \right)^\gamma}{1 - \frac{r_e}{r_C}} \right)$$

Podemos dizer que:

$$\left( \frac{1}{r_e} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma \cdot r_e$$

Então:

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{\gamma} \right) \cdot \left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma \cdot (r_e) \left( \frac{1 - \left( \frac{r_e}{r_C} \right)^\gamma}{1 - \frac{r_e}{r_C}} \right)$$

Passando  $\left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma$  para o numerador de  $\frac{1 - \left( \frac{r_e}{r_C} \right)^\gamma}{1 - \frac{r_e}{r_C}}$ , encontramos que:

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{\gamma} \right) \cdot (r_e) \cdot \frac{\left( 1 \cdot \left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma - \left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma \cdot \left( \frac{r_e}{r_C} \right)^\gamma \right)}{1 - \frac{r_e}{r_C}}$$

Da matemática, sabemos  $r_e = \frac{1}{r_e}$ , então:

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{\gamma} \right) \cdot \frac{\left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma - \left( \frac{1}{r_C} \right)^\gamma}{\frac{1}{r_e} \left( 1 - \frac{r_e}{r_C} \right)}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\left( \frac{1}{r_e} \right)^\gamma - \left( \frac{1}{r_C} \right)^\gamma}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_C}}$$



INDO MAIS  
FUNDO!



## 8. IRREVERSIBILIDADE, DESORDEM E ENTROPIA

Como vimos, utilizamos bastante os enunciados da segunda lei para descrever processos reversíveis em máquinas térmicas e refrigeradores. Entretanto, processos irreversíveis, como por exemplo um copo de vidro caindo no chão, não são descritos pela segunda lei. Contudo, existe algo em comum nos processos reversíveis – o sistema e seu ambiente caminham para um estado menos ordenado.

Existe uma função termodinâmica chamada de entropia, representada pela letra  $S$ , que é uma medida do grau de desordem de um sistema.

A entropia  $S$  é uma função de estado de um sistema assim como a pressão, o volume, a temperatura e a energia interna.

Dizemos que a variação  $dS$  da entropia de um sistema, ao passar de um estado para outro é definido como:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$$

Em que  $dQ_{rev}$  é o calor absorvido pelo sistema em um processo reversível. Caso  $dQ_{rev} < 0$ , então a variação de entropia do sistema tem valor negativo, ou seja, a entropia do sistema diminuiu.

Observação: o termo  $dQ_{rev}$  não implica que uma transferência de calor reversível deva ocorrer para que varie a entropia de um sistema. Existem muitas possibilidades nas quais ocorre variação de entropia de um sistema enquanto não há transferência de calor, como por exemplo, o caso de uma caixa contendo gás que colide com uma parede.

Vimos pela definição,  $dS = dQ_{rev}/T$ , uma maneira simples para calcular a diferença de temperatura entre dois estados de um sistema. Contudo, como mencionamos, entropia é uma função de estado, a variação de entropia quando o sistema se move de um estado inicial para o estado final depende apenas dos estados iniciais e finais do sistema, ou seja, independe do processo pelo qual o sistema passou.

Dessa forma, se  $S_1$  é a entropia do sistema quando ele está no estado 1 e  $S_2$  no estado 2, então a diferença de entropia  $\Delta S = S_2 - S_1$  é dada pela integral  $\int_1^2 dQ/T$  para qualquer caminho (processo) reversível que leve o sistema do estado 1 para o estado 2. Mas calma, nosso objetivo aqui não é sair calculando integral ao longo de caminho para todo lado. Não é objetivo do vestibular, mas é importante conhecermos alguns resultados, que serão apresentados aqui.





## ENTROPIA DE UM GÁS IDEAL

Vamos aqui verificar que  $dQ_{rev}/T$  é uma diferencial de uma função de estado para um gás ideal (ainda que  $dQ_{rev}$  não seja função de estado). A prova de que entropia é uma função de estado foge do nosso escopo de curso, visando nossos vestibulares.

Considere um processo reversível quase-estático arbitrário no qual um gás ideal absorve uma quantidade de calor  $dQ_{rev}$ . Pela primeira lei,  $dQ_{rev}$  pode se relacionar com o trabalho realizado sobre o gás ( $d\tau_{sobre\ o\ gás} = -PdV$  ou  $d\tau_{pelo\ gás} = PdV$ ) e a energia interna do gás  $dU$ , de acordo com a relação:

$$dU = dQ_{rev} + d\tau_{sobre\ o\ gás} = dQ_{rev} - PdV$$

Como vimos, para um gás ideal, a energia interna é expressão em termos da capacidade térmica a volume constante,  $dU = C_V dT$ , e a pressão pode ser dada pela equação geral dos gases,  $P = \frac{nRT}{V}$ . Então:

$$dU = dQ_{rev} - PdV$$

$$C_V dT = dQ_{rev} - nRT \frac{dV}{V} \quad (eq. 3.1 a)$$

A equação 3.1 a não pode ser integrada diretamente, já que  $T$  depende de  $V$  e  $C_V$  depende de  $T$ . Isso mostra como  $dQ_{rev}$  não é uma diferencial de uma função de estado. Entretanto, quando dividimos por  $T$ , obtemos que:

$$C_V \frac{dT}{T} = \frac{dQ_{rev}}{T} - nR \frac{dV}{V}$$

$$\frac{dQ_{rev}}{T} = C_V \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V}$$

Dado que  $C_V$  depende apenas da temperatura e como  $dS = dQ_{rev}/T$  função de estado, ou seja, não depende do caminho, então podemos dizer que:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T} = C_V \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V} \quad (eq. 3.1 b)$$

Por simplicidade, podemos considerar  $C_V$  constante nos intervalos trabalhados nos exercícios. Então, integrando a equação 3.1 b do estado 1 para o estado 2, chegamos que:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T} = C_V \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

### VARIAÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA EXPANSÃO ISOTÉRMICA DE UM GÁS IDEAL

Dado um gás ideal que sofre uma expansão isotérmica,  $T_2 = T_1$ , então a variação de entropia é:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T} = C_V \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Mas,  $T_2 = T_1$ , portanto  $\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \ln 1 = 0$ . Portanto:



$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Como estamos falando de uma expansão,  $V_2 > V_1$  implicando  $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) > 0$ . Portanto, a variação de entropia é positiva. Durante este processo, a quantidade de calor  $Q_{rev}$  é liberada pelo reservatório e é absorvida pelo gás. Podemos calcular esse calor utilizando a primeira lei:

$$\Delta U = Q_{rev} - \tau_{pelo\ gás} \Rightarrow 0 = Q_{rev} - \tau_{pelo\ gás} \Rightarrow Q_{rev} = \tau_{pelo\ gás}$$

$$\Rightarrow Q_{rev} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\therefore Q_{rev} = n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Note que a variação da entropia do gás é  $+Q_{rev}/T$ . Observe ainda que a quantidade calor liberada pelo reservatório à temperatura  $T$  é  $Q_{rev}$ , portanto, a variação de entropia do reservatório é  $-Q_{rev}/T$ . Logo, a variação de entropia do universo (*gás + reservatório*) é zero. Chamamos de universo o conjunto formado pelo sistema referido em estudo, junto com sua vizinhança.

Este resultado ilustra um resultado geral:

Em um processo *reversível*, a variação da entropia do universo é zero.

### VARIAÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA EXPANSÃO LIVRE DE UM GÁS IDEAL.

Considere o esquema abaixo que representa uma expansão livre, onde o gás inicialmente confinado em um compartimento do reservatório está conectado a um outro, por intermédio de uma válvula.

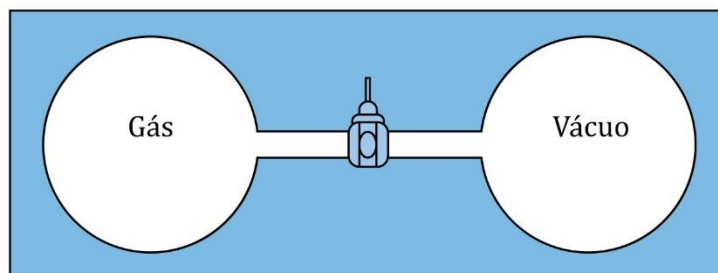


Figura: Expansão livre de um gás. Ao abrir a válvula, o gás se expande rapidamente para dentro da câmara de vácuo. Nesse experimento, nenhum trabalho é realizado sobre o gás e o sistema está todo termicamente isolado. Assim, as energias internas inicial e final do gás são iguais.

Ao abrir a válvula, rapidamente o gás entra no compartimento vazio, até que o gás atinja o equilíbrio térmico. Como vimos, nenhum trabalho é realizado sobre o gás e nenhum calor é absorvido ou liberado por ele, então a energia interna final é igual a energia interna inicial.

Se o gás é ideal, então sua energia interna depende apenas da temperatura e, portanto, a temperatura final será igual a temperatura inicial.



Como não há transferência de calor, poderíamos ser induzidos a pensar que não ocorre variação de entropia. Contudo, este processo não é reversível e, assim, não podemos aplicar  $\int dQ/T$  para calcular a variação de entropia.

Mas, em uma expansão livre os estados inicial e final do gás são os mesmos que para o gás na expansão isotérmica que acabamos de discutir.

Já mencionamos e vamos reforçar:

A variação de entropia de um sistema é uma função de estado, portanto depende apenas dos estados inicial e final, isto é, independe do caminho (processo). Portanto, a variação de entropia do gás para a expansão livre é a mesma que para a expansão isotérmica.

Dado que o volume inicial do gás  $V_1$  e o volume final  $V_2$ , a variação da entropia do gás em uma expansão livre pode ser calculada por:

$$\Delta S_{gás} = n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

Neste processo, não há variações na vizinhança e, logo, a variação da entropia do gás também é a variação da entropia do universo:

$$\Delta S_{Universo} = n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

Note que  $V_2 > V_1$ , então  $\ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) > 0$ , ou seja, a variação da entropia do universo para este processo irreversível é positiva. Dizemos que a entropia do universo aumenta. Isto também resultado em um enunciado geral:

Em um processo irreversível, a entropia do universo aumenta.

Este resultado mostra que um gás não se contrai livremente para um volume menor. Assim, podemos enunciar de outra forma a segunda lei da termodinâmica:

Para qualquer processo, a entropia do universo nunca diminui.



**Exemplo:**



Calcule a variação de entropia ( $\Delta S$ ) para a expansão livre de 0,5 mols de um gás ideal, em que  $V_1 = 2,0 L$  e  $V_2 = 4,0 L$ .

**Comentários:**

Como vimos, em uma expansão livre, a variação da entropia pode ser calculada como em uma expansão isotérmica. Logo:

$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 0,5 \text{ (mol)} \cdot 8,31 \left(\frac{J}{\text{mol}\cdot K}\right) \cdot \ln\left(\frac{4,0}{2,0}\right)$$

$$\Delta S = 2,9 J/K$$

**VARIAÇÃO DA ENTROPIA PARA PROCESSOS À PRESSÃO CONSTANTE**

Considere uma substância sendo aquecida da temperatura  $T_1$  até a temperatura  $T_2$  à pressão constante, então o calor absorvido  $dQ$  pode ser escrito como:

$$dQ = C_p dT$$

Na transferência de calor a pressão constante, podemos fazer uma boa aproximação considerando que temos um grande número de reservatórios térmicos com temperaturas variando desde um valor ligeiramente maior do que  $T_1$  até  $T_2$  e, com isso, teremos uma transferência de calor reversível.

Se o calor  $dQ$  é absorvido de maneira reversível, a variação da entropia da substância é:

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_p \frac{dT}{T}$$

Considerando que  $C_p$  é praticamente constante para o intervalo de temperatura trabalhado, temos:

$$\Delta S = C_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Considere uma quantidade de 1,00 kg de água, a  $T_1 = 40 \text{ }^\circ C$ , é adicionada a 2,00 kg de água, a  $T_2 = 70 \text{ }^\circ C$ , em um calorímetro ideal, à pressão constante de 1,00 atm.

- calcule a variação de entropia do sistema.
- determine a variação da entropia do universo.



**Comentários:**

a) inicialmente, precisamos encontrar qual será a temperatura de equilíbrio térmico quando misturamos as duas partes. Pelo balanço energético, temos que:

$$\sum Q = 0 \Rightarrow m_1 \cdot c_p \cdot (T_e - T_1) + m_2 \cdot c_p \cdot (T_e - T_2) = 0$$

$$T_e = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = \frac{1 \cdot 40 + 2 \cdot 70}{1 + 2}$$

$$T_e = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

considerando o processo como sendo reversível isobárico, a variação de entropia do sistema é dada pela soma das variações de entropia de cada parte. Então:

$$\Delta S_1 = C_p \cdot \ln\left(\frac{T_e}{T_1}\right) = m_1 \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_e}{T_1}\right) = (1,00 \text{ kg}) \cdot \left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) \cdot \ln\left(\frac{60+273}{40+273}\right)$$

$$\Delta S_1 = 0,260 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_2 = C_p \cdot \ln\left(\frac{T_e}{T_1}\right) = m_2 \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_e}{T_1}\right) = (2,00 \text{ kg}) \cdot \left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) \cdot \ln\left(\frac{60+273}{70+273}\right)$$

$$\Delta S_2 = -0,124 \text{ kJ/K}$$

Assim:

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = 0,260 + (-0,124)$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = +0,136 \text{ kJ/K}$$

b) como o calorímetro é ideal, logo, ele tem capacidade térmica desprezível e não trocado calor com a vizinhança, ou seja, ele está isolado, então a vizinhança permanece inalterada:

$$\Delta S_{\text{vizinhança}} = 0$$

Portanto, a variação da entropia do universo será dada pela soma da variação da entropia da vizinhança com a variação da entropia do sistema:

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{vizinhança}} + \Delta S_{\text{sistema}}$$

$$\Delta S_{\text{universo}} = +0,136 \text{ kJ/K}$$

**VARIAÇÃO DE ENTROPIA PARA UMA COLISÃO PERFEITAMENTE INELÁSTICA**

Dizemos que uma colisão é perfeitamente inelástica quando a velocidade relativa de afastamento dos corpos é nula, os corpos não se separam após a colisão.

Nesse tipo de choque, a energia mecânica é convertida em energia térmica interna, portanto, ele é irreversível. Logo, a entropia do universo (sistema mais vizinhanças) deve aumentar.

Por exemplo, considere um pequeno bloco de massa  $m$  caindo de uma altura  $h$  e sofrendo uma colisão totalmente inelástica com o solo. Supondo que ele seja solto de uma altura pequena, onde podemos considerar que a aceleração da gravidade não varie e que a temperatura é praticamente constante, então podemos considerar que o bloco, o solo e a atmosfera local seja nosso sistema termicamente isolado, ou seja, não há absorção ou liberação de calor pelo sistema.



Note que ao soltar o bloco de uma altura  $h$ , a energia interna variou de uma quantidade igual a  $mgh$ . Essa quantidade é a mesma variação que ocorreria caso somássemos calor  $Q = mgh$  ao sistema à temperatura  $T$ .

Dessa forma, a variação de entropia do sistema pode ser expressa por:

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \frac{Q_{\text{rev}}}{T} = \frac{mgh}{T}$$

Como consideramos que nosso sistema é termicamente isolado, a vizinhança permanece inalterada e, portanto:

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{vizinhança}} + \Delta S_{\text{sistema}}$$

$$\Delta S_{\text{universo}} = 0 + \frac{mgh}{T}$$

$$\boxed{\Delta S_{\text{universo}} = \frac{mgh}{T}}$$

#### VARIAÇÃO DE ENTROPIA PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE UM RESERVATÓRIO PARA OUTRO

Lembrando que a transferência de calor de um reservatório para outro é um processo irreversível, portanto, é esperado que a entropia do universo aumente. Seja um processo simples de transferência de calor  $Q$  da fonte quente ( $T_Q$ ) para uma fonte fria ( $T_F$ ). Podemos determinar o estado de uma fonte pela sua energia interna e pela sua temperatura.

A variação de entropia de uma fonte, ocasionada pela transferência de calor, não depende de o processo ser reversível ou não. Entropia é função de estado! Assim, se uma quantidade de calor  $Q$  é absorvida por um reservatório à temperatura  $T$ , então a entropia do reservatório tem um acréscimo de  $Q/T$ .

Por outro lado, se uma quantidade de calor  $Q$  é liberada por um reservatório à temperatura  $T$ , então a entropia do reservatório tem um decréscimo de  $Q/T$ .

Como no nosso caso de transferência de calor o reservatório quente libera calor, então:

$$\Delta S_{\text{Quente}} = -\frac{Q}{T_Q}$$

Portanto, o reservatório frio, que absorve calor, terá variação de entropia dada por:

$$\Delta S_{\text{Frio}} = +\frac{Q}{T_F}$$

Sendo assim, a variação resultante da entropia do universo é expressa por:

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{Frio}} + \Delta S_{\text{Quente}}$$

$$\Delta S_{\text{universo}} = \frac{Q}{T_F} - \frac{Q}{T_Q}$$





Note que como  $T_F < T_Q$  e  $T_Q, T_F > 0$ , então  $\frac{1}{T_F} - \frac{1}{T_Q} > 0$ , portanto  $\frac{Q}{T_F} - \frac{Q}{T_Q} > 0$ , ou seja,  $\Delta S_{universo} > 0$ . Lembre-se que aqui a temperatura utilizada deve estar na escala absoluta, isto é, temperatura em Kelvin.



### 3.1.6. VARIAÇÃO DE ENTROPIA PARA UM CICLO DE CARNOT

Por definição, o ciclo de Carnot é um ciclo reversível, portanto, a variação de entropia do universo após cumprir um ciclo deve ser igual a zero.

De fato, vimos que:

$$\frac{Q_Q}{T_Q} - \frac{Q_F}{T_F} = 0$$

Observação: ao escrevermos que  $\frac{Q_Q}{T_Q} - \frac{Q_F}{T_F} = 0$  consideramos apenas o valor absoluto de  $Q_F$ .

A variação de entropia de cada reservatório pode ser expressa por:

$$\Delta S_{Frio} = + \frac{Q_F}{T_F} \text{ e } \Delta S_{quente} = - \frac{Q_Q}{T_Q}$$

Portanto, temos que:

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{máquina} + \Delta S_{quente} + \Delta S_{Frio}$$

$$\Delta S_{universo} = 0 + \left( - \frac{Q_Q}{T_Q} \right) + \frac{Q_F}{T_F}$$

$$\boxed{\Delta S_{universo} = 0}$$

Conforme o esperado, a variação da entropia do universo é zero.

Observação: a variação de entropia associada à energia transferida como trabalho da máquina de Carnot para sua vizinhança foi desprezada. Se este trabalho é utilizado para realizar algum processo ordenado, então não há variação de entropia. Entretanto, caso este trabalho seja utilizado para empurrar um bloco sobre uma mesa com atrito, por exemplo, então há um aumento adicional de entropia associado a este trabalho.





**Exemplo:**

Em um ciclo de Carnot, uma máquina absorve 200 joules de um reservatório a 500 K, realiza trabalho e libera calor para um reservatório a 400 K. Determine a variação de entropia de cada reservatório em cada ciclo e mostre, claramente, que a variação de entropia do universo é zero neste processo reversível.

**Comentários:**

Inicialmente, devemos calcular a variação da entropia de cada reservatório:

$$\Delta S_{500} = -\frac{Q_Q}{T_Q} = -\frac{200}{500} = -0,400 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{400} = \frac{Q_F}{T_F}$$

Como estamos trabalhando com um ciclo reversível, então:

$$\frac{Q_Q}{T_Q} = \frac{Q_F}{T_F}$$

$$\frac{200}{500} = \frac{Q_F}{400}$$

$$Q_F = 160 \text{ J}$$

Note que para o cálculo, apenas trabalho com o valor absoluto da quantidade de calor trocada. Então:

$$\Delta S_{400} = \frac{160}{400} = +0,400 \text{ J/K}$$

Dessa forma, vemos claramente que a variação da entropia do universo é zero:

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{500} + \Delta S_{400} = (-0,400) + (0,400) = 0$$

ATENÇÃO  
DECORE!



**O DIAGRAMA  $T \times S$  NO CICLO DE CARNOT**

Vimos anteriormente o diagrama  $P \times V$  do ciclo de Carnot. Agora, vamos esboçar o gráfico da temperatura pela entropia.

Como bem sabemos, o ciclo de Carnot é composto de uma expansão isotérmica reversível de 1 para 2, de uma expansão adiabática reversível de 2 para 3, de uma compressão isotérmica reversível de 3 para 4 e, finalmente, de uma compressão adiabática reversível.

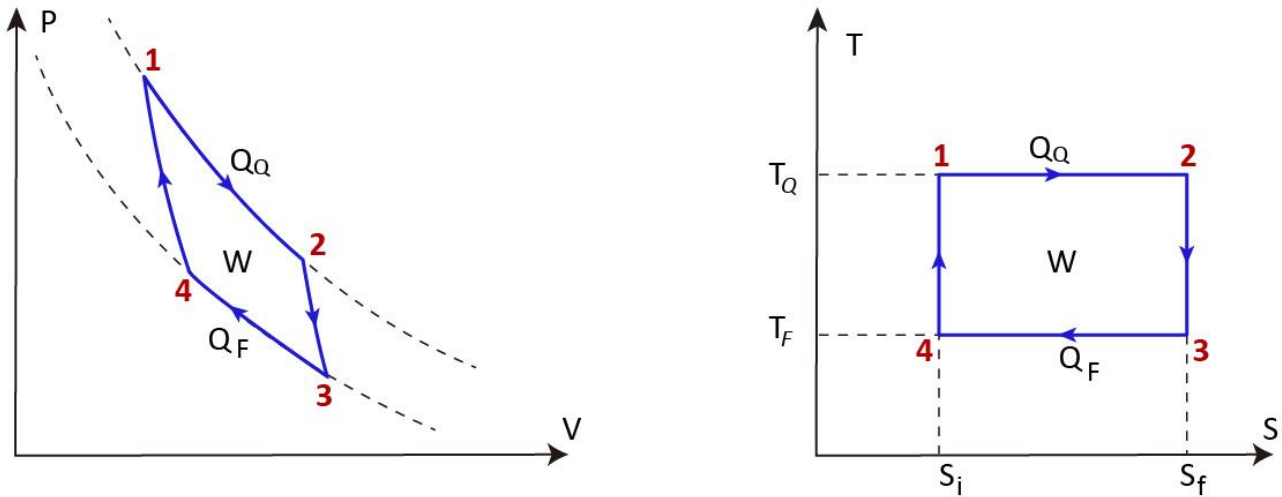


Figura 8: Ciclo de Carnot nos diagramas P-V e T-S.

Note que nos processos isotérmicos, o calor é absorvido ou liberado de maneira reversível e, assim, a entropia aumenta e diminui, entretanto, a temperatura permanece constante. Já nos processos adiabáticos, a temperatura varia, mas como  $\Delta Q_{rev} = 0$ , isto é,  $S$  é constante.

Observe ainda que o ciclo de Carnot é um retângulo no diagrama  $T \times S$ .



## ENTROPIA E A DISPONIBILIDADE DE ENERGIA

Em processo irreversível a energia é conservada, entretanto, parte dessa energia torna-se indisponível para a realização de trabalho e dizemos que é “perdida”. Por exemplo, se um corpo cai no chão de uma altura  $h$ , a variação de entropia do universo é dada por  $mgh/T$ .

Antes do corpo cair, ele estava a uma altura  $h$ . Assim, sua energia potencial ( $mgh$ ) poderia ter sido aproveitada para realizar trabalho. Entretanto, se a colisão for inelástica com o chão, então a energia potencial gravitacional não estará mais disponível para realização de trabalho aproveitável, já que ela se transformou em energia térmica desordenada do bloco e de sua vizinhança.

Se  $\Delta S_{universo} = mgh/T$ , então a energia que se tornou indisponível é dada por:

$$mgh = T \cdot \Delta S_{universo}$$

Este resultado pode ser enunciado de uma forma mais geral:

Em processo irreversível, a quantidade de energia igual a  $T \cdot \Delta S_{universo}$  torna-se indisponível para a realização de trabalho, em que  $T$  é a temperatura do reservatório mais frio disponível.



Este é o custo da irreversibilidade. Dizemos que o “trabalho perdido” é expresso por:

$$\tau_{perdido} = T \cdot \Delta S_{universo}$$

ATENÇÃO  
DECORE!



**Exemplo:**

Uma caixa tem 1,2 kg de massa e desliza com velocidade de 2 m/s antes de colidir com uma parede e parar. A temperatura da caixa, mesa e vizinhança é de 300 K e praticamente não varia até a caixa atingir o repouso. Calcule a variação de entropia do universo.

**Comentários:**

Inicialmente, a energia mecânica da caixa é a energia cinética ( $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ) e esta energia é transformada em energia interna do sistema caixa-parede-vizinhança. Assim, a quantidade de calor  $Q$  absorvida, de maneira reversível, pelo sistema caixa-parede pode ser escrita como:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Portanto, a variação da entropia do universo é de:

$$\Delta S_{universo} = \frac{Q}{T} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{T} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 2^2}{300}$$

$$\Delta S_{universo} = 0,008 \text{ J/K}$$

**Observação:**

Nesse exercício a energia foi conservada, mas a energia  $\tau_{perdido} = T \cdot \Delta S_{universo} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$  não está mais disponível para realizar trabalho.

Note que quando discutimos a expansão livre, vimos que a capacidade de realização de trabalho foi completamente perdida. No caso, a  $\Delta S_{universo}$  foi de  $n \cdot R \cdot \ln(V_2/V_1)$ , tal que o trabalho perdido foi de  $\tau_{perdido} = T \cdot \Delta S_{universo} = n \cdot R \cdot T \cdot \ln(V_2/V_1)$ .

Essa quantidade  $n \cdot R \cdot T \cdot \ln(V_2/V_1)$  poderia ser utilizada para realizar trabalho aproveitável se o gás tivesse sofrido uma expansão quase-estática e isotérmica de  $V_1$  até  $V_2$ .

Caso o calor  $Q$  liberado por um reservatório quente fosse absorvido por um reservatório frio, a variação de entropia do universo e o trabalho perdido estariam relacionados da seguinte forma:

$$\tau_{perdido} = T_F \cdot \Delta S_{universo} = T_F \left( \frac{Q}{T_F} - \frac{Q}{T_Q} \right) = Q \left( 1 - \frac{T_F}{T_Q} \right)$$

Claramente, vemos que este trabalho poderia ser utilizado em uma máquina de Carnot funcionando entre os reservatórios em questão, que retira calor  $Q$  da fonte quente e realiza trabalho  $\tau = \eta \cdot Q$ , onde  $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$ .



NOVIDADE!



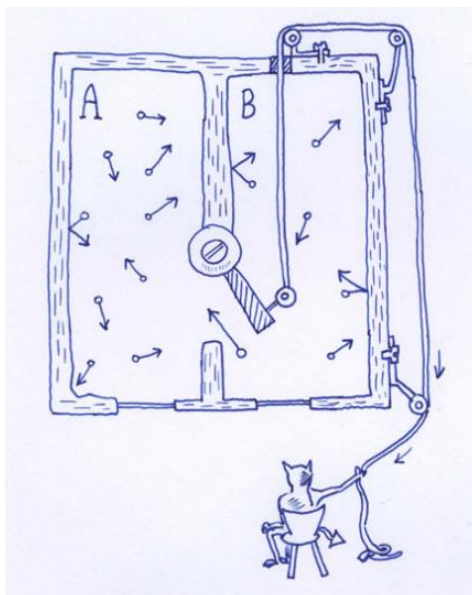
## O DEMÔNIO DE MAXWELL

Em 1867, James Clerk Maxwell formulou um experimento puramente teórico. O experimento teórico está baseado na expansão livre de um gás de Joule. Como vimos, a expansão livre consiste em duas câmeras, em que a câmara A contém uma certa quantidade de gás, em um determinado estado ( $P$ ,  $V$  e  $T$ ). Na segunda câmara contém apenas um vácuo. Ligando as duas câmeras existe uma portinha que pode abrir e fechar, segundo os comandos de um operador.

Em um dado momento, a portinha é aberta e o gás da primeira câmara se expande preenchendo todas as câmeras. Após estabelecido o equilíbrio, a pressão em cada câmara é metade da pressão inicial no compartimento a esquerda.

Como sabemos, a expansão de Joule é formalmente irreversível, já que não tem como o gás voltar a câmara inicial espontaneamente, isto é, sem a realização de trabalho sobre o gás. Ou será que existe alguma forma de fazer o gás voltar a primeira câmara sem realizar trabalho?

Pensando nisso, Maxwell imaginou que a portinha poderia ser operada por uma criatura microscópica muito inteligente, denominada hoje como demônio de Maxwell, que seria capaz de observar, individualmente, as moléculas se movendo próximo a portinha, como na figura abaixo:



*O demônio de Maxwell observa as moléculas nas câmeras A e B e inteligentemente abre e fecha a válvula que conecta as câmeras. O demônio é, portanto, capaz de reverter a expansão livre de Joule e deixar as moléculas irem apenas de B para A e, dessa forma, aparentemente contraria a segunda lei da Termodinâmica.*

Se o demônio vê uma molécula de gás direcionar-se da segunda para a primeira câmara, rapidamente ele abre a portinha e, então, imediatamente ele fecha a passagem, deixando apenas que a molécula atravesse nesse sentido. Caso ele encontrar uma molécula de gás indo da primeira para a segunda câmara, então ele mantém a porta fechada.



Note que o demônio não faz trabalho sobre o gás e ainda certifica que todas as moléculas irão da segunda para a primeira câmara. Então, ele cria uma diferença de pressão entre os dois compartimentos onde não existia antes do demônio começar as travessuras dele.

Agora, podemos empregar um demônio semelhante ao primeiro que faz moléculas quentes irem no caminho errado, ou seja, o fluxo de calor seria do “frio” para o “quente”. Assim, seria como se o demônio pudesse causar uma diminuição na entropia do sistema, sem aumentar a entropia de qualquer uma das partes. Com isso, o demônio de Maxwell surge para zombar da segunda lei da termodinâmica. Como lidar com esse impasse?

Uma ideia inicial foi que o demônio precisaria fazer medições de onde todas as moléculas estão e para fazer isto, ele necessitaria iluminar as moléculas. Então o processo de observação das moléculas poderiam ser o caminho para nos livrar do demônio de Maxwell.

Entretanto, esta ideia não verificou ser correta quando ela foi formulada ser possível para detectar uma molécula com uma certa pequena quantidade de trabalho e dissipação de energia. Notavelmente, essa ideia mostra que o demônio precisa ter uma memória para operar (para que ele possa lembrar onde ele observou a molécula e qualquer outro resultado de medida no processo).

Com isso, a ação de guardar informação está associada com o aumento de entropia e isto compensa qualquer decréscimo de entropia que o demônio possa ser capaz de causar no sistema.

De fato, o demônio é um tipo de aparelho computacional que processa e guarda informações sobre o mundo. É possível criar um processo computacional que ocorre de forma reversível e, portanto, não aumenta a entropia associada a ele.

Contudo, a ação de corrigir as informações é irreversível. Apagar informações sempre está associado ao aumento de entropia. O demônio de Maxwell pode operar reversivelmente, mas somente se ele tem um grande disco rígido para que ele não precise limpar o espaço e continuar trabalhando. Então, podemos dizer que o demônio de Maxwell ilustra, maravilhosamente, a conexão entre entropia e informação.



## ENTROPIA E PROBABILIDADE

Como já mencionamos, entropia é uma medida do grau de desordem de um sistema. Assim, surge uma ideia natural de relacioná-la com probabilidade.

Dizemos que um estado mais ordenado possui uma probabilidade de situações possíveis de suas moléculas mais baixa que um estado menos ordenado.

Em um processo irreversível, dizemos que o universo se desloca de um estado de probabilidade baixa para outro de probabilidade relativamente alta. Por exemplo, um gás que se expande





livremente de um volume  $V$  para um volume final  $2V$ . A variação da entropia do universo pode ser calculada por:

$$\Delta S_{\text{universo}} = n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{2V}{V}\right) = n \cdot R \cdot \ln 2$$

Afinal, por que o gás não se contrai, espontaneamente, de volta ao seu volume inicial? Note que a contração não violaria a primeira lei da termodinâmica, pois não há variação de energia envolvida.

O motivo pelo qual o gás não se contrai até o volume inicial é meramente porque isso seria extremamente improvável.

Por exemplo, seja um gás constituído por apenas 10 moléculas, ocupando uma caixa. Qual a probabilidade de que todas as 10 moléculas estejam na metade esquerda do cubo, em um dado momento?

A probabilidade de que uma certa molécula esteja na metade esquerda do reservatório é de  $\frac{1}{2}$ . A probabilidade de que duas moléculas estejam na metade esquerda, em um dado instante é  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ . Ou a molécula está na parte esquerda ou ela está na parte direita. Uma dada molécula está na parte esquerda não depende de outra molécula, consideramos que sejam eventos independentes.

Não é difícil de perceber que para o caso de 10 moléculas, a probabilidade de que as dez estejam no lado esquerdo, em um dado instante, é dada por:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdots \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \frac{1}{1024}$$

Note que a probabilidade deste evento é baixíssima. Entretanto, não ficaríamos surpreso ao ver as dez moléculas do lado esquerdo, pois embora a probabilidade seja muito pequena, esse evento é possível matematicamente.

Caso as 10 moléculas sejam distribuídas aleatoriamente e, em um dado instante, encontrarmos todas elas na metade esquerda do volume inicial, a entropia do universo teria diminuído de  $n \cdot R \cdot \ln 2$ . Claro que esse decréscimo seria muito pouco, já que nossa caixa tem apenas dez moléculas.

Note que este evento violaria o enunciado da segunda lei, pois a entropia do universo nunca diminui. Aqui, vemos que se desejamos utilizar a segunda lei a sistemas microscópicos, como o nosso exemplo constituído por pouquíssimas moléculas, devemos considerar a segunda lei como um enunciado probabilístico.

Matematicamente, podemos dizer que a probabilidade de um gás se contrair espontaneamente para um volume menor ( $V_f < V_i$ ) é dada por:

$$p = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^N$$

Em que  $N$  representa o número de moléculas. Manipulando algebricamente, temos:



$$\ln p = \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right)^N \Rightarrow \ln p = N \cdot \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \Rightarrow \ln p = n \cdot N_A \cdot \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right)$$

Nos quais  $n$  é o número de mols e  $N_A$  é o número de Avogadro. Com isso, podemos reescrever a variação de entropia do gás neste processo:

$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \Rightarrow \Delta S = n \cdot R \cdot \frac{\ln p}{n \cdot N_A} \Rightarrow \Delta S = \frac{R}{N_A} \ln p$$

$$\therefore \boxed{\Delta S = k \cdot \ln p}$$

Em que  $k = R/N_A$  é a constante de Boltzmann.

Parece estranho aprender que processos irreversíveis, como por exemplo a transferência espontânea de calor de um reservatório frio para um quente, não são impossíveis, mas, sim, improváveis.

Além disso, vimos que a termodinâmica é aplicável apenas a sistemas macroscópicos, ou seja, sistemas que possuem um grande número de moléculas. Assim, quando aumentamos o número de moléculas de um sistema, a probabilidade de ocorrência de um processo para o qual a entropia do universo diminui reduz drasticamente.

Dizemos que para sistemas macroscópicos a probabilidade de um processo resultar um decréscimo de entropia do universo é tão pequena que a distinção de improvável e impossível não tem mais sentido.

## Lista de questões

### Nível 1

#### Questão 1.

(EEAR 2006) Se considerarmos que um ciclo ou uma transformação cíclica de uma dada massa gasosa é um conjunto de transformações após as quais o gás volta às mesmas condições que possuía inicialmente, podemos afirmar que quando um ciclo termodinâmico é completado,

- o trabalho realizado pela massa gasosa é nulo.
- a variação da energia interna da massa gasosa é igual ao calor cedido pela fonte quente.
- a massa gasosa realiza um trabalho igual à variação de sua energia interna.
- a variação de energia interna da massa gasosa é nula.

#### Questão 2.

(EEAR 2006) “É impossível construir uma máquina operando em ciclos cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.”

Esse enunciado, que se refere à Segunda Lei da Termodinâmica, deve-se a



- a) Clausius.
- b) Ampère.
- c) Clapeyron.
- d) Kelvin.

**Questão 3.**

(EEAR 2006) Muitas pessoas costumam ir à praia para o consagrado “banho de Sol”. Dessa forma, pode-se dizer que tais pessoas “recebem” calor, principalmente, através do processo de

- a) Condução.
- b) Irradiação.
- c) Convecção.
- d) Evaporação.

**Questão 4.**

(EEAR 2007) Numa máquina de Carnot, de rendimento 25%, o trabalho realizado em cada ciclo é de 400 J. O calor, em joules, rejeitado para fonte fria vale:

- a) 400
- b) 600
- c) 1200
- d) 1600

**Questão 5.**

(EEAR 2007) Para diminuir a variação de temperatura devido a \_\_\_\_\_ de calor, do alimento em uma embalagem descartável de folha de alumínio, a face espelhada da tampa deve estar voltada para \_\_\_\_\_

Obs: A temperatura do ambiente é maior que a temperatura do alimento.

- a) radiação; dentro
- b) condução; fora
- c) convecção; fora
- d) radiação; fora

**Questão 6.**

(EEAR 2008) A convecção é um processo de transferência de calor que ocorre

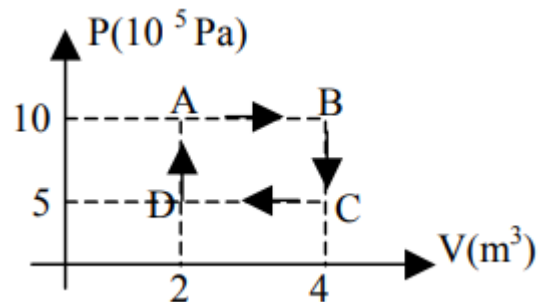
- a) somente nos gases.



- b) somente nos fluidos.
- c) também nos sólidos.
- d) nos sólidos e líquidos.

**Questão 7.**

(EEAR 2008) Um sistema termodinâmico realiza o ciclo indicado no gráfico P x V a seguir



O trabalho resultante e a variação de energia interna do gás, ao completar o ciclo, valem, em joules, respectivamente, \_\_\_\_\_.

- a) zero e zero
- b)  $10 \times 10^5$  e zero
- c) zero e  $10 \times 10^5$
- d)  $20 \times 10^5$  e zero

**Questão 8.**

(EEAR 2009) Alguns balões de festa foram inflados com ar comprimido, e outros com gás hélio. Assim feito, verificou-se que somente os balões cheios com gás hélio subiram. Qual seria a explicação para este fato?

- a) O gás hélio é menos denso que o ar atmosférico.
- b) O ar comprimido é constituído, na sua maioria, pelo hidrogênio.
- c) O gás hélio foi colocado nos balões a uma pressão menor que a do ar comprimido.
- d) Os balões com gás hélio foram preenchidos a uma pressão maior que a do ar comprimido.

**Questão 9.**

(EEAR 2009) Uma certa massa de um gás ideal ocupa um volume de 3 L, quando está sob uma pressão de 2 atm e à temperatura de 27 °C. A que temperatura, em °C, esse gás deverá ser submetido para que o mesmo passe a ocupar um volume de 3,5 L e fique sujeito a uma pressão de 3 atm?

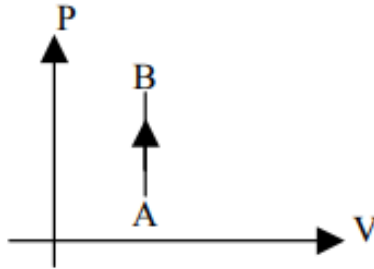
- a) 47,25
- b) 100,00



- c) 252,00
- d) 525,00

**Questão 10.**

(EEAR 2010) Uma certa amostra de gás ideal recebe 20 J de energia na forma de calor realizando a transformação AB indicada no gráfico Pressão (P) X Volume (V) a seguir. O trabalho realizado pelo gás na transformação AB, em J, vale



- a) 20
- b) 10
- c) 5
- d) 0

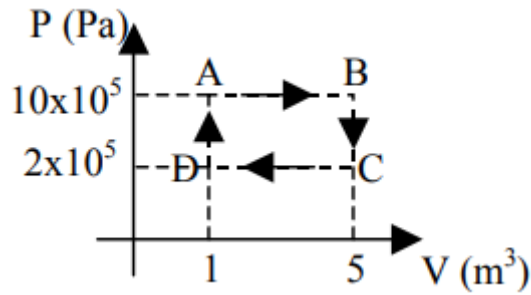
**Questão 11.**

(EEAR 2010) As trocas de energia térmica envolvem processos de transferências de calor. Das alternativas a seguir, assinale a única que não se trata de um processo de transferência de calor.

- a) ebulição
- b) radiação
- c) condução
- d) convecção

**Questão 12.**

(EEAR 2011) Uma certa amostra de um gás monoatômico ideal sofre as transformações que são representadas no gráfico Pressão X Volume (PXV), seguindo a sequência ABCDA.



- a) zero e zero.
- b)  $4 \times 10^6$  e zero.
- c) zero e  $3,2 \times 10^6$ .
- d)  $3,2 \times 10^6$  e zero.

**Questão 13.**

(EEAR 2011) Uma certa amostra de gás monoatômico ideal, sob pressão de  $5 \times 10^5$  Pa, ocupa um volume de  $0,002 \text{ m}^3$ . Se o gás realizar um trabalho de 6000 joules, ao sofrer uma transformação isobárica, então irá ocupar o volume de \_\_\_  $\text{m}^3$ .

- a) 0,014.
- b) 0,012.
- c) 0,008.
- d) 0,006.

**Questão 14.**

(EEAR 2011) Os satélites artificiais, em geral, utilizam a energia solar para recarregar suas baterias. Porém, a energia solar também produz aquecimento no satélite.

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

“Considerando um satélite em órbita, acima da atmosfera, o Sol aquece este satélite por meio do processo de transmissão de calor chamado de \_\_\_\_\_.”

- a) condução
- b) irradiação
- c) convecção
- d) evaporação





**Questão 15.**

(EEAR 2008) O fato de se colocar o aparelho de ar-condicionado na parte superior da parede, ou seja, mais próximo do teto e do congelador ficar localizado na parte superior do refrigerador, referem-se ao processo de transmissão de calor por \_\_\_\_\_.

- a) condução
- b) irradiação
- c) torrefação
- d) convecção

**Questão 16.**

(EEAR 2008) Numa transformação gasosa, dita isobárica, o volume e a temperatura (em K) do gás ideal, são grandezas

- a) constantes.
- b) diretamente proporcionais.
- c) inversamente proporcionais.
- d) que não se apresentam relacionadas.

**Questão 17.**

(EEAR 2010) A expressão  $\Delta U = Q - \tau$ ; onde  $\Delta U$  é a variação da energia interna de um gás,  $Q$  o calor trocado pelo gás e  $\tau$  o trabalho realizado pelo ou sobre o gás, refere-se à

- a) Lei zero da Termodinâmica
- b) Lei geral dos gases perfeitos.
- c) Segunda Lei da Termodinâmica.
- d) Primeira Lei da Termodinâmica.

**Questão 18.**

(EEAR 2013) Dentre as alternativas a seguir, assinale a única incorreta.

- a) A convecção é um processo de transmissão de calor que ocorre apenas nos sólidos.
- b) Solidificação é o nome dado ao fenômeno da passagem de uma substância da fase líquida para a fase sólida.
- c) Sublimação é o nome dado ao fenômeno da passagem de uma substância da fase sólida para a fase gasosa.
- d) A condução é um processo de transmissão de calor no qual o movimento vibratório se transmite de partícula para partícula.

**Questão 19.**

(EEAR 2014) Uma amostra de um gás ideal sofre uma compressão isotérmica. Essa amostra, portanto,

- a) ganha calor da vizinhança.
- b) perde calor para a vizinhança.
- c) está a mesma temperatura da vizinhança.
- d) está a uma temperatura menor que a vizinhança.

**Questão 20.**

(EEAR 2014) Assinale a alternativa que indica corretamente uma situação possível, de acordo com a Termodinâmica.

- a) Máquina de Carnot com rendimento de 100%.
- b) Fonte fria de uma máquina térmica a zero kelvin.
- c) Troca de calor entre objetos com temperaturas iguais.
- d) Máquina de Carnot com rendimento menor que 100%.

**Questão 21.**

(EAM 2016) A termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos determinados por energia térmica, que é a forma de energia relacionada à agitação das partículas de um corpo.

Com relação à termologia, analise as afirmativas abaixo

Quanto maior a energia cinética média das partículas, menor a temperatura do corpo

Para que haja transferência de calor entre dois corpos, eles devem estar a temperaturas diferentes

Quanto maior o calor específico de um material, menor a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.

No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor transferida de um corpo para outro é medida em joules.

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- e) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

**Questão 22.**



(EAM 2014) O calor é uma forma de energia que ocorre devido a uma diferença de temperatura. Assinale a opção que apresenta a forma de propagação de calor que se caracteriza por ocorrer apenas nos fluidos

- a) Convecção.
- b) Irradiação.
- c) Condução.
- d) Equilíbrio Térmico.
- e) Eletrização.

**Questão 23.**

(CN 2013) Observe a tabela a seguir que mostra os mecanismos de perda de calor pelo organismo humano.

Processo	Frequência	Fenômeno
Radiação	40%	Emissão de raios infravermelhos
Convecção	30%	Fluxo de ar quente expirado.
Evaporação	20%	Calor latente de vaporização na superfície da pele.
Respiração	8%	Evaporação da parte da água contida no ar.
	2%	Aquecimento dos gases respiratórios.
Condução	Irrelevante	Contato com objeto mais frio.

Utilizando as informações acima, coloque V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas abaixo e, em seguida, assinale a opção que apresenta a sequência correta.

- ( ) Radiação é o processo de transmissão de calor que não necessita de um meio físico para ocorrer.
- ( ) Na convecção o calor é transmitido através da movimentação de massas chamadas correntes de convecção.



- ( ) A evaporação é um tipo de vaporização lenta e representa a passagem do estado sólido para o estado gasoso.
- ( ) Na condução o calor é transmitido, exclusivamente, através da movimentação de massas.
- ( ) Raios infravermelhos são radiações térmicas visíveis aos olhos humanos.
- ( ) Calor latente é a quantidade de calor necessária para que uma substância pura mude de estado físico sem alterar a sua temperatura.
- a) (V) (V) (F) (F) (F) (V)
- b) (V) (V) (F) (F) (F) (F)
- c) (V) (F) (V) (V) (F) (V)
- d) (F) (V) (F) (F) (V) (V)
- e) (F) (V) (V) (V) (F) (F)

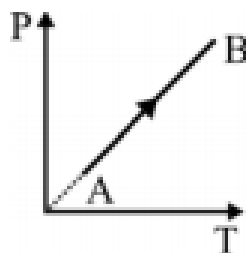
**Questão 24.**

(EEAR 2020) Em regiões mais frias, é usual utilizar o parâmetro “Sensação Térmica” para definir a temperatura percebida pelas pessoas. A exposição da pele ao vento é uma das variáveis que compõem esse parâmetro. Se durante essa exposição, a camada de ar em contato com a pele é constantemente renovada por outra com uma temperatura menor do que a pele, pode-se afirmar corretamente que:

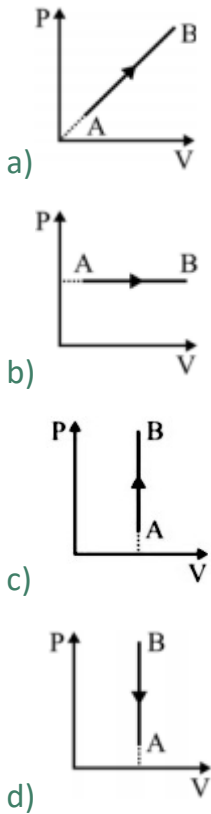
- não há troca de calor entre a pele e a camada de ar.
- há troca constante de calor da camada de ar para a pele.
- há troca constante de calor da pele para a camada de ar.
- há troca constante de calor da pele para camada de ar e vice-versa.

**Questão 25.**

(EEAR 2020) Uma amostra de um gás ideal sofre a transformação termodinâmica do estado A para o estado B representada no gráfico P (pressão) em função de T (temperatura) representada a seguir:



Entre as alternativas, assinale aquela que melhor representa o gráfico P em função de V (volume) correspondente a transformação termodinâmica de A para B.



**Questão 26.**

(EEAR 2020) É comum, na Termodinâmica, utilizar a seguinte expressão:  $\frac{(P_1V_1)}{T_1}$  é igual a  $\frac{(P_2V_2)}{T_2}$ . Nessa expressão, P, V e T representam, respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura de uma amostra de um gás ideal. Os números representam os estados inicial (1) e final (2). Para utilizar corretamente essa expressão é necessário que o número de mols, ou de partículas, do estado final seja \_\_\_\_\_ do estado inicial e que a composição dessa amostra seja \_\_\_\_\_ nos estados final e inicial.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas da frase acima.

- a) o mesmo – a mesma
- b) diferente – a mesma
- d) o mesmo – diferente
- e) diferente – diferente

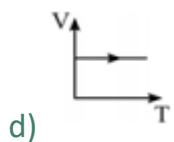
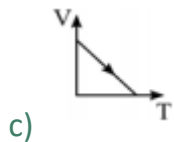
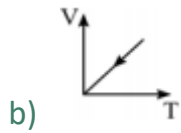
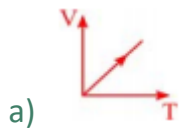
**Questão 27.**

(EEAR 2018) O gráfico que melhor representa a expansão de uma amostra de gás ideal a pressão constante é:

Considere:



- 1) a temperatura (T) dada em kelvin (K) e
- 2)  $V =$  volume.



**Questão 28.**

(EEAR 2018) Se um motor recebe 1000 J de energia calorífica para realizar um trabalho de 700 J, pode-se afirmar que a variação de sua energia interna, em joules, e seu rendimento, valem:

- a)  $\Delta U = 300$ ;  $r = 70\%$
- b)  $\Delta U = 300$ ;  $r = 30\%$
- c)  $\Delta U = 1700$ ;  $r = 70\%$
- d)  $\Delta U = 1700$ ;  $r = 30\%$

**Questão 29.**

(EEAR 2018) Um balão de borracha preto foi preenchido com ar e exposto ao sol. Após certo tempo tende a se mover para cima se não estiver preso a algo. Uma possível explicação física para tal acontecimento seria:

- a) O aquecimento do ar dentro do balão causa uma propulsão em seu interior devido à convecção do ar;
- b) O aumento da temperatura dentro do balão diminui a densidade do ar, fazendo com que o empuxo tenda a ficar maior do que o peso;
- c) A borracha do balão tem a sua composição alterada, tornando-o mais leve;
- d) O aquecimento do ar diminui a massa do mesmo dentro do balão, tornando-o mais leve.

**Questão 30.**





(EEAR 2017) Ao construir uma máquina de Carnot, um engenheiro percebeu que seu rendimento era de 25%. Se a fonte fria trabalha a 25 °C, a temperatura da fonte quente, em °C, de tal motor será aproximadamente:

- a) 12,4
- b) 124
- c) 1240
- d) 12400

**Questão 31.**

(EEAR 2015) Ao estudar as transformações termodinâmicas, um aluno lê a seguinte anotação em um livro:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

Onde  $P_0$  e  $P_f$  são as pressões inicial e final,  $V_0$  e  $V_f$  são os volumes inicial e final; e  $T_0$  e  $T_f$  são as temperaturas inicial e final de uma amostra de gás ideal. O aluno pode afirmar corretamente que, nessa anotação,  $\frac{P_0 V_0}{T_0}$  e  $\frac{P_f V_f}{T_f}$  se referem:

- a) a amostras diferentes de gás ideal.
- b) a uma mesma amostra de gás ideal.
- c) somente ao número de mols de amostras diferentes.
- d) à variação do número de mols em uma transformação.

**Questão 32.**

(EEAR 2015) A transformação termodinâmica em que o calor cedido ou absorvido se refere ao calor latente é a transformação:

- a) isobárica.
- b) adiabática.
- c) isométrica.
- d) isotérmica.

**Questão 33.**

(EEAR 2015) Uma amostra de um gás ideal sofre uma expansão isobárica. Para que isto ocorra é necessário que essa amostra :

- a) não realize trabalho.

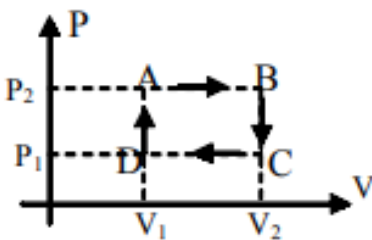


- b) Permaneça com temperatura constante.
- c) Receba calor e cujo valor seja maior que o trabalho realizado.
- d) Receba calor e cujo valor seja menor que o trabalho realizado.

**Questão 34.**

(EEAR 2014) Considere uma máquina térmica que funciona em ciclos, tal como indica o gráfico de pressão e volume apresentado abaixo:

Observação: as linhas pontilhadas que determinam os segmentos AB e DC são paralelas ao eixo V, de maneira análoga, as linhas pontilhadas que determinam os segmentos DA e BC são paralelas ao eixo P.



Neste caso, podemos afirmar, corretamente, que:

- a) O trabalho resultando é nulo.
- b) O ciclo é formado por duas transformações isobáricas e duas isocóricas.
- c) O ciclo é formado por duas transformações isotermas e duas isobáricas.
- d) Todas as transformações ocorridas no ciclo foram adiabáticas.

**Questão 35.**

(EEAR 2012) Após a tsunami atingir a cidade japonesa de Fukushima, o sistema elétrico que mantinha o resfriamento dos reatores dessa cidade parou de funcionar. Esses reatores são conhecidos como de segunda geração.

Já os geradores de terceira geração, mais modernos, para manter a temperatura do núcleo constante utilizam o movimento, devido a convecção, de um fluido de refrigeração próximo ao núcleo do reator (a uma temperatura  $T_R$ ) até um reservatório em que este fluido está a uma temperatura  $T_A$ .

Entre as alternativas, assinale aquela que indica uma situação em que não ocorre o processo de convecção.

- a)  $T_R > T_A$ .
- b)  $T_R = T_A$ .
- c) Usar água do mar como fluido, para  $T_R > T_A$ .
- d) Usar ar atmosférico como fluido, para  $T_R > T_A$ .



**Questão 36.**

(EAM 2011) O comportamento do ser humano se transformou no momento em que dominou o fogo e obteve luz para iluminar a escuridão; e calor para aquecer os dias frios e espantar os animais predadores. Sobre o homem na pré-história, sentado à beira de uma fogueira, foram feitas as seguintes afirmações:

O calor chega até ele por condução.

A fumaça da fogueira sobe por correntes de convecção.

A luz do fogo é uma onda eletromagnética.

O calor da fogueira tem uma temperatura muito alta.

Assinale a opção que apresenta as afirmativas INCORRETAS:

a) I e III.

b) II e IV.

c) III e IV.

d) I e IV.

e) II e III.

**Questão 37.**

(EEAR 2008) Dentro de um determinado recipiente fechado existe uma massa de gás ideal ocupando um determinado volume  $X$ , à pressão de  $0,6 \text{ atm}$  e a temperatura de  $300 \text{ K}$ . Se todo o conjunto for aquecido até  $97 \text{ }^\circ\text{C}$ , em uma transformação isocórica, qual será o valor, em  $\text{atm}$ , da nova pressão do gás?

a)  $0,74$

b)  $1,20$

c)  $4,50$

d)  $6,00$

**Questão 38.**

(EEAR 2008) A Lei zero da Termodinâmica está diretamente ligada:

a) ao equilíbrio térmico.

b) ao Princípio da Conservação da Energia.

c) à impossibilidade de se atingir a temperatura de  $0 \text{ K}$ .

d) ao fato de corpos de mesma massa possuírem iguais quantidades de calor.

**Questão 39.**



(EEAR 2019) Considere as seguintes afirmações sobre uma máquina térmica operando segundo o ciclo de Carnot, entre duas fontes de calor, uma a  $27^{\circ}\text{C}$  e a outra a  $57^{\circ}\text{C}$ .

( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 52% e esse rendimento é máximo, ao menos que a temperatura da fonte fria seja zero.

( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5000J de calor da fonte quente, rejeitará 1000J para a fonte fria.

( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5000J da fonte quente, rejeitará 4500J para a fonte fria.

( ) O rendimento dessa máquina irá aumentar se houver aumento da diferença de temperatura entre as fontes de calor.

Atribuindo-se verdadeiro (V) ou falso (F) para cada uma das afirmações, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

a) V – F – V – F

b) V – V – V – F

c) F – F – V – F

d) F – F – V – V

#### Questão 40.

(CN 2019) Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

a) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.

b) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.

c) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo que a maçaneta está mais fria do que a porta.

d) A energia potencial gravitacional depende da escolha do referencial adotado.

e) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

#### Questão 41.

(EAM 2019) Um gás ideal sofre uma transformação isobárica cuja pressão é  $10\text{ N/m}^2$ , alterando seu volume de  $2\text{ m}^3$  para  $6\text{ m}^3$ . Sendo assim, assinale a opção que fornece o trabalho, em joules, realizado pelo gás sobre o ambiente.

a) 10

b) 20

c) 30

d) 40

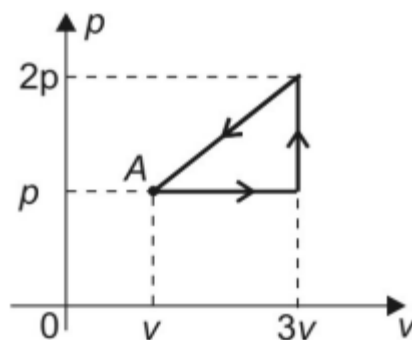


e) 50

## Nível 2

### Questão 1.

(AFA 2009) O diagrama a seguir representa o ciclo percorrido por 3 mols de um gás perfeito.

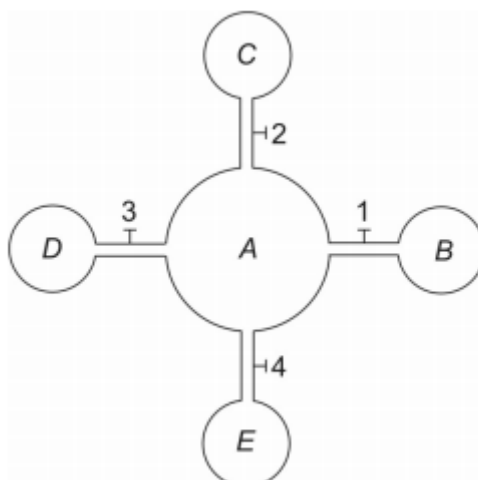


Sabendo-se que no estado A a temperatura é  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  e considerando  $R = 8\text{ J/mol} \cdot \text{K}$ , o trabalho, em joules, realizado pelo gás no ciclo é

- a) 12000
- b) - 6000
- c) 1104
- d) - 552

### Questão 2.

(AFA 2009) O gás contido no balão A de volume  $V$  e pressão  $p$  é suavemente escoado através de dutos rígidos e de volumes desprezíveis, para os balões B, C, D e E, idênticos e inicialmente vazios, após a abertura simultânea das válvulas 1, 2, 3 e 4, como mostra a figura abaixo.



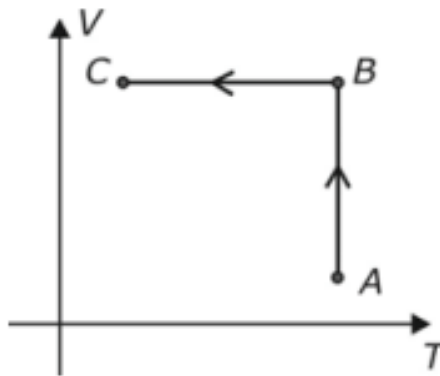


Após atingido o equilíbrio, a pressão no sistema de balões assume o valor  $\frac{P}{3}$ . Considerando que não ocorre variação de temperatura, o volume de dois dos balões menores é

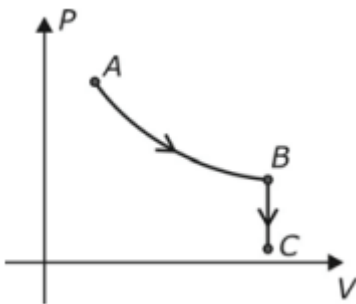
- a) 0,5 V
- b) 1,0 V
- c) 1,5 V
- d) 2,0 V

**Questão 3.**

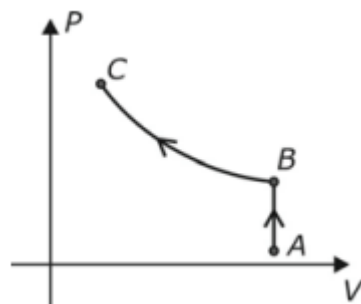
(AFA 2010) No diagrama a seguir, do volume (V) em função da temperatura absoluta (T), estão indicadas as transformações AB e BC sofridas por uma determinada massa de gás ideal.



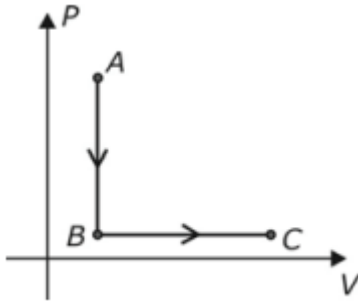
Num diagrama da pressão (P) em função do volume (V), essas transformações deveriam ser indicadas por



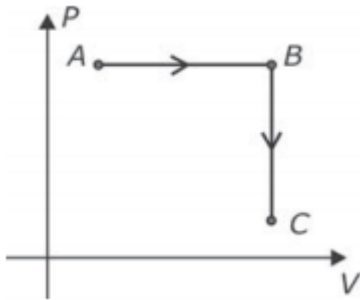
a)



b)



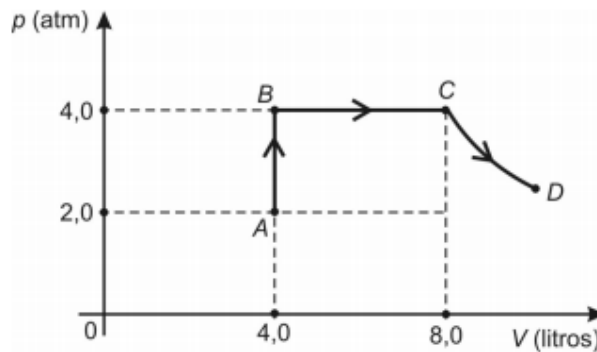
c)



d)

**Questão 4.**

(AFA 2015) Uma amostra de  $n$  mols de gás ideal sofre as transformações AB (isovolumétrica), BC (isobárica) e CD (isotérmica) conforme representação no diagrama pressão ( $p$ ) x volume ( $V$ ), mostrado a seguir



Sabendo-se que a temperatura do gás no estado A é  $27\text{ }^\circ\text{C}$ , pode-se afirmar que a temperatura dele, em  $^\circ\text{C}$ , no estado D é

- a) 108
- b) 327
- c) 628
- d) 927

**Questão 5.**

(AFA 2014) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de  $227\text{ }^\circ\text{C}$  e  $527\text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a máquina 2 opera entre  $227\text{ K}$  e  $527\text{ K}$ . Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.





A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.

Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente.

Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria.

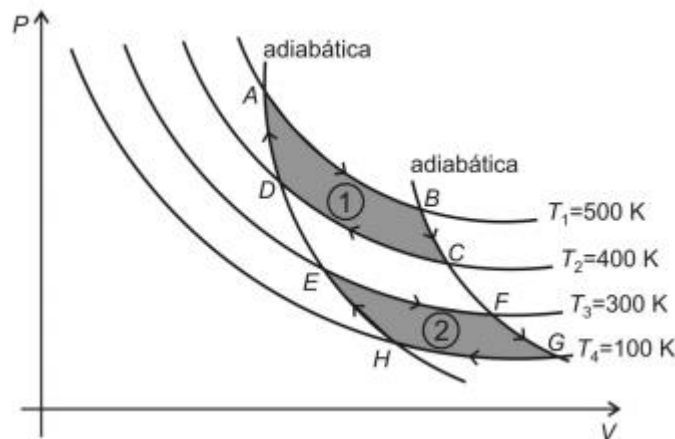
Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) II e IV.
- d) III e IV.

**Questão 6.**

(AFA 2014) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama PV abaixo.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  de uma fonte quente à temperatura  $T_1$  e cede a quantidade de calor  $Q_2$  para a fonte fria à temperatura  $T_2$ . Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida,  $Q'_1$ , e cedida,  $Q'_2$ , são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ .

Nessas condições, é correto afirmar que

- a) a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é não nula.
- b) nas transformações AB e EF, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações CD e GH, é positiva.
- c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e  $Q_1 = \frac{5}{4} \cdot Q_2$
- d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e  $Q'_1 = 3 \cdot Q'_2$ .



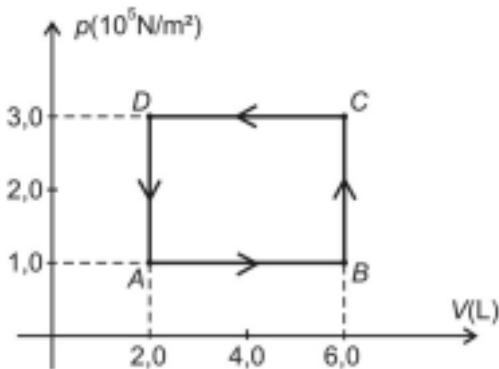
**Questão 7.**

(AFA 2000) Uma máquina térmica funcionando segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas  $T_1 = 700\text{K}$  e  $T_2 = 300\text{K}$  recebe da fonte quente  $1250\text{J}$  de calor. O calor rejeitado, em joules, para a fonte fria é aproximadamente

- a) 423
- b) 536
- c) 641
- d) 712

**Questão 8.**

(AFA 2017) Um sistema termodinâmico constituído de  $n$  mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado pode-se afirmar que:

- a) o trabalho em cada ciclo é de  $800\text{J}$  e é realizado pelo sistema.
- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que ele está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera  $800\text{J}$  de calor para o meio ambiente.

**Questão 9.**

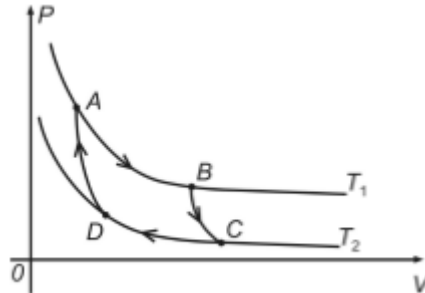
(EAM 2008) Em relação aos meios de propagação do calor e suas características, assinale a opção correta.

- a) Condução / É típico dos sólidos / Ocorre deslocamento de matéria.
- b) Condução / É típico dos gases / Ocorre em corpos em contato.
- c) Convecção / É típica dos gases / É onda eletromagnética.
- d) Irradiação / É onda eletromagnética / Ocorre entre o Sol e a Terra.
- e) Irradiação / Ocorre entre o Sol e Terra / Ocorre deslocamento de matéria.



**Questão 10.**

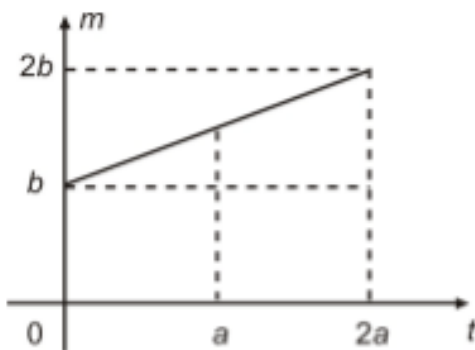
(AFA 2008) A figura a seguir representa o Ciclo de Carnot realizado por um gás ideal que sofre transformações numa máquina térmica. Considerando-se que o trabalho útil fornecido pela máquina, em cada ciclo, é igual a 1500 J e, ainda que,  $T_1 = 600$  K e  $T_2 = 300$  K, é INCORRETO afirmar que:



- a) a quantidade de calor retirada da fonte quente é de 3000 J.
- b) de A até B o gás se expande isotermicamente.
- c) de D até A o gás é comprimido sem trocar calor com o meio externo.
- d) de B até C o gás expande devido ao calor recebido do meio externo.

**Questão 11.**

(AFA 2008) Um cilindro de volume constante contém determinado gás ideal à temperatura  $T_0$  e pressão  $P_0$ . Mantém-se constante a temperatura do cilindro e introduz-se, lentamente, a partir do instante  $t = 0$ , certa massa do mesmo gás. O gráfico abaixo representa a massa  $m$  de gás existente no interior do cilindro em função do tempo  $t$ .



Nessas condições, a pressão do gás existente no recipiente, para o instante  $t = a$ , é igual a:

- a)  $1,5p_0$ .
- b)  $2,0p_0$ .
- c)  $2,5p_0$ .
- d)  $4,0p_0$ .



**Questão 12.**

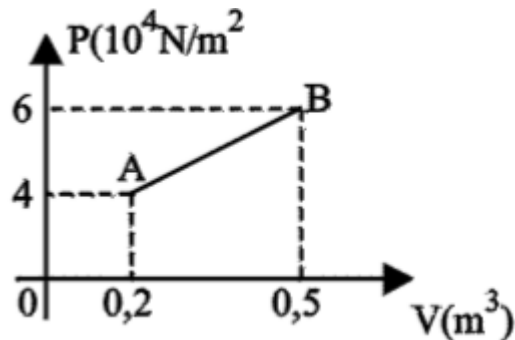
(AFA 2004) No início do curso de compressão, o cilindro de um motor diesel contém  $800 \text{ cm}^3$  de ar, à pressão atmosférica (1 atm) e à temperatura de  $27^\circ\text{C}$ . No fim desse curso, o volume de ar foi reduzido para  $50 \text{ cm}^3$  e a pressão manométrica aumentada para 40 atm. A variação de temperatura da massa do ar no cilindro foi de:

- a)  $450^\circ\text{C}$
- b)  $477^\circ\text{C}$
- c)  $177^\circ\text{C}$
- d)  $750^\circ\text{C}$

**Questão 13.**

(AFA 1999) Oito mols de um gás ideal monoatômico sofrem o processo termodinâmico AB indicado no gráfico. A quantidade de calor, em kJ, trocada pelo gás na transformação de A para B, é:

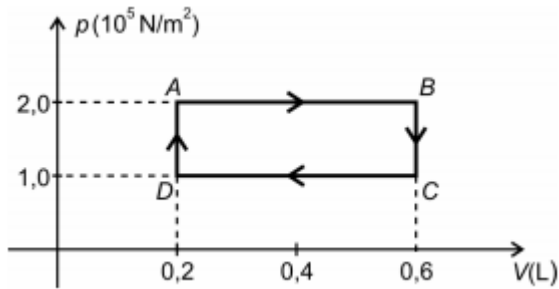
(dado:  $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$ )



- a) 6
- b) 12
- c) 15
- d) 48

**Questão 14.**

(AFA 2011) O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por  $n$  mols de um gás ideal.



Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o):

- potência desse sistema é de 1600 W.
- trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- temperatura do gás é menor no ponto C.

**Questão 15.**

(AFA 1999) No interior de um cilindro, encontram-se  $30 \text{ cm}^3$  de um gás perfeito, sob pressão de 3 atm e temperatura de  $50^\circ\text{C}$ . Inicialmente, o gás sofre expansão isotérmica e seu volume passa a ser  $70 \text{ cm}^3$ . A seguir, sofre transformação isocórica e a pressão torna-se 2,5 atm. No final, a temperatura do gás, em  $^\circ\text{C}$ , vale:

- 323
- 355
- 430
- 628

**Questão 16.**

(AFA 1999) Uma máquina térmica trabalha entre as temperaturas de 300 K e 600 K. Em cada ciclo, a máquina retira 221 J de calor da fonte quente e rejeita 170 J de calor para a fonte fria. O rendimento da máquina e o rendimento máximo, em porcentagem, que ela poderia ter com as temperaturas entre as quais opera são, respectivamente:

- 44 e 56
- 23 e 50
- 50 e 77
- 23 e 77

**Questão 17.**

(AFA 1999) Certa massa de metano, cuja molécula-grama é 16 gramas, ocupa volume de 120 litros sob pressão de 2,5 atm e à temperatura de  $427^\circ\text{C}$ . A massa do metano, em gramas, é:

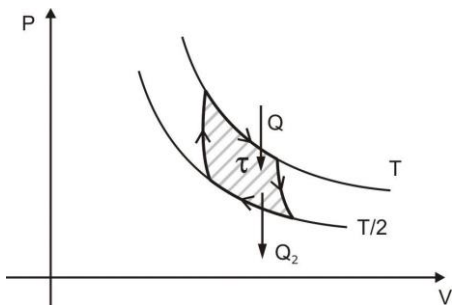


(dado:  $R = 0,082 \text{ atm.l/mol.K}$ )

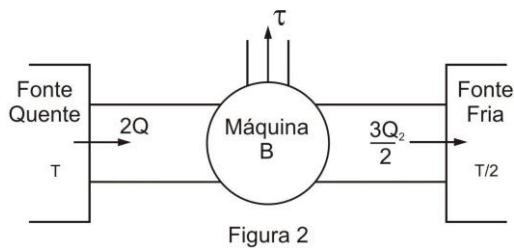
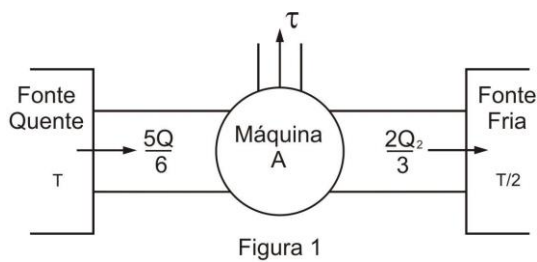
- a) 3,06
- b) 5,22
- c) 19,06
- d) 83,60

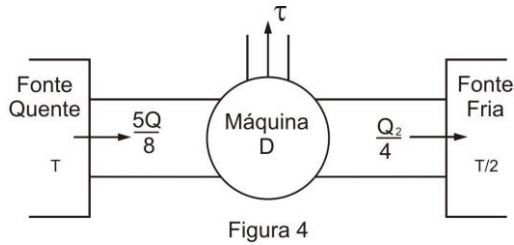
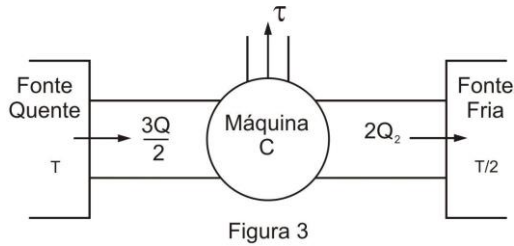
**Questão 18.**

(AFA-2020) 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  $\tau$  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  $\tau$  da máquina M.



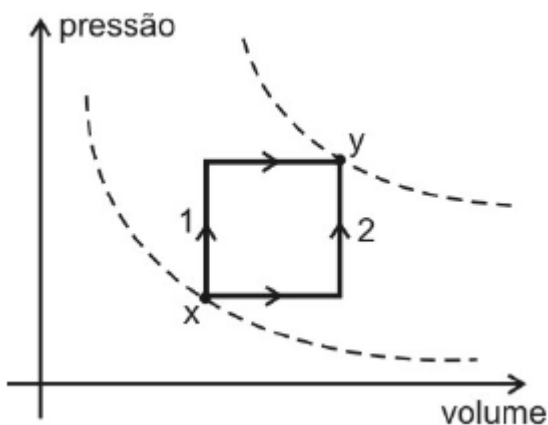


Nessas condições, as máquinas térmicas que poderiam ser construídas, a partir dos projetos apresentados, seriam

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

**Questão 19.**

(AFA-2018) Um sistema gasoso constituído por  $n$  mols de um gás perfeito passa do estado  $x$  para o estado  $y$  por meio dos processos distintos 1 e 2 mostrados no esquema a seguir.



Se no processo 2 o sistema realiza um trabalho de 200 J e absorve uma quantidade de calor de 500 J, é correto afirmar que

- a) quando o sistema for trazido de volta ao estado inicial  $x$  sua energia interna irá diminuir de 700 J.

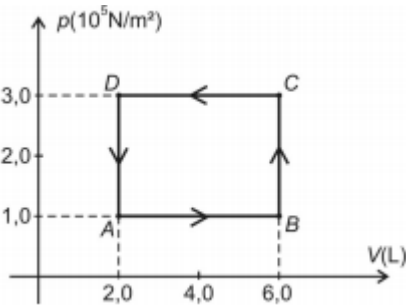




- b) a variação da energia interna será a mesma tanto no processo 1 quanto no 2.
- c) o trabalho realizado no processo 1 será igual ao trabalho realizado no processo 2.
- d) se no processo 1 o trabalho realizado for de 400 J o calor recebido será de 1000 J.

**Questão 20.**

(AFA-2017) Um sistema termodinâmico constituído de  $n$  mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.

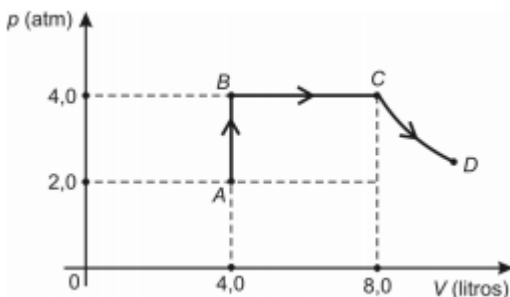


De acordo com o apresentado pode-se afirmar que

- a) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.
- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que ele está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

**Questão 21.**

(AFA-2015) Uma amostra de  $n$  mols de gás ideal sofre as transformações **AB** (isovolumétrica), **BC** (isobárica) e **CD** (isotérmica) conforme representação no diagrama pressão ( $p$ )  $\times$  volume ( $V$ ), mostrado a seguir.



Sabendo-se que a temperatura do gás no estado A é 27 °C, pode-se afirmar que a temperatura dele, em °C, no estado D é

- a) 108
- b) 327
- c) 628



d) 927

**Questão 22.**

(AFA-2014) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227°C e 527 °C, enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K. Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.

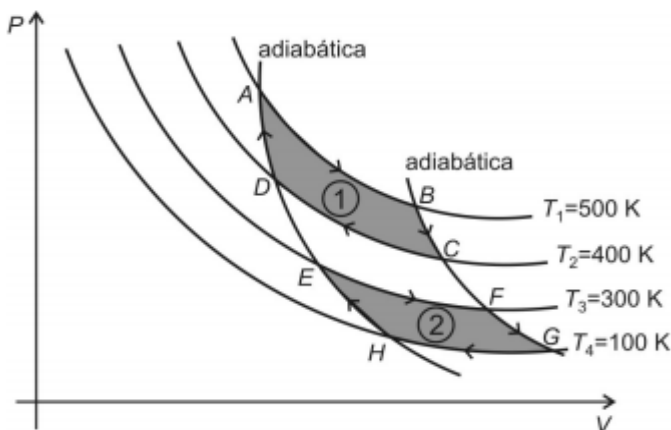
- I A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.
- II Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente.
- III Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria.
- IV Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- a) I e II
- b) I e III.
- c) II e IV.
- d) III e IV.

**Questão 23.**

(AFA-2014) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama **PV** abaixo.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  de uma fonte quente à temperatura  $T_1$  e cede a quantidade de calor  $Q_2$  para a fonte fria à temperatura  $T_2$ . Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida,  $Q'_1$ , e cedida,  $Q'_2$ , são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ .

Nessas condições, é correto afirmar que

- a) a variação da entropia nas transformações **BC, DA, FG** e **HE** é não nula.



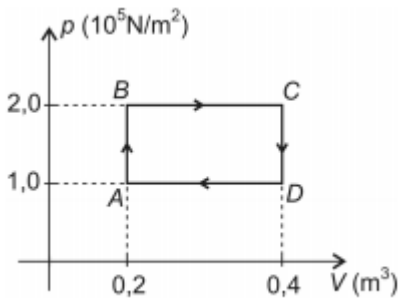
b) nas transformações **AB** e **EF**, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações **CD** e **GH**, é positiva

c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e  $Q_1 = \frac{5}{4} Q_2$

d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e  $Q'_1 = 3Q'_2$

**Questão 24.**

(AFA-2013) Uma máquina térmica funciona fazendo com que 5 mols de um gás ideal percorra o ciclo **ABCD** representado na figura.



Sabendo-se que a temperatura em A é 227 °C, que os calores específicos molares do gás, a volume constante e a pressão constante, valem, respectivamente,  $\frac{3}{2} R$  e  $\frac{5}{2} R$  e que R vale aproximadamente 8 J/mol K, o rendimento dessa máquina, em porcentagem, está mais próximo de

- a) 12
- b) 15
- c) 18
- d) 21

**Questão 25.**

(AFA-2012) Com relação às máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir.

I - Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.

II - O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.

III - É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.

IV - Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

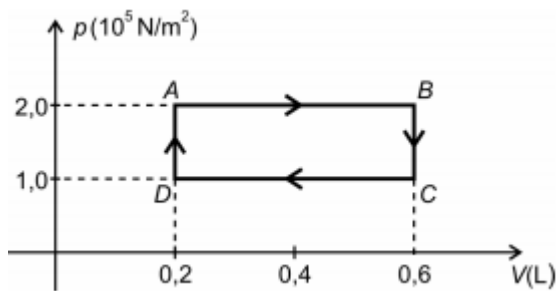


São corretas apenas

- a) I e II
- b) II e III
- c) I, III e IV
- d) II e IV

**Questão 26.**

(AFA-2011) O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por  $n$  mols de um gás ideal.

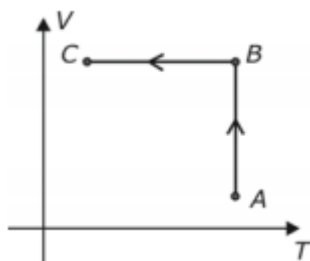


Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o)

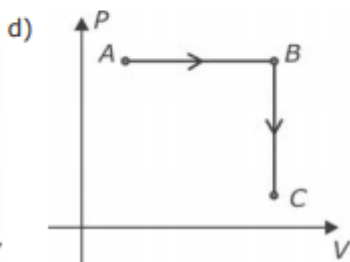
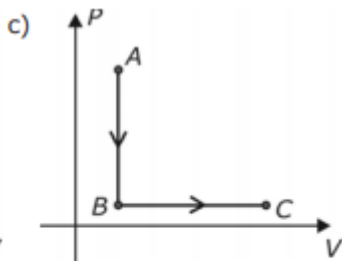
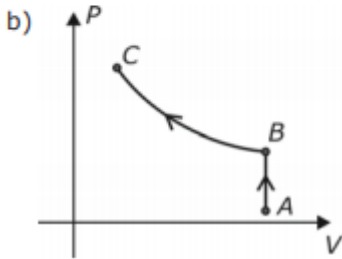
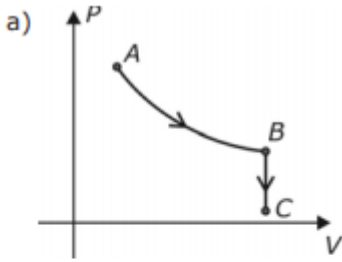
- a) potência desse sistema é de 1600 W.
- b) trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- c) quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- d) temperatura do gás é menor no ponto **C**.

**Questão 27.**

(AFA-2010) No diagrama a seguir, do volume ( $V$ ) em função da temperatura absoluta ( $T$ ), estão indicadas as transformações **AB** e **BC** sofridas por uma determinada massa de gás ideal.

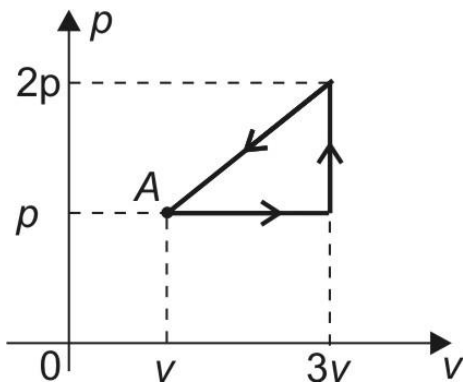


Num diagrama da pressão ( $P$ ) em função do volume ( $V$ ), essas transformações deveriam ser indicadas por



**Questão 28.**

(AFA-2009) O diagrama a seguir representa o ciclo percorrido por 3 mols de um gás perfeito.



Sabendo-se que no estado A a temperatura é  $-23\text{ }^\circ\text{C}$  e considerando  $R = 8\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ , o trabalho, em joules, realizado pelo gás no ciclo é

- a) 12000

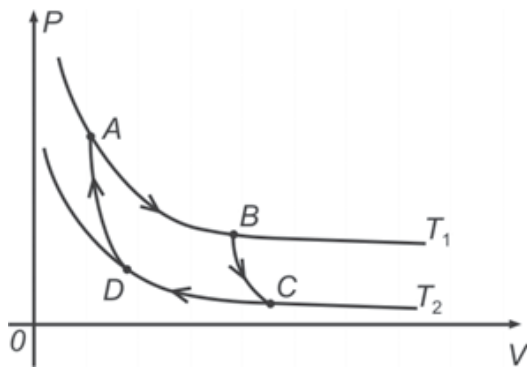


- b) -6000
- c) 1100
- d) -552

**Questão 29.**

(AFA-2007) A figura a seguir representa o Ciclo de Carnot realizado por um gás ideal que sofre transformações numa máquina térmica.

Considerando-se que o trabalho útil fornecido pela máquina, em cada ciclo, é igual a 1500 J e, ainda que,  $T_1 = 600\text{ K}$  e  $T_2 = 300\text{ K}$ , é INCORRETO afirmar que



- a) a quantidade de calor retirada da fonte quente é de 3000 J.
- b) de **A** até **B** o gás se expande isotermicamente.
- c) de **D** até **A** o gás é comprimido sem trocar calor com o meio externo.
- d) de **B** até **C** o gás expande devido ao calor recebido do meio externo

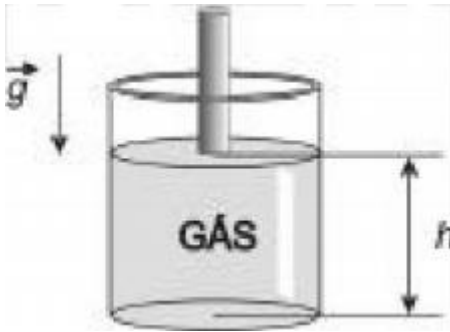
**Questão 30.**

(AFA-2006) Com recursos naturais cada vez mais escassos, urge-se pensar em novas fontes alternativas de energia. Uma das idéias sugeridas consiste em se aproveitar a energia térmica dos oceanos, cuja água pode apresentar em uma superfície uma temperatura de 20 oC e no fundo temperatura em torno de 5,0 oC. Um motor térmico operando neste intervalo de temperatura poderia ter um rendimento de

- a) 3,0%
- b) 7,5%
- c) 9,0%
- d) 27%

**Questão 31.**

(AFA-2006) A figura mostra um cilindro que contém um gás ideal, com um êmbolo livre para se mover sem atrito. À temperatura de 27 oC, a altura h na qual o êmbolo se encontra em equilíbrio vale 20 cm.

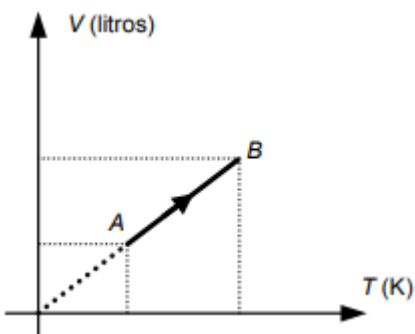


Aquecendo-se o cilindro à temperatura de 39 °C e mantendo-se inalteradas as demais características da mistura, a nova altura  $h$  será, em cm,

- a) 10,8
- b) 20,4
- c) 20,8
- d) 10,4

**Questão 32.**

(AFA-2003) Um gás ideal evolui de um estado **A** para um estado **B**, de acordo com o gráfico a seguir:



São feitas três afirmações a respeito desse gás ao evoluir de **A** para **B**.

- I - A sua pressão aumentou.
- II - Ele realizou trabalho.
- III - Ele recebeu calor.

É(são) verdadeiro(s) apenas o(s) item(ns)

- II.
- II e III.
- c) I e III.
- d) I.

**Questão 33.**



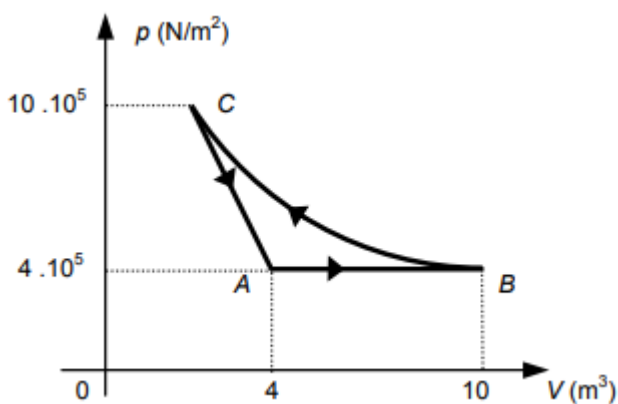


(AFA-2003) Uma máquina térmica, que opera segundo o ciclo de Carnot e cujo reservatório a baixa temperatura encontra-se a  $27^\circ\text{C}$ , apresenta um rendimento de 40%. A variação da temperatura em kelvin, da fonte quente, a fim de aumentarmos seu rendimento em 10%, será

- a) 300.
- b) 500.
- c) 100.
- d) 600.

**Questão 34.**

(AFA-2003) Um gás perfeito sofre as transformações conforme o gráfico a seguir.

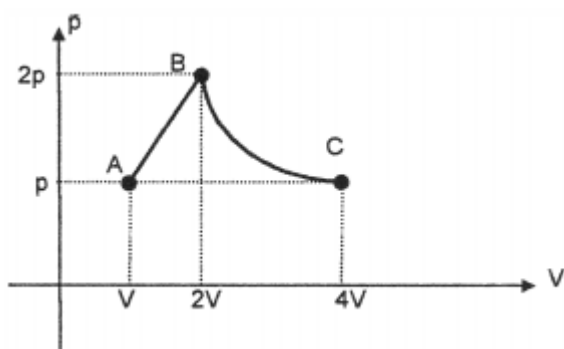


O trabalho, em joules, realizado na transformação AB é

- a)  $4,0 \cdot 10^6$
- b)  $1,6 \cdot 10^6$
- c) zero
- d)  $2,4 \cdot 10^6$

**Questão 35.**

(AFA-2002) Um gás ideal monoatômico sofre as transformações AB e BC representadas no gráfico  $p \times V$  abaixo.



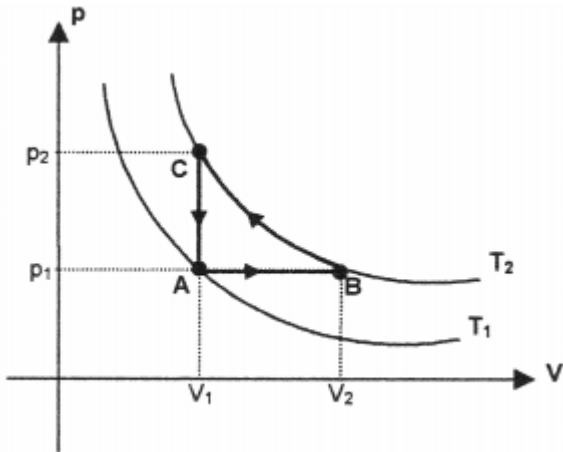
Analisando o gráfico pode-se afirmar que, na transformação



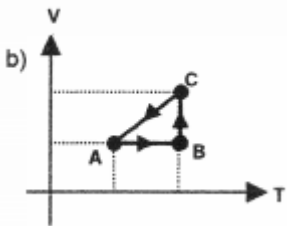
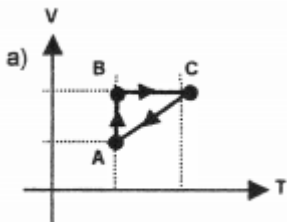
- a) AB, o gás recebe calor do meio externo.
- b) BC, a energia interna do gás aumenta.
- c) AB, o gás perde calor para o meio externo.
- d) BC, a energia interna do gás diminui.

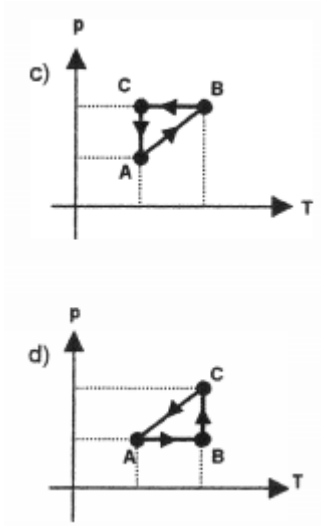
**Questão 36.**

(AFA-2002) Um gás ideal sofre a transformação cíclica ABCA indicada no seguinte gráfico:



Dos diagramas abaixo, o que MELHOR representa a transformação anterior é





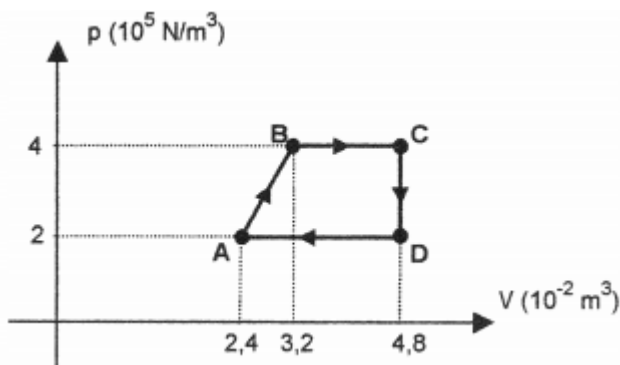
**Questão 37.**

(AFA-2002) Um motor térmico que funciona segundo o Ciclo de Carnot, absorve 400 cal de uma fonte quente a 267 °C e devolve 220 cal para uma fonte fria. A temperatura da fonte fria, em °C, é

- a) 12.
- b) 24.
- c) 147.
- d) 297.

**Questão 38.**

(AFA-2002) Uma máquina térmica funciona de acordo com o ciclo dado pela figura abaixo. Essa máquina foi construída usando dois moles de um gás ideal monoatômico, e no decorrer de cada ciclo não há entrada nem saída de gás no reservatório que o contém.



O máximo rendimento e o trabalho realizado por essa máquina valem, respectivamente,

- a) 13% e  $8 \times 10^2$  J.
- b) 75% e  $8 \times 10^2$  J.
- c) 13% e  $4 \times 10^3$  J.

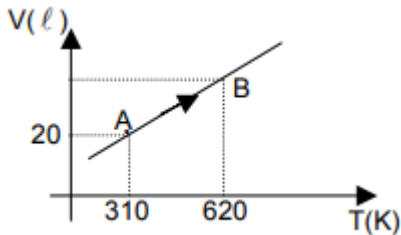


d) 75% e  $4 \times 10^3$  J.

**Questão 39.**

(AFA-2000) O volume de um mol de gás ideal varia linearmente em função da temperatura, conforme gráfico abaixo. O trabalho realizado pelo gás ao passar do estado A para o estado B, em joules, é

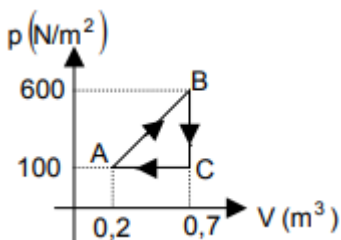
Dado:  $R = 8,3 \text{ J/mol K} = 0,082 \text{ atm l/mol K}$



- a) 25
- b) 51
- c) 2573
- d) 5146

**Questão 40.**

(AFA-2000) Um gás sofre a transformação cíclica ABCA indicada no gráfico abaixo. A quantidade de calor, em joules, trocada no ciclo é



- a) 125
- b) 175
- c) 300
- d) 600

**Questão 41.**

(AFA-2000) Uma máquina térmica funcionando segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas  $T_1 = 700 \text{ K}$  e  $T_2 = 300 \text{ K}$  recebe da fonte quente 1250 J de calor. O calor rejeitado, em joules, para a fonte fria é aproximadamente

- a) 423



- b) 536
- c) 641
- d) 712

**Questão 42.**

(AFA-2000) Dois corpos, de massas e volumes diferentes, estão em equilíbrio térmico quando apresentam os mesmos valores de

- a) entropia.
- b) temperatura.
- c) capacidade térmica.
- d) quantidade de calor.

**Questão 43.**

(AFA-1999) O princípio fundamental em que se baseia o termômetro é a (o)

- a) lei zero da termodinâmica.
- b) primeira lei da termodinâmica.
- c) segunda lei da termodinâmica.
- d) das trocas de calor sensível e latente.

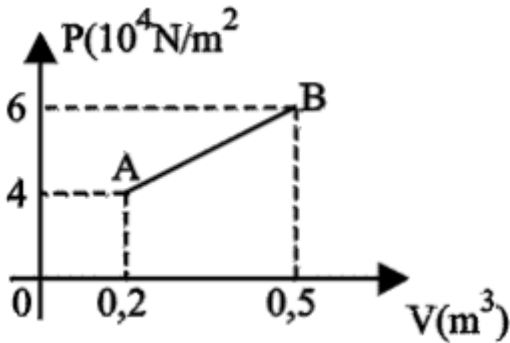
**Questão 44.**

(AFA-1999) Uma máquina térmica trabalha entre as temperaturas de 300 K e 600 K. Em cada ciclo, a máquina retira 221 J de calor da fonte quente e rejeita 170 J de calor para a fonte fria. O rendimento da máquina e o rendimento máximo, em porcentagem, que ela poderia ter com as temperaturas entre as quais opera são, respectivamente,

- a) 44 e 56
- b) 23 e 50
- c) 50 e 77
- d) 23 e 77

**Questão 45.**

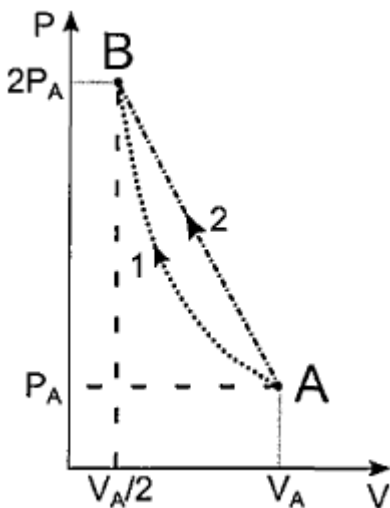
(AFA-1999) Oito mols de um gás ideal monoatômico sofrem o processo termodinâmico AB indicado no gráfico. A quantidade de calor, em kJ, trocada pelo gás na transformação de A para B, é (dado:  $R = 8,31 \text{ J/molK}$ )



- a) 6
- b) 12
- c) 15
- d) 48

**Questão 46.**

(EN-2019) Analise o gráfico abaixo.



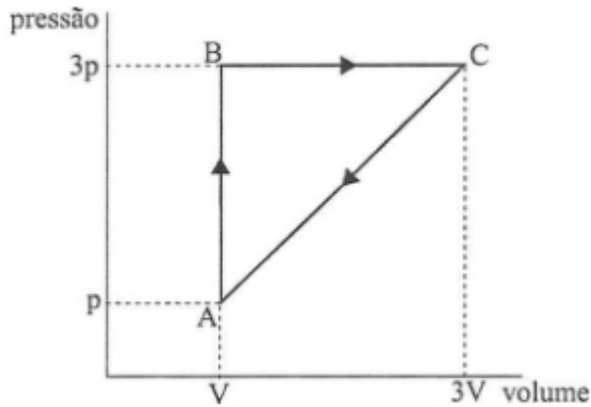
Um mol de certo gás ideal monoatômico, no estado inicial  $(P_A, V_A, T_A)$ , deve ter sua pressão dobrada e seu volume reduzido à metade, atingindo o estado  $(P_B, V_B, T_B)$ . Para isso, dois processos distintos são testados separadamente: o processo 1 é isotérmico, com o gás cedendo ao meio externo um calor  $Q_1$ . Já no processo 2, a curva AB é retilínea, e o calor cedido pelo gás é  $Q_2 = Q_1/0,92$ . Sendo R a constante dos gases ideais, o produto  $RT_A = U_0$  e  $W_1$  o trabalho realizado sobre o gás no processo 1, a razão  $W_1/U_0$  vale:

- a) 0,90
- b) 0,75
- c) 0,69
- d) 0,50
- e) 0,32



**Questão 47.**

(EN-2018) Analise o diagrama PV abaixo.



A figura acima exibe, num diagrama PV, um ciclo reversível a que está submetido 2 moles de um gás monoatômico ideal. Sabendo que as temperaturas nos estados A, B e C estão relacionadas por  $T_C = 3T_B = 9T_A$ , qual a eficiência do ciclo?

- a) 1/3
- b) 1/5
- c) 1/6
- d) 1/7
- e) 1/9

**Questão 48.**

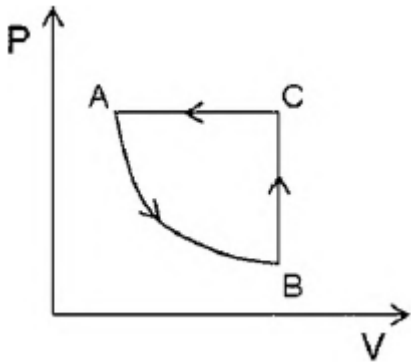
(EN-2017) Uma máquina de Carnot tem rendimento médio diurno  $\eta_0 = 0,6$ . No período noturno, as fontes quente e fria têm suas temperaturas reduzidas para a metade e para 3/4 da temperatura média diurna, respectivamente. Se o rendimento noturno é  $\eta_1$ , qual a variação percentual,  $\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \times 100\%$ , do rendimento dessa máquina de Carnot?

- a) -16,7%
- b) -25,0%
- c) -33,3%
- d) -41,7%
- e) -50,0%

**Questão 49.**

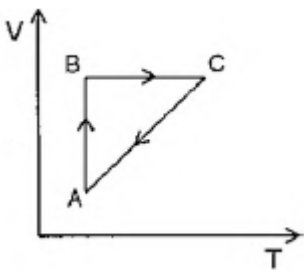
(EN-2017) Analise o gráfico a seguir.



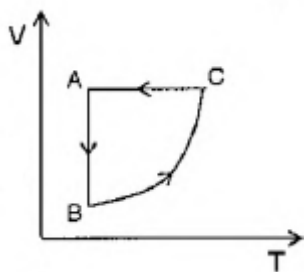


O gráfico acima representa um gás ideal descrevendo um ciclo **ABC** em um diagrama **PxV**. Esse ciclo consiste em uma transformação isotérmica seguida de uma transformação isocórica e uma isobárica. Em um diagrama **VxT**, qual gráfico pode representar o mesmo ciclo **ABC**?

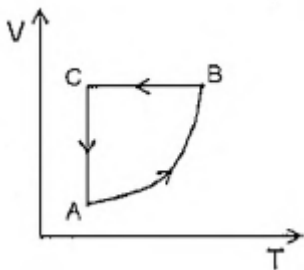
a)



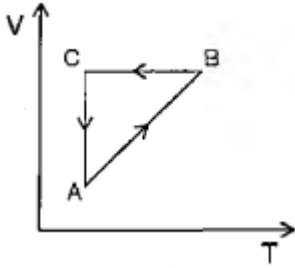
b)



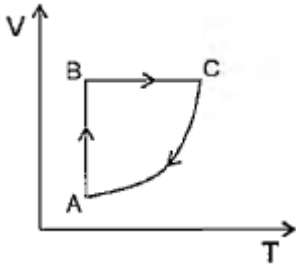
c)



d)



e)



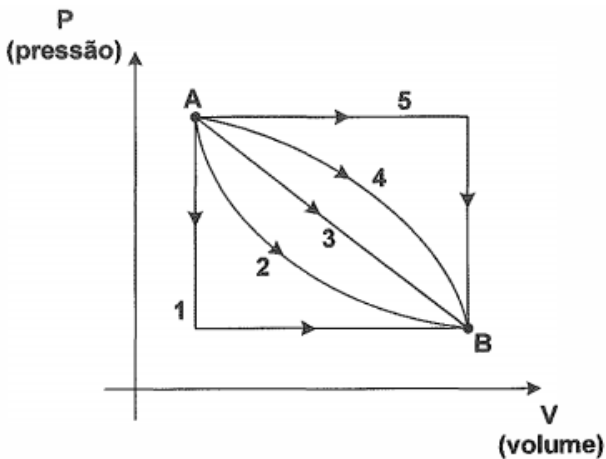
**Questão 50.**

(EN-2016) Uma máquina de Carnot, operando inicialmente com rendimento igual a 40%, produz um trabalho de 10 joules por ciclo. Mantendo-se constante a temperatura inicial da fonte quente, reduziu-se a temperatura da fonte fria de modo que o rendimento passou para 60%. Com isso, o módulo da variação percentual ocorrida no calor transferido à fonte fria, por ciclo, é de

- a) 67%
- b) 60%
- c) 40%
- d) 33%
- e) 25%

**Questão 51.**

(EN-2016) Analise o gráfico abaixo.





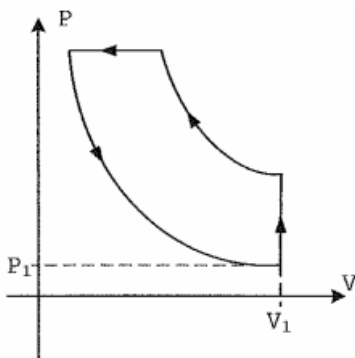
Se entre os estados A e B mostrados na figura, um mol de um gás ideal passa por um processo isotérmico. A(s) curva(s) que pode(m) representar a função  $P = f(V)$  desse processo, é (são)

- a) 1 e 5
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 2 e 4

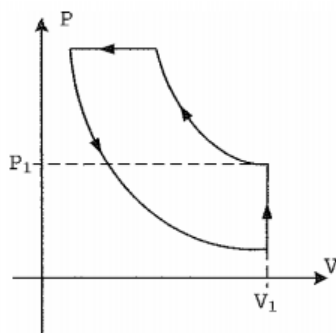
**Questão 52.**

(EN-2014) O estado inicial de certa massa de gás ideal é caracterizado pela pressão  $P_1$  e volume  $V_1$ . Essa massa gasosa sofre uma compressão adiabática seguida de um aquecimento isobárico, depois se expande adiabaticamente até que o seu volume retorne ao valor inicial e, finalmente, um resfriamento isovolumétrico faz com que o gás retorne ao seu estado inicial. Qual o gráfico que melhor representa as transformações sofridas pelo gás?

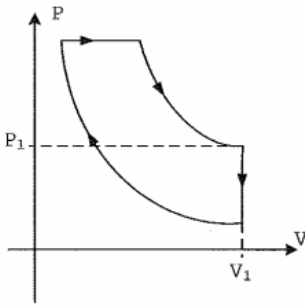
a)



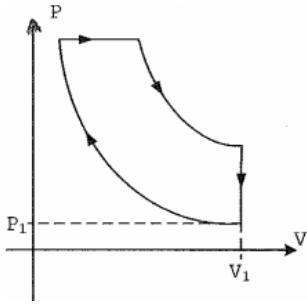
b)



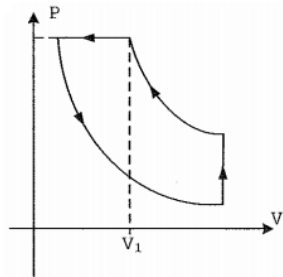
c)



d)



e)



**Questão 53.**

(EN-2015) As turbinas a vapor da propulsão nuclear de um submarino possuem um rendimento de 15% e são capazes de produzir uma potência mecânica constante de **40MW** nos eixos rotativos. Se essa potência é entregue em **3,0** minutos, observa-se que a variação de entropia do sistema vapor-turbinas é **(1/12) GJ/K**. A temperatura, em **°C**, do vapor superaquecido produzido pelo reator nuclear vale, aproximadamente

- a) 327
- b) 303
- c) 247
- d) 207
- e) 177

**Questão 54.**

(EN-2015) Analise as figuras abaixo.

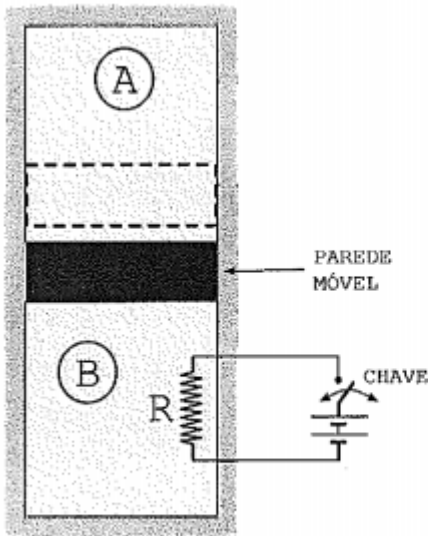


Fig. 1

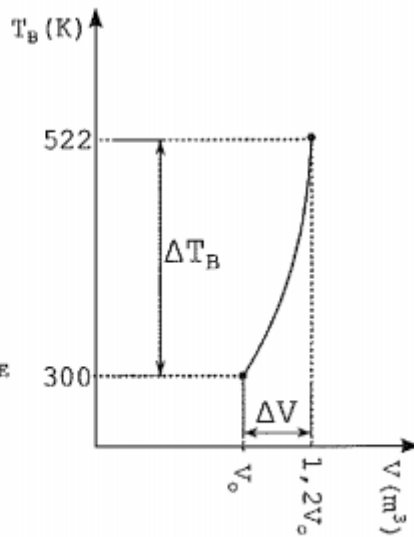


Fig. 2

O recipiente da Fig.1 possui as paredes externas e a parede móvel interna compostas de isolante térmico. Inicialmente, os compartimentos de mesmo volume possuem, cada um, um mol de certo gás ideal monoatômico na temperatura de **300K**. Então, por meio da fonte externa de calor, o gás do compartimento B (gás B) se expande lentamente comprimindo adiabaticamente o gás A. Ao fim do processo, estando o gás B na temperatura de **522K** e volume **20%** maior que o volume inicial, a temperatura, em **°C**, do gás A será de

- a) 249
- b) 147
- c) 87
- d) 75
- e) 27

**Questão 55.**

(EN-2012) Um recipiente cilíndrico de seção reta transversal  $A = 20,0 \text{ cm}^2$  é vedado por um êmbolo de peso  $52,0 \text{ N}$  que pode deslizar livremente sem atrito. O cilindro contém uma amostra de  $3,00$  litros de gás ideal na temperatura inicial de  $300\text{K}$ . Separadamente, com o cilindro nas posições vertical e horizontal, o gás é aquecido isobaricamente da temperatura inicial até a temperatura de  $400\text{K}$ , como mostram as figuras 1 e 2, respectivamente. A diferença entre os trabalhos realizados pelo gás nas posições vertical e horizontal,  $W_v - W_h$ , em joules, é igual a

Dados: pressão atmosférica  $p_{\text{atm}} = 1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $g = 10,0\text{m/s}^2$ .

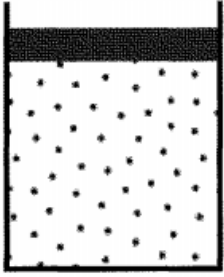


Fig. 1

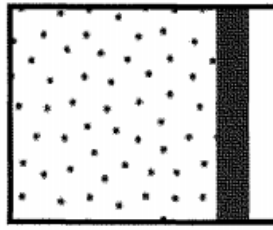


Fig. 2

- a) 8,00
- b) 10,0
- c) 15,0
- d) 18,0
- e) 26,0

**Questão 56.**

(EN-2011) As turbinas de certo reator nuclear possuem um rendimento de 12% e são capazes de gerar uma potência elétrica de  $1,20 \cdot 10^3 \text{ MW}$  ( $1\text{M} = 10^6$ ). A temperatura do vapor superaquecido que alimenta as turbinas é de  $327^\circ\text{C}$ . Considerando a potência elétrica constante durante 1,00min., a variação de entropia (em  $10^3 \text{ MJ/K}$ ) do sistema vapor - turbinas neste intervalo de tempo é Dado:  $0^\circ\text{C} - 273 \text{ K}$

- a) 0,100
- b) 0,600
- c) 1,00
- d) 1,20
- e) 1,60

**Questão 57.**

(EN-2011) Uma máquina térmica, que tem como substância de trabalho 2,00 mols de um gás ideal monoatômico, descreve o ciclo de Carnot. Na expansão isotérmica, o gás recebe 4648J de calor e verifica-se que o seu volume aumenta de  $0,200 \text{ m}^3$  para  $0,400 \text{ m}^3$ . Sabendo-se que o rendimento da máquina é de 25%, o trabalho (em kJ) realizado pelo gás na expansão adiabática é Dados:  $R = 8,30 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$  (constante de Clapeyron);  $\ln 2 = 0,700$ ;  $\ln 3 = 1,10$ ;  $\ln 4 = 1,40$

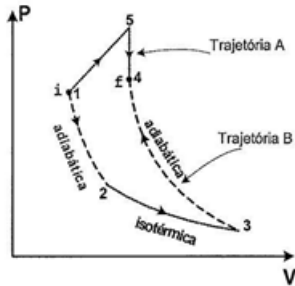
- a) 2,05
- b) 2,23
- c) 2,40
- d) 2,45



e) 2,49

**Questão 58.**

(EN-2009) Um gás pode expandir do estado inicial  $i$  para o estado final  $f$  seguindo a trajetória A ( $1 \rightarrow 5 \rightarrow 4$ ) ou a trajetória B ( $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ ) do diagrama PV abaixo. A variação da energia interna do gás é de 20J ao expandir de  $i$  a  $f$  pela trajetória A. Seguindo a trajetória B, do estado 1 para o estado 3 o trabalho realizado pelo gás é, em valor absoluto, igual a 25J e do estado 3 para o estado 4 o trabalho é 13J. Qual o calor trocado com o meio ambiente quando o gás vai do estado 2 para o estado 3?



- a) 32J cedidos pelo gás.
- b) 32J absorvidos pelo gás.
- c) 8,0J cedidos pelo gás.
- d) 8,0J absorvidos pelo gás.
- e) não há troca de calor.

**Questão 59.**

(EN-2009) Analise as afirmativas abaixo.

I - Quando a temperatura do ar se eleva num processo aproximadamente adiabático, verificamos que a pressão aumenta.

II - Para um gás ideal, as moléculas não exercem ação mútua, a não ser durante as eventuais colisões que devem ser perfeitamente elásticas.

III - A energia interna, ou seja, o calor de uma amostra de gás ideal é a soma das energias cinéticas de todas as moléculas que o constitui.

IV - Numa transformação isotérmica, uma amostra de gás não sofre alterações na sua energia interna.

V - O ciclo de Carnot idealiza o funcionamento de uma máquina térmica onde o seu rendimento é o maior possível, ou seja, 100%.

As afirmativas corretas são, somente,

- a) I, II e IV
- b) II, III e IV





- c) III, IV e V
- d) I, II e V
- e) I, III e V

**Questão 60.**

(EN-2013) Considere um gás monoatômico ideal no interior de um cilindro dotado de um êmbolo, de massa desprezível, que pode deslizar livremente. Quando submetido a uma certa expansão isobárica, o volume do gás aumenta de  $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  para  $8,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Sabendo-se que, durante o processo de expansão, a energia interna do gás sofre uma variação de  $0,360 \text{ kJ}$ , pode-se afirmar que o valor da pressão, em **kPa**, é de

- a) 4,00
- b) 10,0
- c) 12,0
- d) 40,0
- e) 120

**Questão 61.**

(EN-2013) Considere que **0,40** gramas de água vaporize isobaricamente à pressão atmosférica. Sabendo que, nesse processo, o volume ocupado pela água varia de **1,0** litro, pode-se afirmar que a variação da energia interna do sistema, em **kJ**, vale

Dados: calor latente de vaporização da água =  $2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ ; conversão:  $1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

- a) - 1,0
- b) - 0,92
- c) 0,82
- d) 0,92
- e) 1,0

**Questão 62.**

(EN-2013) Uma máquina térmica, funcionando entre as temperaturas de **300 K** e **600 K** fornece uma potência útil,  $P_u$ , a partir de uma potência recebida,  $P_r$ . O rendimento dessa máquina corresponde a  $4/5$  do rendimento máximo previsto pela máquina de Carnot. Sabendo que a potência recebida é de **1200 W**, a potência útil, em watt, é

- a) 300
- b) 480
- c) 500



- d) 600
- e) 960

**Questão 63.**

(EN-2013) Analise as afirmativas abaixo referentes à entropia.

I - Num dia úmido, o vapor de água se condensa sobre uma superfície fria. Na condensação, a entropia da água diminui.

II - Num processo adiabático reversível, a entropia do sistema se mantém constante.

III - A entropia de um sistema nunca pode diminuir.

IV - A entropia do universo nunca pode diminuir.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas.

- I e II
- II e III
- III e IV
- I, II e III
- I, II e IV

**Questão 64.**

(EN-2010) Um forno elétrico, que opera na voltagem de **120 V** e corrente elétrica de **15 A**, possui rendimento de 80%. No seu interior foram colocados **2,5 litros** de água na temperatura inicial de **39,1°C**. Após 20 minutos, verifica-se que certa quantidade de água se vaporizou. Sabendo que a temperatura de vaporização é de **100°C**, a variação de entropia, em **kJ/K**, da água durante a vaporização é

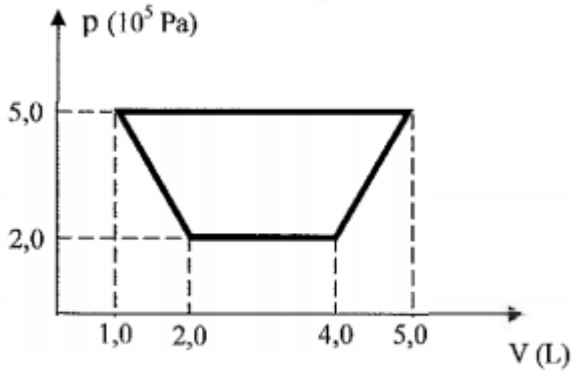
Dados:  $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J} \\ c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} \\ L_{\text{vaporiz.}} = 540 \text{ cal/g} \\ \rho_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3 \\ 100^{\circ}\text{C} \equiv 373 \text{ K} \end{array} \right.$

- a) 1,0
- b) 1,5
- c) 2,0
- d) 2,5
- e) 3,0



**Questão 65.**

(EN-2008) O diagrama abaixo mostra um ciclo reversível realizado por  $1,0 \text{ mol}$  de um gás ideal monoatômico. Uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas mais baixa e mais alta, que ocorrem no ciclo, tem eficiência (rendimento), em porcentagem, de Considere:  $R = 8,0 \text{ J/mol.K}$



- a) 70
- b) 75
- c) 84
- d) 87
- e) 90

**Questão 66.**

(EN-2008 - ADAPTADA) um projétil de chumbo, de massa igual a  $10,0 \text{ gramas}$ , está na temperatura de  $120\text{K}$  e se desloca horizontalmente com velocidade de  $400\text{m/s}$  quando se choca com um bloco de massa  $390 \text{ g}$ , inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal. Admitindo-se que a energia cinética perdida pelo projétil seja transformada em calor e que 40% deste calor foi absorvido pelo próprio projétil, a variação de entropia (em J/K) do projétil é, aproximadamente, igual a

Dados:

calor específico do chumbo sólido =  $1,30 \times 10^2 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

calor latente de fusão do chumbo =  $2,50 \times 10^4 \text{ J/kg}$

temperatura de fusão do chumbo =  $600 \text{ K}$  ;

conversão:  $0^\circ\text{C} = 273\text{K}$

$\ln 5 = 1,61$

- a) 1,2
- b) 2,5
- c) 2,7
- d) 3,1

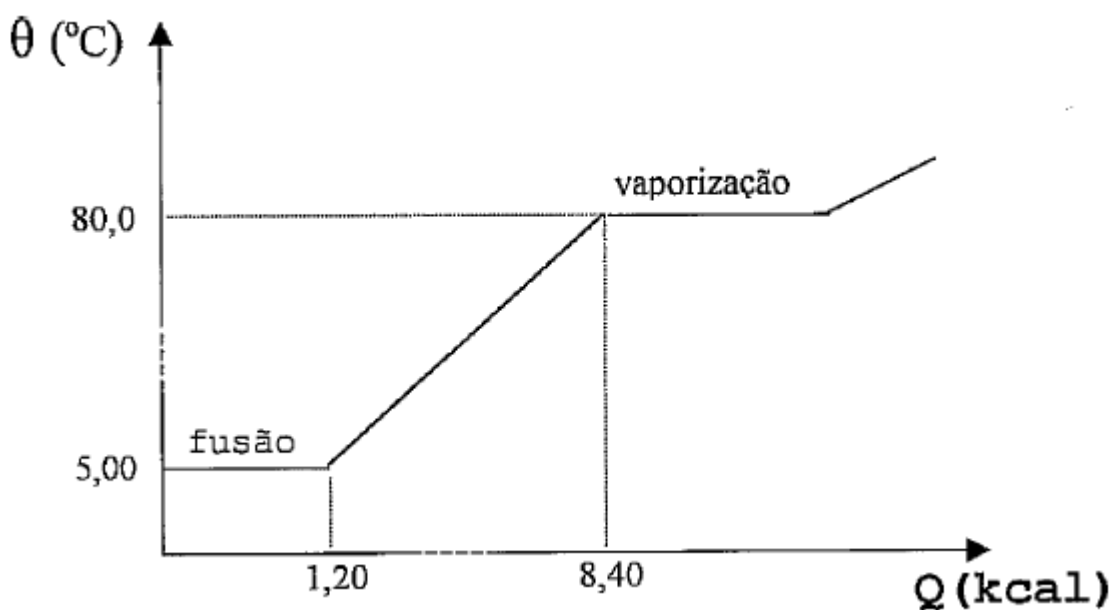


e) 3,4

**Questão 67.**

(EN-2007) Um recipiente, contendo uma certa quantidade de uma substância pura sólida, é pendurado em uma mola ideal vertical de constante elástica **20,0 N/m**. Devido ao peso do recipiente e da substância que ele contém, a mola sofre uma deformação de **10,0 cm**. Em seguida, fornece-se calor à substância de tal forma que sua temperatura varia conforme o diagrama abaixo. Após toda vaporização da substância, observa-se que a deformação da mola foi reduzida para **4,00 cm**. Calcule a variação de entropia (J/K) da substância na fase líquida.

Dados:  $|\vec{g}| = 10,0 \text{ m/s}^2$ ;  $\ln 2,7726 = 1,02$ ;  $\ln 1,2698 = 0,240$ ;  $\ln 1,3897 = 0,330$ ;  $1 \text{ cal} = 4,00 \text{ J}$



**Questão 68.**

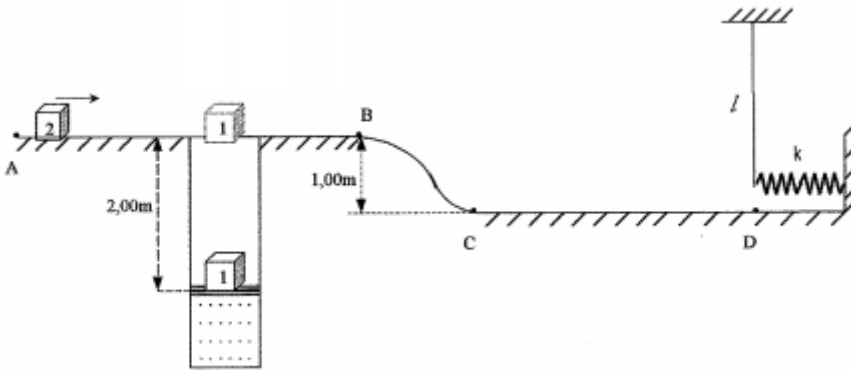
(EN-2006) Uma determinada máquina térmica recebe  **$1,25 \cdot 10^3 \text{ J}$**  de um reservatório a  **$193^\circ\text{C}$** . O trabalho fornecido pela máquina é usado para mover isobaricamente, a uma pressão de  **$2,00 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$** , o pistão de um recipiente cilíndrico que contém 12,0 mols de um gás ideal monoatômico. O volume deste gás sofre uma variação de  **$1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$**  no interior do cilindro, havendo uma rejeição de calor para um reservatório frio. Sabe-se que o rendimento dessa máquina é a metade do rendimento de uma máquina de Carnot operando entre os mesmos reservatórios e que  **$R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$** . Calcule

- a temperatura do reservatório frio; e (8 pontos)
- a variação de entropia, em cada ciclo, do sistema (gás) e dos reservatórios. (7 pontos)

**Questão 69.**



(EN-2005) Três mols de um certo gás ideal, cujo calor molar a pressão constante vale  $5,00 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$ , está no interior do cilindro da figura abaixo. O gás recebe calor de uma fonte térmica (não indicada na figura) de tal maneira que a sua temperatura aumenta de  $10,0^\circ\text{C}$ . Ao absorver calor verifica-se que o pistão, adiabático e de massa desprezível, se eleva de 2,00 metros. Sobre o pistão temos o bloco 1 de massa  $m_1 = 20,0 \text{ kg}$ . Considere:  $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$  e  $1,00 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ .



Calcule a variação da energia interna (em joules) do gás.(4 pontos)

### Questão 70.

(EN-2005) A Termodinâmica estuda a possibilidade de se aproveitar energia. De acordo com este estudo, resolva os itens:

I) o compartimento de refrigeração de uma geladeira e o seu conteúdo são mantidos a  $7,0^\circ\text{C}$  e têm uma capacidade térmica (ou calorífica) média de  $84 \text{ kJ/K}$ . A geladeira descarrega calor no ambiente a  $27^\circ\text{C}$ . Calcule a potência mínima necessária do motor para que a temperatura do compartimento de refrigeração seja reduzida de um grau celsius, em  $1,0$  minuto.(8 pontos)

II) um recipiente termicamente isolado está dividido por uma parede delgada (fina) em duas câmaras iguais. Em uma das câmaras estão doze átomos de um isótopo de um gás ideal e na outra também doze átomos de um outro isótopo do mesmo gás ideal. A parede delgada é removida e os átomos se misturam. Calcule a variação de entropia do sistema, após atingir o equilíbrio termodinâmico, e o trabalho realizado.(7 pontos)

Dados:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ (constante de Boltzmann);  $\ln 4 \cong 1,386$ ;  $\ln 6 \cong 1,792$ .

### Questão 71.

(EN-2004) Uma máquina de Carnot opera entre duas fontes térmicas, cujas temperaturas absolutas são  $T_1$  e  $T_2$  (Kelvin), sendo  $T_1 > T_2$ . O rendimento da máquina é de 40%, produzindo um trabalho igual a 10J por ciclo. Mantendo-se constante a temperatura da fonte quente  $T_1$ , deseja-se dobrar o rendimento da máquina, alterandose a temperatura da fonte fria.

- Calcule a variação percentual da temperatura  $T_2$  ou seja,  $\left(\frac{\Delta T_2}{T_2}\right)$ . (5 pontos)
- Após o rendimento ter sido dobrado, calcule o calor recebido pela fonte fria, a cada ciclo. (5 pontos).



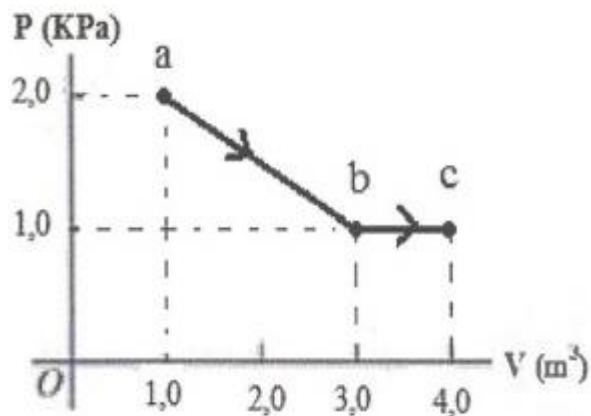
**Questão 72.**

(EFOMM-2020) Uma máquina de Carnot é projetada para operar com 200 W de potência entre fontes de calor de 200 oC e 100 oC. Com base nas características descritas, a quantidade de calor absorvida per essa máquina, a cada segundo, é de aproximadamente

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

**Questão 73.**

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



- a) 4000 J
- b) 5000 J
- c) 6000 J
- d) 7000 J
- e) 8000 J

**Questão 74.**

(EFOMM-2018) Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, seguida de uma compressão adiabática. A variação total da energia interna do gás poderia ser nula se, dentre as opções abaixo, a transformação seguinte fosse uma

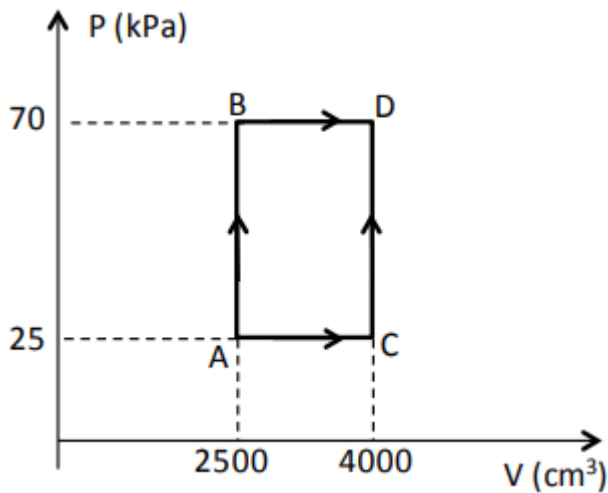
- a) compressão isocórica
- b) expansão isocórica



- c) expansão isobárica
- d) compressão isobárica
- e) compressão isotérmica

**Questão 75.**

(EFOMM-2016) O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD será igual a

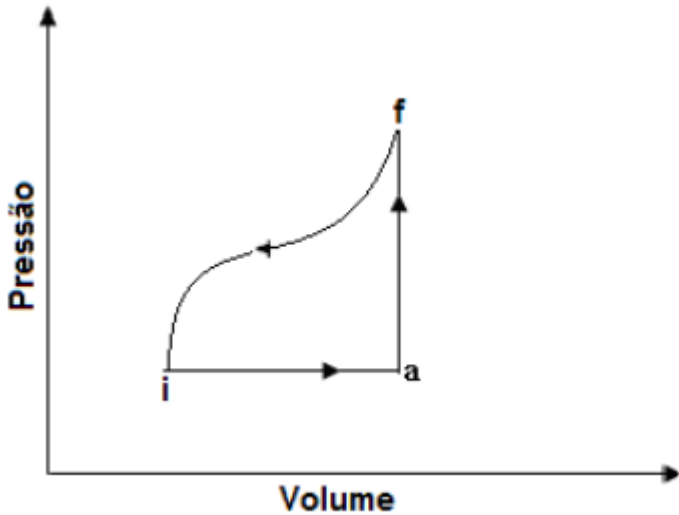


- a) 105
- b) 250
- c) 515
- d) 620
- e) 725

**Questão 76.**

(EFOMM-2014) Um gás ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O sistema é levado do estado inicial (i) para o estado final (f) ao longo da trajetória indicada. Considere  $E_i = 5\text{ cal}$  e que para o percurso i-a-f  $Q = 13\text{ cal}$  e  $W = 3\text{ cal}$ . Sabendo que, no percurso de f até i, o trabalho realizado é igual a 7 cal, o calor transferido para essa trajetória é igual a





- a) -3 cal.
- b) 10 cal.
- c) 17 cal.
- d) -17 cal.
- e) -10 cal.

**Questão 77.**

(EFOMM-2014) Um gás monoatômico ideal sofre uma expansão, realizando um trabalho de 200J. O gás foi submetido aos seguintes processos: isobárico e adiabático. A energia interna e o calor fornecido ao gás para cada processo valem, respectivamente,

- a) 300 J e 500 J; -200 J e 0.
- b) 200 J e 400 J; 300 e 100 J.
- c) 100 J e 300 J; 0 e 300 J.
- d) 500 J e - 200 J; - 300 J e 0.
- e) 300 J e -200 J; 0 e 200 J.

**Questão 78.**

(EFOMM-2013) Certa máquina térmica opera segundo o ciclo de Carnot. Em cada ciclo completado, o trabalho útil fornecido pela máquina é 1500 J. Sendo as temperaturas das fontes térmicas 150,0oC e 23,10oC, o calor recebido da fonte quente em cada ciclo, em joules, vale

- a) 2500
- b) 3000
- c) 4500
- d) 5000
- e) 6000



**Questão 79.**

(EFOMM-2012) Em certo processo termodinâmico, 500 g de água são aquecidos de 20,0oC a 80,0oC e, ao mesmo tempo, é realizado um trabalho de 3,20.105J sobre o sistema. A variação de energia interna, em kJ, é:

Dado: calor específico da água = 4,20 kJ/kg°C.

- a) 194
- b) 236
- c) 386
- d) 446
- e) 586

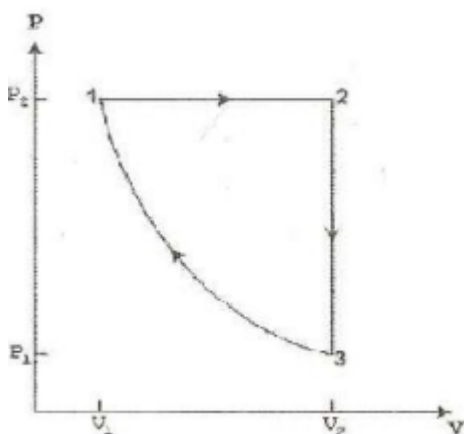
**Questão 80.**

(EFOMM-2011) Em relação aos conceitos de calor e de temperatura, é correto afirmar que

- a) o calor é energia em trânsito e a temperatura é a medida do calor.
- b) a temperatura e o calor são medidos da agitação molecular.
- c) o calor é a variação da temperatura, e a temperatura é o grau da agitação molecular.
- d) a temperatura é a variação do calor, e o calor é a energia em trânsito.
- e) o calor é energia em trânsito e a temperatura é a medida da agitação molecular.

**Questão 81.**

(EFOMM-2011) Observe a figura a seguir.



Um gás ideal sofre uma transformação descrita pelo ciclo 1 → 2 → 3 → 1, ilustrado no gráfico PV acima, sendo que no trecho 3 → 1 o gás sofre uma compressão adiabática. Considere U1, U2, e U3 as energias internas do gás em 1, 2 e 3, respectivamente. Nessas condições, analise as afirmativas abaixo.

- I. No trecho 3 → 1 não há troca de calor entre o gás e o meio ambiente.
- II. O trabalho realizado pelo gás no trecho 2 → 3 é igual a U3 – U2.



III. O trabalho realizado sobre o gás no trecho  $3 \rightarrow 1$  é igual a  $U_1 - U_3$ .

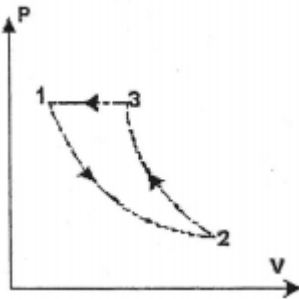
IV. O trabalho realizado pelo gás no trecho  $1 \rightarrow 2$  é igual a  $U_2 - U_1$ .

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- e) Apenas as afirmativas III e IV são verdadeiras.

**Questão 82.**

(EFOMM-2010) Observe a figura a seguir.



Uma certa massa de gás ideal encontra-se inicialmente no estado termodinâmico 1, indicado no diagrama PV acima. Em seguida, essa massa gasosa sofre uma expansão isotérmica até atingir o estado 2, logo depois uma compressão adiabática até o estado 3 e retornando ao estado 1 através de uma compressão isobárica. Sobre a série de transformações, pode-se dizer que,

- a) na transformação isotérmica, o gás sofreu um aumento da sua energia interna.
- b) na transformação adiabática, o gás realizou trabalho sobre o meio ambiente.
- c) na transformação isobárica, o meio ambiente realizou trabalho sobre o gás.
- d) ao completar o ciclo, o gás teve um aumento de calor.
- e) ao completar o ciclo, o gás teve uma redução da sua energia interna.

**Questão 83.**

(EFOMM-2009) Os motores de combustão interna são máquinas térmicas nas quais o sistema de refrigeração é muito importante pois, caso falhe, pode provocar a parada total do funcionamento dessas máquinas. Com relação a isso, pode-se afirmar que a refrigeração tem como principal objetivo

- a) manter a temperatura interna sob controle, evitando a dilatação exagerada dos componentes envolvidos.
- b) diminuir bruscamente a temperatura interna para que os componentes não sofram desgaste.



- c) diminuir a temperatura interna para produzir um melhor aproveitamento na queima do combustível.
- d) manter o calor interno sob controle, evitando com isso o desgaste dos componentes envolvidos.
- e) manter constantes o calor interno e a dilatação dos componentes envolvidos para evitar desgastes.

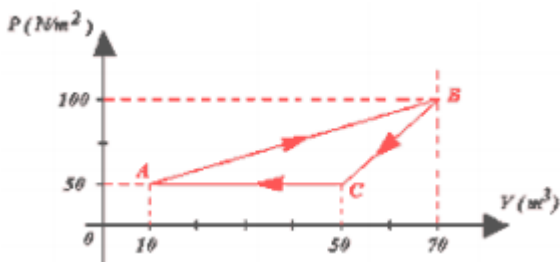
**Questão 84.**

(EFOMM-2008) Seja um cilindro de aço de dimensões internas, altura 95cm e raio da base 9 cm, utilizado em uma experiência de laboratório, na qual um êmbolo comprime certo volume de gás a  $1/9$  do seu valor inicial, mantendo-se constante a pressão em 5 atm. O trabalho realizado sobre o gás comprimido, em joules, é, aproximadamente,

- a) 14456
- b) 13555
- c) 12721
- d) 11432
- e) 10884

**Questão 85.**

(EFOMM-2007)



A figura acima representa um diagrama PV que descreve o ciclo de um gás monoatômico. Sobre a variação de energia interna desse gás e a quantidade de calor, pode-se afirmar que seus valores em Joule valem, respectivamente,

- a) 0 ,  $+5,00 \cdot 10^2$
- b) 0 ,  $-5,00 \cdot 10^2$
- c) 0 ,  $+1,00 \cdot 10^3$
- d)  $+70$  ,  $-1,00 \cdot 10^3$
- e)  $+5,00 \cdot 10^3$  ,  $+1,00 \cdot 10^3$

**Questão 86.**



(EFOMM-2005) Uma máquina de Carnot possui rendimento de 80% e a temperatura da fonte fria é de  $-173^{\circ}\text{C}$ . Para que essa máquina desenvolva potência útil de 300 W, a potência e a temperatura da fonte quente deverão, ser respectivamente:

- a) 370 W e 400 K
- b) 370 W e 300 K
- c) 375 W e 500 K
- d) 375 W e 400 K
- e) 270 W e 600 K

### Nível 3

#### Questão 1.

(ITA-2020 – 1ª Fase) Uma certa quantidade de gás com temperatura inicial  $T_0$ , pressão  $P_0$  e volume  $V_0$ , é aquecida por uma corrente elétrica que flui por um fio de platina num intervalo de tempo  $\Delta t$ . Esse procedimento é feito duas vezes: primeiro, com volume constante  $V_0$  e pressão variando de  $P_0$  para  $P_1$  e, a seguir, com pressão constante  $P_0$  e volume variando de  $V_0$  para  $V_1$ . Assinale a alternativa que explicita a relação  $C_p/C_v$  do gás.

- a)  $\frac{P_0 - 1}{\frac{P_1}{V_0} - 1}$
- b)  $\frac{P_1 - 1}{\frac{P_0}{V_1} - 1}$
- c)  $\frac{2P_0 - 1}{\frac{P_1}{V_0} - 1}$
- d)  $\frac{2P_1 - 1}{\frac{P_0}{V_1} - 1}$
- e)  $\frac{P_1 - 1}{\frac{P_0}{2V_1} - 1}$

#### Questão 2.

(ITA-2020 – 1ª Fase) Considere um sistema de três máquinas térmicas  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$  acopladas, tal que o rejeito energético de uma é aproveitado pela seguinte. Sabe-se que a cada ciclo,  $M_1$  recebe 800 kJ de calor de uma fonte quente a 300 K e rejeita 600 kJ, dos quais 150 kJ são aproveitados por  $M_2$  para realização de trabalho. Por fim,  $M_3$  aproveita o rejeito de  $M_2$  e descarta 360 kJ em uma fonte fria a 6 K. São feitas as seguintes afirmações:

- I. É inferior a 225 K a temperatura da fonte fria de  $M_1$ .



II. O rendimento do sistema é de 55%.

III. O rendimento do sistema corresponde a 80% do rendimento de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.

Conclui-se então que

- a) Somente a afirmação I está incorreta.
- b) Somente a afirmação II está incorreta.
- c) Somente a afirmação III está incorreta.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) As afirmações I e III estão incorretas.

### Questão 3.

(ITA-2020 – 2ª Fase) De uma altura de **52,5 m** á solto um frasco indeformável contendo um gás monoatômico formado de partículas com massa de  $4,20 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ , e de calor específico a volume constante igual a  $1,25 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ . Ao atingir o solo, a energia cinética do sistema é dissipada na forma de calor no próprio gás. Para uma temperatura inicial do gás de  $16^\circ\text{C}$ , determine a variação da velocidade quadrática média das partículas do gás devido à queda. Se necessário, use a aproximação binomial  $(1 + x)^n \sim 1 + nx$ , para  $|x| \ll 1$ . Desconsidere a massa do frasco.

### Questão 4.

(ITA-1992) Uma certa quantidade de gás expande-se adiabaticamente e quase estaticamente desde uma pressão inicial de **2,0 atm** e volume de **2,0 litros**, na temperatura de  $21^\circ\text{C}$  até atingir o dobro de seu volume. Sabendo-se que para este gás  $\gamma = C_P/C_V = 2,0$ , pode-se afirmar que a pressão final e a temperatura final são, respectivamente:

- a) **0,5 atm** e **10,5 °C**.
- b) **0,5 atm** e **-126 °C**.
- c) **2,0 atm** e **10,5 °C**.
- d) **2,0 atm** e **-126 °C**.
- e) nenhuma das anteriores.

### Questão 5.

(ITA-1992) Considere as afirmações a seguir:

- I. A energia interna de um gás ideal depende só da pressão.
- II. Quando um gás passa de um estado 1 para outro estado 2, o calor trocado é o mesmo qualquer que seja o processo.
- III. Quando um gás passa de um estado 1 para outro estado 2, a variação da energia interna é a mesma qualquer que seja o processo.



- IV. Um gás submetido a um processo quase estático não realiza trabalho.  
 V. O calor específico de uma substância não depende do processo como ela é aquecida.  
 VI. Quando um gás ideal recebe calor e não há variação de volume, a variação da energia interna é igual ao calor recebido.  
 VII. Numa expansão isotérmica de um gás ideal o trabalho realizado é sempre menor que o calor absorvido.

As duas afirmações corretas são:

- a) II e III.  
 b) III e IV.  
 c) III e V.  
 d) I e VII.  
 e) III e VI.

**Questão 6.**

(ITA-1992) Um mol de gás ideal sofre uma série de transformações e passa sucessivamente pelos estados  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ , conforme o diagrama  $pV$  a seguir, onde  $T_A = 300\text{ K}$ . Pode-se afirmar que a temperatura em cada estado, o trabalho líquido realizado no ciclo e a variação de energia interna no ciclo são, respectivamente:

	$T_A(K)$	$T_B(K)$	$T_C(K)$		$T_D(K)$	$\Delta W (atm \cdot l)$	$\Delta U (J)$
a)	300	900	450		150	20,0	0
b)	300	900	450		150	-20,0	0
c)	300	450	900		150	20,0	0
d)	300	900	450		150	60,0	40
e)	300	450	900		300	80,0	60

**Questão 7.**

(ITA-1994) Aquecendo-se lentamente  $2\text{ mols}$  de um gás perfeito ele passa do estado  $p_0, V_0$  ao estado  $3p_0, 3V_0$ . Se o gráfico da pressão versus volume é uma reta, a dependência da temperatura com o volume e o trabalho realizado pelo gás nesse processo serão respectivamente:

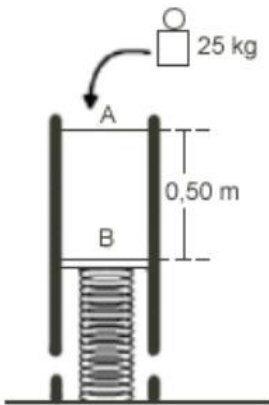
- a)  $T = (p_0V^2)/(V_0R)$ ;  $\tau = 9,0V_0p_0$ .  
 b)  $T = (p_0V^2)/(2V_0R)$ ;  $\tau = 4,0V_0p_0$ .  
 c)  $T = (p_0V^2)/(2V_0R)$ ;  $\tau = 2,0V_0p_0$ .  
 d)  $T = (p_0V_0)/R$ ;  $\tau = 2,0V_0p_0$ .  
 e)  $T = (p_0V^2)/(V_0R)$ ;  $\tau = 4,5V_0p_0$ .





**Questão 8.**

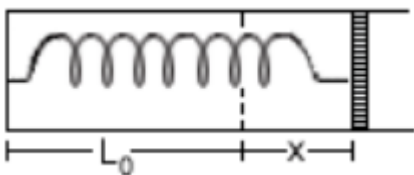
(ITA-1995) A figura mostra um tubo cilíndrico com secção transversal constante de área  $S = 1,0 \cdot 10^{-2} m^2$  aberto nas duas extremidades para a atmosfera cuja pressão é  $P_a = 1,0 \cdot 10^5 Pa$ . Uma certa quantidade de gás ideal está aprisionada entre dois pistões **A** e **B** que se movem sem atrito. A massa do pistão **A** é desprezível e a do pistão **B** é  $M$ . O pistão **B** está apoiado numa mola de constante  $k = 2,5 \cdot 10^3 N/m$  e a aceleração da gravidade  $g = 10 m/s^2$ . Inicialmente, a distância de equilíbrio entre os pistões é de  $0,50 m$ . Uma massa de  $25 kg$  é colocada vagarosamente sobre **A**, mantendo-se constante a temperatura. O deslocamento do pistão **A** para baixo, até a nova posição de equilíbrio, será:



- a) 0,40 m.
- b) 0,10 m.
- c) 0,25 m.
- d) 0,20 m.
- e) 0,50 m.

**Questão 9.**

(ITA - 1997) Um mol de gás perfeito está contido em um cilindro de secção  $S$  fechado por um pistão móvel, ligado a uma mola de constante elástica  $k$ . Inicialmente, o gás está na pressão atmosférica  $P_0$ , temperatura  $T_0$ , e o comprimento do trecho do cilindro ocupado pelo gás é  $L_0$ , com a mola não estando deformada. O sistema gás-mola é aquecido e o pistão se desloca de uma distância  $x$ . Denotando a constante de gás por  $R$ , a nova temperatura do gás é:



- a)  $T_0 + \frac{x}{R} (P_0 S + kL_0)$
- b)  $T_0 + \frac{L_0}{R} (P_0 S + kx)$



c)  $T_0 + \frac{x}{R}(P_0S + kx)$

d)  $T_0 + \frac{kx}{R}(L_0S + x)$

e)  $T_0 + \frac{x}{R}(P_0S + kL_0 + kx)$

**Questão 10.**

(ITA - 2001) Um centímetro cúbico de água passa a ocupar  $1671 \text{ cm}^3$  quando evaporado à pressão de  $1,0 \text{ atm}$ . O calor de vaporização a essa pressão é de  $539 \text{ cal/g}$ . O valor que mais se aproxima do aumento de energia interna da água é:

a) 498 J.

b) 2082 cal.

c) 498 J.

d) 2082 J.

e) 2424 J.

**Questão 11.**

(ITA - 2002) Uma máquina térmica reversível opera entre dois reservatórios térmicos e temperaturas  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $127 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, gerando gases aquecidos para acionar uma turbina. A eficiência dessa máquina é melhor representada por:

a) 68%.

b) 6,8%.

c) 0,68%.

d) 21%.

e) 2,1%.

**Questão 12.**

(ITA-2003) Considerando um buraco negro como um sistema termodinâmico, sua energia interna  $U$  varia com a sua massa  $M$  de acordo com a famosa relação de Einstein:

$$\Delta U = \Delta M \cdot c^2$$

Stephen Hawking propôs que a entropia  $S$  de um buraco negro depende apenas de sua massa e de algumas constantes fundamentais da natureza. Desta forma, sabe-se que uma variação de massa acarreta uma variação de entropia dada por:

$$\frac{\Delta S}{\Delta M} = \frac{8\pi GMk_B}{hc}$$

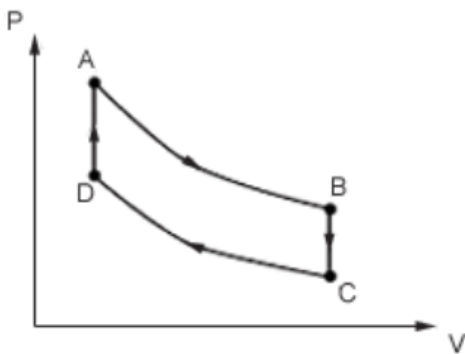
Supondo que não haja realização de trabalho com a variação de massa, assinale a alternativa que melhor representa a temperatura absoluta  $T$  do buraco negro.



- a)  $T = hc^3 / GMk_B$ .  
 b)  $T = 8\pi Mc^2 / k_B$ .  
 c)  $T = Mc^2 / 8\pi k_B$ .  
 d)  $T = hc^3 / 8\pi GMk_B$ .  
 e)  $T = 8\pi hc^3 / GMk_B$ .

**Questão 13.**

(ITA-2003) Uma certa massa de gás ideal realiza o ciclo ABCD de transformações, como mostrado no diagrama pressão x volume da figura. As curvas AB e CD são isotermas. Pode-se afirmar que:



- a) o ciclo ABCD corresponde a um ciclo de Carnot.  
 b) o gás converte trabalho em calor ao realizar o ciclo.  
 c) nas transformações AB e CD o gás recebe calor.  
 d) nas transformações AB e BC a variação da energia interna do gás é negativa.  
 e) na transformação DA o gás recebe calor, cujo valor é igual à variação da energia interna.

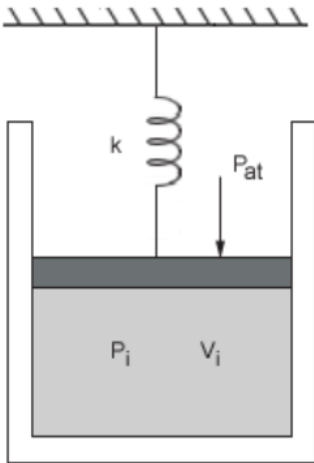
**Questão 14.**

(ITA-2003) Calcule a variação de entropia quando, num processo à pressão constante de **1,0 atm**, se transforma integralmente em vapor **3,0 kg** de água que se encontra inicialmente no estado líquido, à temperatura de 100 °C.

Dado: calor de vaporização da água:  $L_v = 5,4 \cdot 10^5 \text{ cal/kg}$ .

**Questão 15.**

(ITA-2003) A figura mostra um recipiente, com êmbolo, contendo um volume inicial  $V_i$  de gás ideal, inicialmente sob uma pressão  $P_i$  igual à pressão atmosférica,  $P_{at}$ . Uma mola não deformada é fixada no êmbolo e num anteparo fixo. Em seguida, de algum modo é fornecida ao gás uma certa quantidade de calor  $Q$ . Sabendo que a energia interna do gás é  $U = (3/2) PV$ , a constante da mola é  $k$  e a área da seção transversal do recipiente é  $A$ , determine a variação do comprimento da mola em função dos parâmetros intervenientes. Despreze os atritos e considere o êmbolo sem massa, bem como sendo adiabáticas as paredes que confinam o gás.



**Questão 16.**

(ITA-2004) Um recipiente cilíndrico vertical é fechado por meio de um pistão, com **8,00 kg** de massa e **60,0 cm<sup>2</sup>** de área, que se move sem atrito. Um gás ideal, contido no cilindro, é aquecido de 30 °C a 100 °C, fazendo o pistão subir **20,0 cm**. Nesta posição, o pistão é fixado, enquanto o gás é resfriado até sua temperatura inicial. Considere que o pistão e o cilindro se encontram expostos à pressão atmosférica. Sendo  $Q_1$  o calor adicionado ao gás durante o processo de aquecimento e  $Q_2$ , o calor retirado durante o resfriamento, assinale a opção correta que indica a diferença  $Q_1 - Q_2$ .

- a) 136 J.
- b) 120 J.
- c) 100 J.
- d) 16 J.
- e) 0 J.

**Questão 17.**

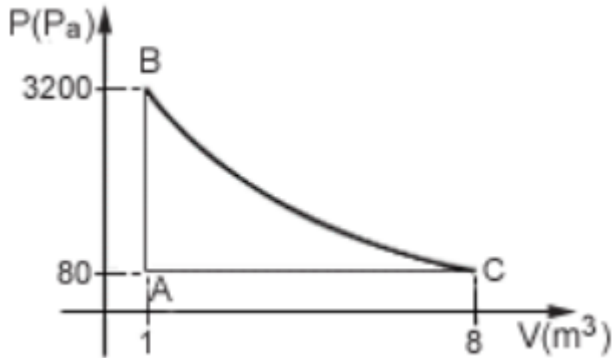
(ITA-2004) A linha das neves eternas encontra-se a uma altura  $h_0$  acima do nível do mar, onde a temperatura do ar é 0 °C. Considere que, ao elevar-se acima do nível do mar, o ar sofre uma expansão adiabática que obedece a relação  $\frac{\Delta p}{p} = \frac{7 \Delta T}{2 T}$ , em que  $p$  é a pressão e  $T$ , a temperatura. Considerando o ar um gás ideal de massa molecular igual a **30u** (unidade de massa atômica) e a temperatura ao nível do mar igual a 30 °C, assinale a opção que indica aproximadamente a altura  $h_0$  da linha das neves.

- a) 2,5 km.
- b) 3,0 km.
- c) 3,5 km.
- d) 4,0 km.
- e) 4,5 km.



**Questão 18.**

(ITA-2004) Uma máquina térmica opera com um mol de um gás monoatômico ideal. O gás realiza o ciclo ABCA, representado no plano PV, conforme mostra a figura. Considerando que a transformação BC é adiabática, calcule:



- A eficiência da máquina.
- A variação da entropia na transformação BC.

**Questão 19.**

(ITA-2004) Duas salas idênticas estão separadas por uma divisória de espessura  $L = 5,0 \text{ cm}$ , área  $A = 100 \text{ m}^2$  e condutividade térmica  $k = 2,0 \text{ W/mK}$ . O ar contido em cada sala encontra-se, inicialmente, à temperatura  $T_1 = 47 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Considerando o ar como um gás ideal e o conjunto das duas salas um sistema isolado,

calcule:

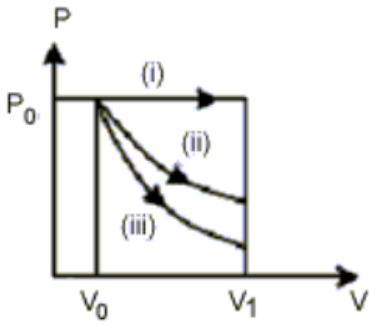
- O fluxo de calor através da divisória relativo às temperaturas iniciais  $T_1$  e  $T_2$ .
- A taxa de variação de entropia  $\Delta S/\Delta t$  no sistema no início da troca de calor, explicando o que ocorre com a desordem do sistema.

**Questão 20.**

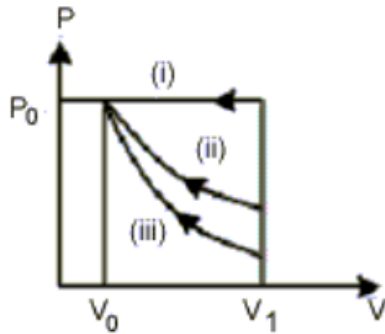
(ITA-2006) Um mol de um gás ideal ocupa um volume inicial  $V_0$  à temperatura  $T_0$  e pressão  $P_0$ , sofrendo a seguir uma expansão reversível para um volume  $V_1$ . Indique a relação entre o trabalho que é realizado por:

- $\tau_i$ , num processo em que a pressão é constante.
- $\tau_{ii}$ , num processo em que a temperatura é constante.
- $\tau_{iii}$ , num processo adiabático.

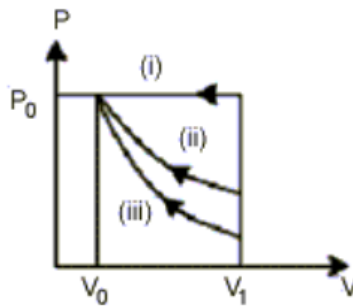
$$\tau_i > \tau_{iii} > \tau_{ii}.$$



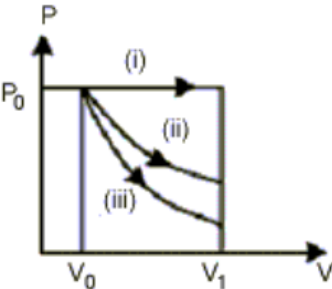
$$\tau_{ii} > \tau_{iii}$$



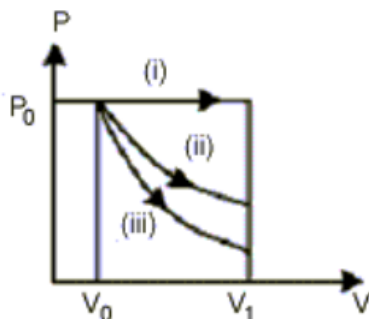
$$\tau_{iii} > \tau_{ii}$$



$$\tau_{ii} > \tau_{iii}$$



$$\tau_{iii} > \tau_{ii}$$



**Questão 21.**

(ITA – 2007) A água de um rio encontra-se a uma velocidade inicial  $V$  constante, quando despenca de uma altura de **80 m**, convertendo toda a sua energia mecânica em calor. Este calor é integralmente absorvido pela água, resultando em um aumento de **1 K** de sua temperatura.



Considerando  $1 \text{ cal} \cong 4 \text{ J}$ , aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e calor específico da água  $c = 1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , calcula-se que a velocidade inicial da água  $V$  é de

- a)  $10 \sqrt{2} \text{ m/s}$ .
- b)  $20 \text{ m/s}$ .
- c)  $50 \text{ m/s}$ .
- d)  $10 \sqrt{32} \text{ m/s}$ .
- e)  $80 \text{ m/s}$

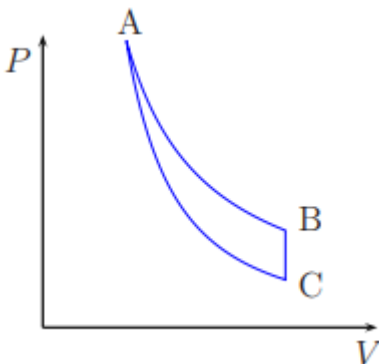
**Questão 22.**

(ITA – 2008) Certa quantidade de oxigênio (considerado aqui como gás ideal) ocupa um volume  $V_i$  a uma temperatura  $T_i$  e pressão  $P_i$ . A seguir, toda essa quantidade é comprimida, por meio de um processo adiabático e quase estático, tendo reduzido o seu volume para  $V_f = V_i/2$ . Indique o valor do trabalho realizado sobre esse gás.

- a)  $\tau = \frac{3}{2} (P_i V_i) (2^{0,7} - 1)$
- b)  $\tau = \frac{5}{2} (P_i V_i) (2^{0,7} - 1)$
- c)  $\tau = \frac{5}{2} (P_i V_i) (2^{0,4} - 1)$
- d)  $\tau = \frac{3}{2} (P_i V_i) (2^{1,7} - 1)$
- e)  $\tau = \frac{5}{2} (P_i V_i) (2^{1,4} - 1)$

**Questão 23.**

(ITA – 2009) Três processos compõem o ciclo termodinâmico ABCA mostrado no diagrama  $P \times V$  da figura. O processo AB ocorre a temperatura constante. O processo BC ocorre a volume constante com decréscimo de 40 J de energia interna e, no processo CA, adiabático, um trabalho de 40 J é efetuado sobre o sistema. Sabendo-se também que em um ciclo completo o trabalho total realizado pelo sistema é de 30 J, calcule a quantidade de calor trocado durante o processo AB.

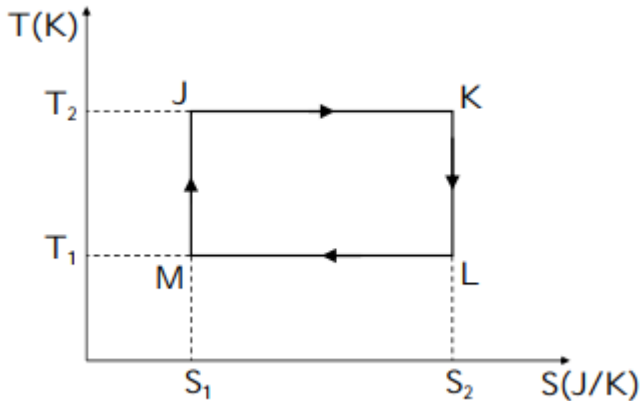






**Questão 24.**

(ITA – 2010)

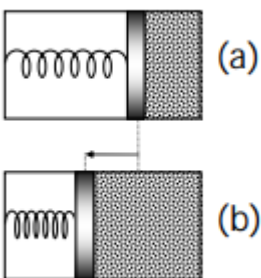


Uma máquina térmica opera segundo o ciclo **JKLMJ** mostrado no diagrama T-S da figura. Pode-se afirmar que

- a) o processo **JK** corresponde a uma compressão isotérmica.
- b) o trabalho realizado pela máquina em um ciclo é  $\tau = (T_2 - T_1)(S_2 - S_1)$ .
- c) o rendimento da máquina é dado por  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ .
- d) durante o processo **LM** uma quantidade de calor  $Q_{LM} = T_1(S_2 - S_1)$  é absorvida pelo sistema.
- e) outra máquina térmica que opere entre  $T_2$  e  $T_1$  poderia eventualmente possuir um rendimento maior que a desta.

**Questão 25.**

(ITA -2010) Uma parte de um cilindro está preenchida com um mol de um gás ideal monoatômico a uma pressão  $P_0$  e temperatura  $T_0$ . Um êmbolo de massa desprezível separa o gás da outra seção do cilindro, na qual há vácuo e uma mola em seu comprimento natural presa ao êmbolo e à parede oposta do cilindro, como mostra a figura (a). O sistema está termicamente isolado e o êmbolo, inicialmente fixo, é então solto, deslocando-se vagarosamente até passar pela posição de equilíbrio, em que a sua aceleração é nula e o volume ocupado pelo gás é o dobro do original, conforme mostra a figura (b). Desprezando os atritos, determine a temperatura do gás na posição de equilíbrio em função da sua temperatura inicial.





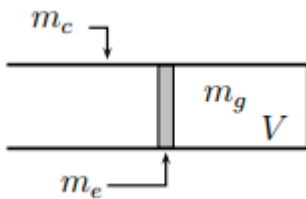
**Questão 26.**

(ITA – 2011) A inversão temporal de qual dos processos abaixo NÃO violaria a segunda lei de termodinâmica?

- a) A queda de um objeto de uma altura  $H$  e subsequente parada no chão.
- b) O movimento de um satélite ao redor da Terra.
- c) A freada brusca de um carro em alta velocidade.
- d) O esfriamento de um objeto quente num banho de água fria.
- e) A troca de matéria entre as duas estrelas de um sistema binário.

**Questão 27.**

(ITA – 2013) A figura mostra um sistema, livre de qualquer força externa, com um êmbolo que pode ser deslocado sem atrito em seu interior. Fixando o êmbolo e preenchendo o recipiente de volume  $V$  com um gás ideal a pressão  $P$ , e em seguida liberando o êmbolo, o gás expande-se adiabaticamente. Considerando as respectivas massas  $m_c$ , do cilindro, e  $m_e$ , do êmbolo, muito maiores que a massa  $m_g$  do gás, e sendo  $\gamma$  o expoente de Poisson, a variação da energia interna  $\Delta U$  do gás quando a velocidade do cilindro for  $v_c$  é dada aproximadamente por



- a)  $3PV^\gamma/2$ .
- b)  $3PV/(2(\gamma - 1))$ .
- c)  $-m_c(m_e + m_c)v_c^2/(2m_e)$ .
- d)  $-(m_c + m_e)v_c^2/2$ .
- e)  $-m_e(m_e + m_c)v_c^2/(2m_c)$ .

**Questão 28.**

(ITA – 2013) Diferentemente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia a dia. Assim, por exemplo, ao aquecer a parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é

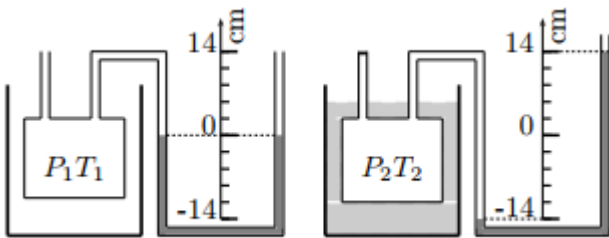
- a) a segunda lei de Newton.



- b) a lei de conservação de energia.
- c) a segunda lei da termodinâmica.
- d) a lei zero da termodinâmica.
- e) a lei de conservação da quantidade de movimento.

**Questão 29.**

(ITA – 2013) Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico  $P \times T$  para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura  $T_0$  quando a pressão  $P = 0$ , interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.

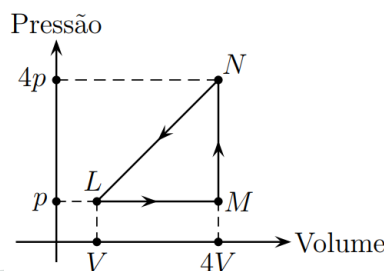


**Questão 30.**

(ITA -2013) Um mol de um gás ideal sofre uma expansão adiabática reversível de um estado inicial cuja pressão é  $P_i$  e o volume é  $V_i$  para um estado final em que a pressão é  $P_f$  e o volume é  $V_f$ . Sabe-se que  $\gamma = C_p/C_v$  é o expoente de Poisson, em que  $C_p$  e  $C_v$  são os respectivos calores molares a pressão e a volume constantes. Obtenha a expressão do trabalho realizado pelo gás em função de,  $P_i, V_i, P_f, V_f$  e  $\gamma$ .

**Questão 31.**

(ITA – 2014) Um recipiente contém um gás monoatômico ideal inicialmente no estado L, com pressão  $p$  e volume  $V$ . O gás é submetido a uma transformação cíclica  $LMNL$ , absorvendo de uma fonte quente uma quantidade de calor  $Q_1$  e cedendo a uma fonte fria uma quantidade de calor  $Q_2$ . Pode-se afirmar que  $Q_1$  é igual a



- a)  $30pV$ .



- b)  $51pV/2$ .
- c)  $8pV$ .
- d)  $15pV/2$ .
- e)  $9pV/2$ .

**Questão 32.**

(ITA – 2014) Pode-se associar a segunda lei da Termodinâmica a um princípio de degradação da energia.

Assinale a alternativa que melhor justifica esta associação.

- a) A energia se conserva sempre.
- b) O calor não flui espontaneamente de um corpo quente para outro frio.
- c) Uma máquina térmica operando em ciclo converte integralmente trabalho em calor.
- d) Todo sistema tende naturalmente para o estado de equilíbrio.
- e) E impossível converter calor totalmente em trabalho.

**Questão 33.**

(ITA – 2014) Considere uma esfera maciça de raio  $r$ , massa  $m$ , coeficiente de dilatação volumétrica  $\alpha$ , feita de um material com calor específico a volume constante  $c_V$ . A esfera, sujeita à pressão atmosférica  $p$ , repousa sobre uma superfície horizontal isolante térmica e está inicialmente a uma temperatura  $T$  alta o suficiente para garantir que a sua energia interna não se altera em processos isotérmicos. Determine a temperatura final da esfera após receber uma quantidade de calor  $Q$ , sem perdas para o ambiente. Dê sua resposta em função de  $g$  e dos outros parâmetros explicitados.

**Questão 34.**

(ITA – 2015) Numa expansão muito lenta, o trabalho efetuado por um gás num processo adiabático é

$$\tau_{12} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1 - \gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

Em que  $P, V, T$  são, respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura do gás, e  $\gamma$  uma constante, sendo os subscritos 1 e 2 representativos, respectivamente, do estado inicial e final do sistema. Lembrando que  $PV^\gamma$  é constante no processo adiabático, esta fórmula pode ser reescrita deste modo:

a) 
$$\frac{P_1 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\frac{T_2}{T_1}}{\ln \frac{V_1}{V_2}}}$$



$$b) \frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

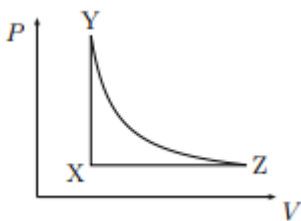
$$c) \frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{V_1}{V_2}}}$$

$$d) \frac{P_1 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

$$e) \frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

**Questão 35.**

(ITA – 2017) Uma transformação cíclica  $XYZX$  de um gás ideal indicada no gráfico  $P \times V$  opera entre dois extremos de temperatura, em que  $YZ$  é um processo de expansão adiabática reversível. Considere  $R = 2,0 \text{ cal/mol.K} = 0,082 \text{ atm. l/mol.K}$ ,  $P_Y = 20 \text{ atm}$ ,  $V_Z = 4,0 \text{ l}$ ,  $V_Y = 2,0 \text{ l}$  e a razão entre as capacidades térmicas molar, a pressão e a volume constante, dada por  $C_P/C_V = 2,0$ . Assinale a razão entre o rendimento deste ciclo e o de uma máquina térmica ideal operando entre os mesmos extremos de temperatura.



- a) 0,38
- b) 0,44
- c) 0,55
- d) 0,75
- e) 2,25

**Questão 36.**

(ITA – 2017) Deseja-se aquecer uma sala usando uma máquina térmica de potência  $P$  operando conforme o ciclo de Carnot, tendo como fonte de calor o ambiente externo à temperatura  $T_1$ . A



troca de calor através das paredes se dá a uma taxa  $\kappa(T_2 - T_1)$ , em que  $T_2$  é a temperatura da sala num dado instante e  $\kappa$ , uma constante com unidade em  $J/s \cdot K$ . Pedem-se: a) A temperatura final de equilíbrio da sala. b) A nova temperatura de equilíbrio caso se troque a máquina térmica por um resistor dissipando a mesma potência  $P$ . c) Entre tais equipamentos, indique qual o mais adequado em termos de consumo de energia. Justifique.

**Questão 37.**

(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) a primeira lei da termodinâmica.
- b) a segunda lei da termodinâmica.
- c) a lei zero da termodinâmica.
- d) o teorema da energia cinética.
- e) o conceito de temperatura.

**Questão 38.**

(ITA – 2019) Uma empresa planeja instalar um sistema de refrigeração para manter uma sala de dimensões  $4,0\text{ m} \times 5,0\text{ m} \times 3,0\text{ m}$  a uma temperatura controlada em torno de  $10^\circ\text{C}$ . A temperatura média do ambiente não controlado é de  $20^\circ\text{C}$  e a sala é revestida com um material de  $20\text{ cm}$  de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,60\text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Sabendo que a eficiência do sistema de refrigeração escolhido é igual a  $2,0$  e que o custo de  $1\text{ kWh}$  é de  $\text{R\$ }0,50$ , estime o custo diário de refrigeração da sala.

**Questão 39.**

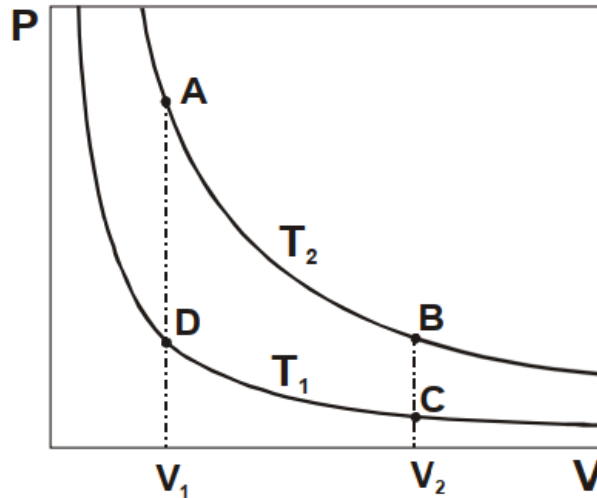
(OBF – 2005) Para a resolução do problema a seguir considere as seguintes afirmações:

- A energia interna  $U$  de um gás ideal depende apenas de sua temperatura  $T$ .
- Para um gás ideal, o trabalho realizado (ou recebido), em uma expansão (ou contração) isotérmica, ao passar de um volume  $V_i$  para  $V_f$  é dado por  $\tau_{if} = 2,3 \cdot n \cdot R \cdot T \cdot \log\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ , em que  $n$  é o número de mols e  $R$  é a constante dos gases ideais.

O diagrama  $PV$  a seguir mostra duas isotermas à temperatura  $T_1 = 300\text{ K}$  e  $T_2 = 600\text{ K}$ . Se há uma expansão isotérmica entre  $A$  e  $B$ , o calor trocado é  $Q_{AB}$ . Se o gás sofre uma contração



isotérmica entre  $C$  e  $D$  o calor trocado é  $Q_{CD}$ . Calcule a razão  $Q_{AB}/Q_{CD}$ , explicitando se em cada processo o calor é fornecido ao gás ou retirado do mesmo.



**Questão 40.**

(OBF – 2005) Um sistema termodinâmico pode ir de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$  por dois caminhos distintos, onde a diferença de energia interna entre estes estados é  $U_f - U_i = 50 \text{ J}$ . No primeiro caminho, o sistema sofre uma expansão isobárica, indo de um volume  $V_i$  para  $V_f$ , e em seguida há uma transformação isocórica, onde a pressão passa de um valor  $P_i$  para  $P_f$ . O trabalho realizado pelo sistema neste caminho foi de  $100 \text{ J}$ . No segundo caminho, mantendo-se o volume constante, a pressão do sistema passa de  $P_i$  para  $P_f$ . Em seguida, há uma expansão isobárica e o sistema atinge o estado  $f$ . Sabe-se que, se o sistema descreve um ciclo indo pelo segundo caminho e retornando pelo primeiro, o trabalho realizado pelo sistema é de  $200 \text{ J}$ .

- Faça um desenho destas transformações em um diagrama ( $P, V$ ).
- Calcule o trabalho associado ao segundo caminho, determinando se é realizado sobre ou pelo sistema.
- Calcule a quantidade de calor  $Q$  envolvido nos dois caminhos e determine se ele é fornecido ou retirado do sistema.

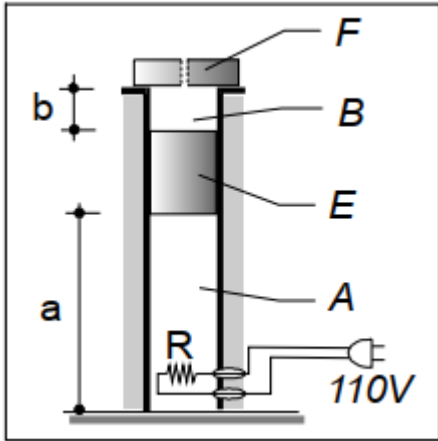
**Questão 41.**

(OBF – 2006) O dispositivo representado mostra um recipiente cilíndrico que contém em seu interior um êmbolo “ $E$ ”. Ambos são isolados termicamente e apresentam capacidade térmica irrelevante. O êmbolo tem massa  $m_E = 300 \text{ kg}$ , desliza sem atrito e tem uma base circular de área  $S = 100 \text{ cm}^2$ . No ambiente representado pela letra “ $A$ ” existe  $1 \text{ mol}$  ( $4,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ) de gás hélio na temperatura  $T_o = 300 \text{ K}$  capaz de equilibrar a pressão exercida pelo peso  $P_E$  do êmbolo superposta à pressão atmosférica  $p_{atm} = 1,00 \text{ atm}$ , mantendo, assim, a medida “ $a$ ” igual a  $0,600 \text{ m}$ . Num dado instante a tomada é conectada a uma fonte de tensão constante e igual a  $110 \text{ V}$  para, por meio do resistor  $R$ , aquecer o gás citado. O resistor é mantido ligado até o instante em que o êmbolo, graças à expansão gasosa, sofra um deslocamento total igual a  $2b$ . A peça “ $F$ ”, de massa  $m_F = 100 \text{ kg}$ , está simplesmente apoiada na parte superior do recipiente





e será deslocada com a subida do êmbolo. Esta peça é dotada de um orifício para manter o ar, no ambiente “*B*”, sob pressão igual à pressão atmosférica. Admitindo que  $c_p$  seja o calor específico do gás hélio para as evoluções isobáricas, que  $c_V = 3125 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$  seja o calor específico para as evoluções isométricas, que a relação  $\gamma = c_p/c_V$  seja igual a **1,664**, que a medida de “*b*” seja igual a **0,200 m** e que a resistência elétrica do resistor *R* seja igual **1210  $\Omega$** , calcule:



- a) a quantidade de calor  $Q_1$  absorvida pela massa gasosa para que o êmbolo *E* apenas encoste na peça *F*.
- b) o intervalo de tempo  $\Delta t$  que deve permanecer ligado o resistor.
- c) o rendimento  $\eta$  do dispositivo considerando o trabalho realizado e o consumo de energia elétrica.

### Questão 42.

(OBF – 2007) Uma máquina térmica tem rendimento **20%** menor do que uma máquina de Carnot que opera entre as temperaturas  $T_1 = 300 \text{ K}$  e  $T_2 = 600 \text{ K}$ . A quantidade de calor por unidade de tempo recebida pela máquina é igual à que ocorre quando uma parede de **10 cm** de espessura, área de **2 m<sup>2</sup>** e condutividade térmica de **50 W/(m K)** é submetida a uma diferença de temperatura de **500 K**.

- a) Determine a potência desta máquina.
- b) Que quantidade de gelo a **-200C** seria possível derreter usando a quantidade de calor descartada pela máquina, durante um tempo de 10 minutos?

### Questão 43.

(OBF – 2007) Certa quantidade de gás Hélio, inicialmente no estado *A*, em que a pressão e o volume valem  $P_A = 32 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $V_A = 1 \text{ m}^3$ , sofre o processo  $A \rightarrow B \rightarrow C$ . O processo  $A \rightarrow B$  é isobárico e  $B \rightarrow C$  é adiabático. Considere o gás ideal e que para o Hélio,  $c_V = 3R/2$  e  $c_p = 5R/2$ , são os calores específicos molares a volume e a pressão constante, respectivamente.

- a) Construa o diagrama *PV*, sabendo que o volume do gás no estado *B* é  $V_B = 2 \text{ m}^3$  e a pressão no estado *C* é  $P_C = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ .



b) Quanto trabalho foi realizado pelo gás na expansão  $A \rightarrow C$ ?

c) Qual a variação na energia interna do gás de  $A \rightarrow C$ ?

Observação: Num processo adiabático, o trabalho realizado (ou recebido)

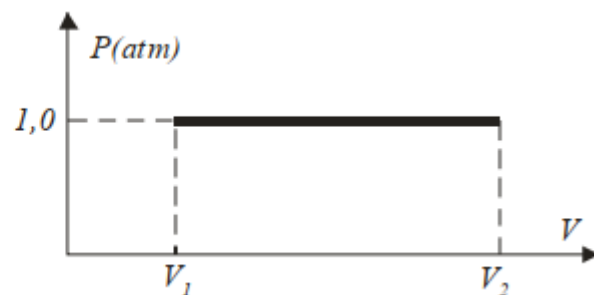
pelo gás entre os estados  $1 \rightarrow 2$  é dado por:  $\Delta\tau = \frac{1}{1-\gamma}(P_2V_2 - P_1V_1)$ , em que  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$  é o fator de Poisson.

#### Questão 44.

(OBF – 2008) Um recipiente cilíndrico, de área de secção reta de  $300 \text{ cm}^2$  contém 3 moles de gás ideal diatômico ( $C_V = 5R/2$ ) que está à mesma pressão externa. Este recipiente contém um pistão que pode se mover sem atrito e todas as paredes são adiabáticas, exceto uma que pode ser retirada para que o gás fique em contato com uma fonte que fornece calor a uma taxa constante (veja figura 4). Num determinado instante o gás sofre um processo termodinâmico ilustrado no diagrama  $PV$  abaixo e o pistão se move com velocidade constante de  $16,6 \text{ mm/s}$ .

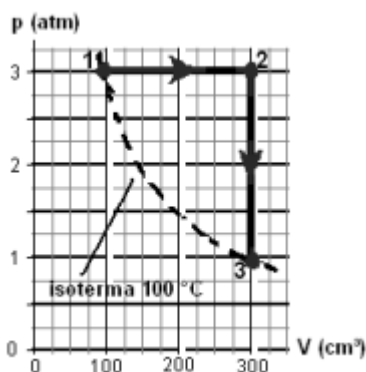
a) Qual foi a variação de temperatura do gás depois de decorridos  $50 \text{ s}$ ?

b) Obtenha a quantidade de calor transferida ao gás durante esse intervalo de tempo.



#### Questão 45.

(OBF – 2009) Durante uma transformação termodinâmica um gás ideal monoatômico segue o seguinte processo  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , conforme mostra abaixo.



a) Quanto calor é necessário durante o processo  $1 \rightarrow 2$ ?

b) E durante o processo  $2 \rightarrow 3$ .

#### Questão 46.

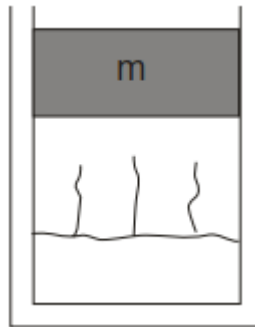


(OBF – 2010) Certo fabricante de freezers indica que um dado modelo tem um consumo anual de **730 kWh**.

- Assumindo que o freezer opere 5 horas durante 24 horas, qual a potência que ele consome quando em operação?
- Se o freezer mantém a temperatura no seu interior em  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  num ambiente a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  qual é a máxima performance teórica deste modelo?
- Qual é a máxima quantidade de gelo que este freezer consegue produzir em 1 hora, a partir de água a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

**Questão 47.**

(OBF – 2011) Um cilindro de paredes condutoras térmicas possui um embolo de massa  $m$  bem ajustado (mas sem atritos), cuja secção de área transversal é  $S$ . O cilindro contém água e vapor à temperatura  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou seja, estão na temperatura de condensação.



Observa-se que o embolo cai vagarosamente à velocidade constante  $v$ , porque alguma quantidade de calor flui através das paredes do cilindro e fazendo que um pouco de vapor se condense continuamente. A densidade de vapor no interior do recipiente é  $\rho$ .

- Calcule a taxa de condensação do vapor, variação de massa de vapor por unidade de tempo, em termos dos parâmetros dados no problema.
- A que taxa o calor flui para fora do cilindro? Dê o resultado em função do calor de condensação  $L$  da água e dos outros dados do problema.
- Qual a taxa de variação da energia interna do vapor? O calor específico molar a volume constante da água é  $C_V$  e sua massa molar é  $M$ .
- E qual a taxa de variação da energia interna da água líquida?

**Questão 48.**

(OBF – 2011) Há um copo de água em contato com o ambiente, e ambos se encontram a uma temperatura

$T_0$ .

- Mostre, usando o conceito de entropia (e a segunda lei da termodinâmica), que não é natural ver a água do copo variar sua temperatura e resolver se manter em equilíbrio a uma temperatura diferente de  $T_0$ .



Dicas: A variação de entropia associada à variação de temperatura de uma massa  $m$  de um corpo com calor específico  $c$ , que vai de uma temperatura  $T_0$  até  $T$  é:

$$\Delta S = m \cdot c \cdot \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

Onde  $\ln$  é o logaritmo natural.

Você pode usar também a desigualdade  $\ln(1 + x) < x$ , para todo  $x > -1$  e diferente de 0.

b) Dois corpos em contato térmico se encontram isolados do resto do universo. Eles possuem massas e calores específicos  $m_1, c_1$  e  $m_2, c_2$ , com os índices (1, 2) se referindo a cada corpo. Se ambos estão na mesma temperatura  $T_0$ , mostre que não é esperado que eles troquem calor e se equilibrem (termicamente) em temperaturas diferentes.

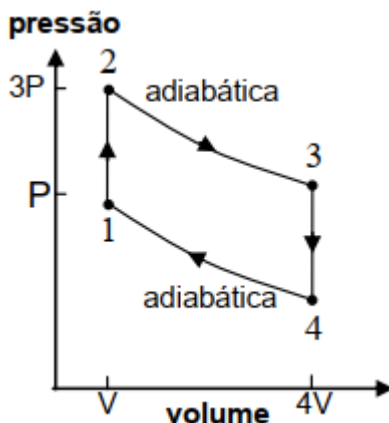
Dica: use que  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$ , se  $x \ll 1$ .

### Questão 49.

(OBF – 2012) A temperatura na superfície do Sol é de aproximadamente **6.000 K**. Num dia normal a superfície da Terra recebe do Sol cerca de **1.000 W/m<sup>2</sup>**. Durante **10** horas recebendo a radiação solar a temperatura numa superfície de **1 m<sup>2</sup>** mantém-se em **300 K**. Qual a variação de entropia desta área da Terra considerando esta quantidade de energia transferida do Sol?

### Questão 50.

(OBF – 2013) Numa situação termodinâmica ideal, consideremos um motor de combustão interna chamado de Motor de Ciclo Otto e representado na figura ao lado. Este ciclo é formado por duas curvas adiabáticas e duas isocóricas. Qual é a eficiência do motor se a mistura gasolina-ar for considerada um gás ideal diatômico ( $\gamma = 1,4$ )? Sabe-se que cada quilograma de gasolina fornece **4,4x10<sup>4</sup> kJ** de energia e a sua densidade é **0,7 kg/litro**. Qual é o consumo de gasolina por hora para de um motor de **67 HP (5,0x10<sup>4</sup> W)** sujeito ao ciclo de Otto ideal?

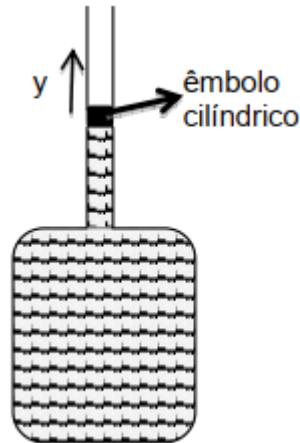


### Questão 51.

(OBF – 2014) Eduard Rüchardt propôs um método simples para se medir a razão  $\gamma = C_p/C_v$  de um gás ideal, onde  $C_p$  é a capacidade calorífica a pressão constante e  $C_v$  a capacidade calorífica



a volume constante. A figura ao lado mostra esquematicamente o arranjo usado. O recipiente contém um gás, considerado ideal, inicialmente com volume  $V_0$ , pressão  $P_0$  e está em equilíbrio térmico. O êmbolo cilíndrico tem massa  $m$ , área da base  $A$ , altura  $L$  e é livre para se mover ao longo do recipiente. Na posição de equilíbrio o peso do êmbolo equivale à força exercida pelo gás. O êmbolo é tirado da posição de equilíbrio por um pequeno deslocamento  $y$  alterando o estado do gás. O gás exercerá sobre o êmbolo uma força restauradora fazendo-o oscilar com uma frequência característica que depende de  $\gamma$ . Supondo que a transformação seja adiabática e desprezando-se o atrito entre o êmbolo e o recipiente,



- encontre a variação de pressão  $\Delta P$ . Para isso use a aproximação  $\left(1 \pm \frac{\Delta V}{V}\right)^\gamma \approx 1 \pm \frac{\gamma \Delta V}{V}$ , já que a variação relativa do volume é pequena,
- encontre a força restauradora atuando no êmbolo mantendo apenas termos de ordem linear em  $y$ ,
- determine  $\gamma$  em função período de movimento do êmbolo e dos dados fornecidos no problema.

### Questão 52.

(IME – 2020 – 2ª Fase) Um produtor rural constata que suas despesas mensais de eletricidade estão altas e decide contratar um pesquisador para que ele especifique formas alternativas de acionamento simultâneo de duas bombas empregadas para irrigação de suas lavouras. O pesquisador constata que, na fazenda, existe uma máquina refrigeradora que opera em um ciclo termodinâmico, bem como outro dispositivo que atua como um ciclo motor e propõe a solução descrita a seguir:

“A potência disponibilizada pelo ciclo motor deverá ser integralmente utilizada para o acionamento da máquina refrigeradora e a energia rejeitada para o ambiente de ambos os dispositivos – de acordo com os seus cálculos – é mais do que suficiente para o acionamento simultâneo das duas bombas.”

De acordo com os dados abaixo, determine se a solução encaminhada pelo pesquisador é viável, com base em uma análise termodinâmica da proposição.

Dados:

Temperatura do ambiente: 27 °C;



Temperatura no interior da máquina refrigeradora:  $-19/3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Temperatura da fonte térmica referente ao ciclo motor:  $927\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Potência de cada bomba empregada na irrigação: 5 HP;

Estimativa da taxa de energia recebida pelo motor térmico: 80 kJ/min;

1 HP =  $\frac{3}{4}$  kW

### Questão 53.

(IME – 2020 – 1ª Fase) Um escritório de patentes analisa as afirmativas de um inventor que deseja obter os direitos sobre três máquinas térmicas reais que trabalham em um ciclo termodinâmico. Os dados sobre o calor rejeitado para a fonte fria e o trabalho produzido pela máquina térmica – ambos expressos em Joules – encontram-se na tabela abaixo.

Máquina Térmica	Calor Rejeitado (J)	Trabalho Produzido (J)
A	40	60
B	15	30
C	8	12

As afirmativas do inventor são:

Afirmativa 1: O rendimento das máquinas A e C são os mesmos para quaisquer temperaturas de fonte quente e de fonte fria.

Afirmativa 2: As máquinas A, B e C obedecem à Segunda Lei da Termodinâmica.

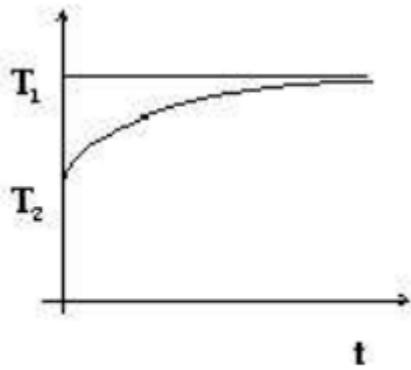
Afirmativa 3: Se o calor rejeitado nas três situações acima for dobrado e se for mantida a mesma produção de trabalho, a máquina B apresentará rendimento superior aos das máquinas A e C, supondo atendidos os princípios da termodinâmica.

Tomando sempre as temperaturas dos reservatórios das fontes quente e fria das máquinas como 900 K e 300 K, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

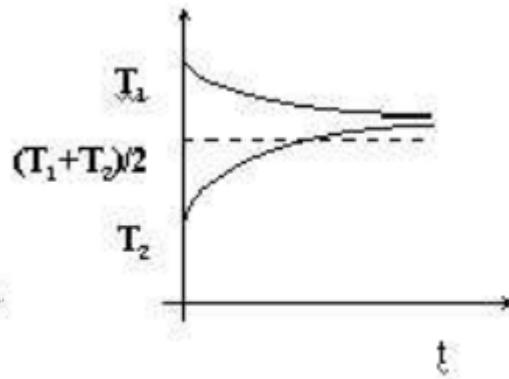
- a) 1, apenas.
- b) 2, apenas.
- c) 1, 2 e 3.
- d) 1 e 3, apenas.
- e) 2 e 3, apenas.

### Questão 54.

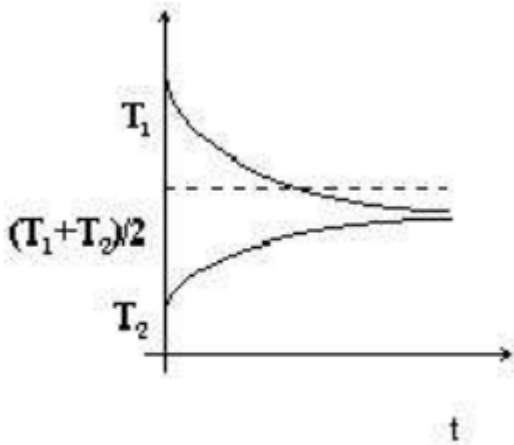
(IME – 1997) Dois corpos, cujas temperaturas iniciais valem  $T_1$  e  $T_2$ , interagem termicamente ao longo do tempo e algumas das possíveis evoluções são mostradas nos gráficos abaixo. Analise cada uma das situações e discorra a respeito da situação física apresentada, procurando, caso procedente, tecer comentários acerca dos conceitos de reservatório térmico e capacidade térmica. Fundamente, sempre que possível, suas afirmações na Primeira Lei da Termodinâmica.



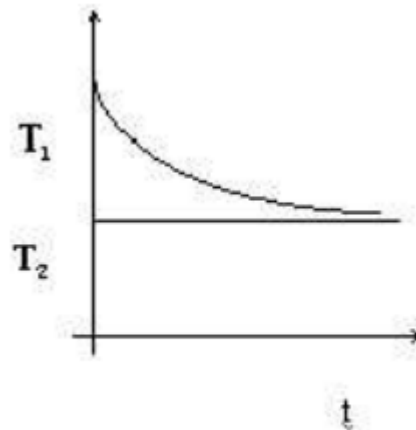
(a)



(b)



(c)



(d)

### Questão 55.

(IME – 1998) Um cilindro com um êmbolo móvel contém 1 mol de um gás ideal que é aquecido isobaricamente de 300 K até 400 K. Ilustre o processo em um diagrama pressão versus volume e determine o trabalho realizado pelo gás, em joules.

Dados:

- Constante universal dos gases ideais: **0,082 (atm. l)/(mol. K)**;
- **1 atm = 10<sup>5</sup> Pa.**

### Questão 56.

(IME – 1999) Um cilindro contém oxigênio à pressão de 2 atmosferas e ocupa um volume de 3 litros à temperatura de **300 K**. O gás, cujo comportamento é considerado ideal, executa um ciclo termodinâmico através dos seguintes processos:

Processo 1-2: aquecimento à pressão constante até **500 K**.

Processo 2-3: resfriamento à volume constante até **250 K**.

Processo 3-4: resfriamento à pressão constante até **150 K**.

Processo 4-1: aquecimento à volume constante até **300 K**.





Ilustre os processos em um diagrama pressão-volume e determine o trabalho executado pelo gás, em Joules, durante o ciclo descrito acima. Determine, ainda, o calor líquido produzido ao longo deste ciclo.

Dado:  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ .

### Questão 57.

(IME – 2000) Uma máquina térmica operando em um ciclo de Carnot recebe calor de um reservatório térmico cuja temperatura é  $T_H$  e cede calor a um segundo reservatório com temperatura desconhecida. Uma segunda máquina térmica, também operando em um ciclo de Carnot, recebe calor deste último reservatório e cede calor a um terceiro reservatório com temperatura  $T_C$ . Determine uma expressão termodinamicamente admissível para a temperatura  $T$  do segundo reservatório, que envolva apenas  $T_H$  e  $T_C$ , supondo que:

- o rendimento dos dois ciclos de Carnot seja o mesmo.
- o trabalho desenvolvido em cada um dos ciclos seja o mesmo.

### Questão 58.

(IME – 2002) Ao analisar o funcionamento de uma geladeira de  $200 \text{ W}$ , um inventor percebe que a serpentina de refrigeração se encontra a uma temperatura maior que a ambiente e decide utilizar este fato para gerar energia. Ele afirma ser possível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e que produza  $0,1 \text{ hp}$ . Baseado nas Leis da Termodinâmica, discuta a validade da afirmação do inventor.

Considere que as temperaturas da serpentina e do ambiente valem, respectivamente,  $30^\circ\text{C}$  e  $27^\circ\text{C}$ . Suponha também que a temperatura no interior da geladeira seja igual a  $7^\circ\text{C}$ .

Dado:  $1 \text{ hp} = 0,75 \text{ kW}$ .

### Questão 59.

(IME – 2004) Uma certa usina termoelétrica tem por objetivo produzir eletricidade para consumo residencial a partir da queima de carvão. São consumidas  $7,2$  toneladas de carvão por hora e a combustão de cada quilo gera  $2 \cdot 10^7 \text{ J}$  de energia. A temperatura de queima é de  $907^\circ\text{C}$  e existe uma rejeição de energia para um riacho cuja temperatura é de  $22^\circ\text{C}$ . Estimativas indicam que o rendimento da termoelétrica é  $75\%$  do máximo admissível teoricamente. No discurso de inauguração desta usina, o palestrante afirmou que ela poderia atender, no mínimo, à demanda de  $100.000$  residências. Admitindo que cada unidade habitacional consome mensalmente  $400 \text{ kWh}$  e que a termoelétrica opera durante  $29,63$  dias em cada mês, o que equivale a aproximadamente  $2,56 \cdot 10^6$  segundos, determine a veracidade daquela afirmação e justifique sua conclusão através de uma análise termodinâmica do problema.



**Questão 60.**

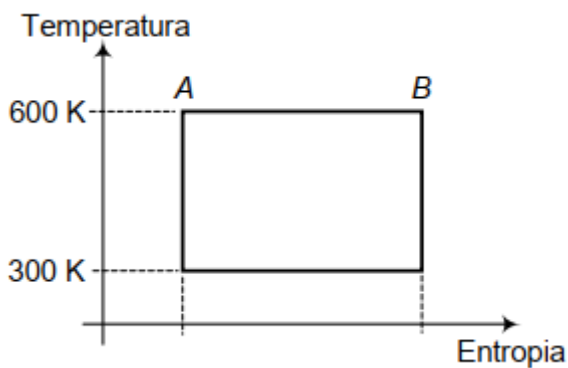
(IME – 2007) Uma massa  $m$  de ar, inicialmente a uma pressão de  $3 \text{ atm}$ , ocupa  $0,1 \text{ m}^3$  em um balão. Este gás é expandido isobaricamente até um volume de  $0,2 \text{ m}^3$  e, em seguida, ocorre uma nova expansão através de um processo isotérmico, sendo o trabalho realizado pelo gás durante esta última expansão igual a  $66000 \text{ J}$ . Determine:

- o trabalho total realizado em joules pelo gás durante todo o processo de expansão;
- o calor total associado às duas expansões, interpretando fisicamente o sinal desta grandeza.

Dados:  $1 \text{ atm} = 1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ,  $1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$  e  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$ .

Obs.: suponha que o ar nestas condições possa ser considerado como gás ideal.

**Questão 61.**



(IME – 2008) Uma máquina térmica opera a  $6000$  ciclos termodinâmicos por minuto, executando o ciclo de Carnot, mostrado na figura abaixo. O trabalho desta máquina térmica é utilizado para elevar verticalmente uma carga de  $1000 \text{ kg}$  com velocidade constante de  $10 \text{ m/s}$ . Determine a variação da entropia no processo AB, representado na figura. Considere a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e os processos termodinâmicos reversíveis.

**Questão 62.**

(IME -2008) Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, seguida de uma compressão adiabática. A variação total da energia interna do gás poderá ser nula se, dentre as opções abaixo, a transformação seguinte for uma:

- compressão isotérmica.
- expansão isobárica.
- compressão isobárica.
- expansão isocórica.
- compressão isocórica.

**Questão 63.**

(IME – 2009) Um industrial possui uma máquina térmica operando em um ciclo termodinâmico, cuja fonte de alimentação advém da queima de óleo combustível a 800 K. Preocupado com os elevados

custos do petróleo, ele contrata os serviços de um inventor. Após estudo, o inventor afirma que o uso do óleo combustível pode ser minimizado através do esquema descrito a seguir: um quarto do calor necessário para acionar a máquina seria originado da queima de bagaço de cana a 400 K, enquanto o restante seria proveniente da queima de óleo combustível aos mesmos 800 K. Ao ser inquirido sobre o desempenho da máquina nesta nova configuração, o inventor argumenta que a queda no rendimento será inferior a 5%. Você julga esta afirmação procedente? Justifique estabelecendo uma análise termodinâmica do problema para corroborar seu ponto de vista. Considere que, em ambas as situações, a máquina rejeita parte da energia para o ar atmosférico, cuja temperatura é 300 K.

**Questão 64.**

(IME – 2010) Atendendo a um edital do governo, um fabricante deseja certificar junto aos órgãos competentes uma geladeira de baixos custo e consumo. Esta geladeira apresenta um coeficiente de desempenho igual a **2** e rejeita **9/8 kW** para o ambiente externo. De acordo com o fabricante, estes dados foram medidos em uma situação típica de operação, na qual o compressor da geladeira se manteve funcionando durante **1/8** do tempo à temperatura ambiente de **27 °C**. O edital preconiza que, para obter a certificação, é necessário que o custo mensal de operação da geladeira seja, no máximo, igual a **R\$ 5,00** e que a temperatura interna do aparelho seja inferior a **8 °C**. O fabricante afirma que os dois critérios são atendidos, pois o desempenho da geladeira é **1/7** do máximo possível. Verifique, baseado nos princípios da termodinâmica, se esta assertiva do fabricante está tecnicamente correta. Considere que a tarifa referente ao consumo de **1 kWh** é **R\$ 0,20**.

**Questão 65.**

(IME – 2012) Em visita a uma instalação fabril, um engenheiro observa o funcionamento de uma máquina térmica que produz trabalho e opera em um ciclo termodinâmico, extraíndo energia de um reservatório térmico a **1000 K** e rejeitando calor para um segundo reservatório a **600 K**. Os dados de operação da máquina indicam que seu índice de desempenho é **80%**. Ele afirma que é possível racionalizar a operação acoplado uma segunda máquina térmica ao reservatório de menor temperatura e fazendo com que esta rejeite calor para o ambiente, que se encontra a **300 K**. Ao ser informado de que apenas **60%** do calor rejeitado pela primeira máquina pode ser efetivamente aproveitado, o engenheiro argumenta que, sob estas condições, a segunda máquina pode disponibilizar uma quantidade de trabalho igual a **30%** da primeira máquina. Admite-se que o índice de desempenho de segunda máquina, que também opera em um ciclo termodinâmico, é metade do da primeira máquina. Por meio de uma análise termodinâmica do problema, verifique se o valor de **30%** está correto.

Observação: o índice de desempenho de uma máquina térmica é a razão entre o seu rendimento real e o rendimento máximo teoricamente admissível.

**Questão 66.**

(IME – 2017) Um gás ideal e monoatômico contido em garrafa fechada com  $0,1 \text{ m}^3$  está inicialmente a  $300 \text{ K}$  e a  $100 \text{ kPa}$ . Em seguida, esse gás é aquecido, atingindo  $600 \text{ K}$ . Nessas condições, o calor fornecido ao gás, em **kJ**, foi:

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 30
- e) 45

**Questão 67.**

(IME – 2017) Um pesquisador recebeu a incumbência de projetar um sistema alternativo para o fornecimento de energia elétrica visando ao acionamento de compressores de geladeiras a serem empregadas no estoque de vacinas. De acordo com os dados de projeto, a temperatura ideal de funcionamento da geladeira deve ser  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 10 horas de operação contínua, sendo que a mesma possui as seguintes dimensões:  $40 \text{ cm}$  de altura,  $30 \text{ cm}$  de largura e  $80 \text{ cm}$  de profundidade. Após estudo, o pesquisador recomenda que, inicialmente, todas as faces da geladeira sejam recobertas por uma camada de  $1,36 \text{ cm}$  de espessura de um material isolante, de modo a se ter um melhor funcionamento do dispositivo. Considerando que este projeto visa a atender comunidades remotas localizadas em regiões com alto índice de radiação solar, o pesquisador sugere empregar um painel fotovoltaico que converta a energia solar em energia elétrica. Estudos de viabilidade técnica apontam que a eficiência térmica da geladeira deve ser, no mínimo, igual a  $50\%$  do máximo teoricamente admissível. Baseado em uma análise termodinâmica e levando em conta os dados abaixo, verifique se a solução proposta pelo pesquisador é adequada.

Dados:

- Condutividade térmica do material isolante:  $0,05 \text{ W/m }^\circ\text{C}$ ;
- Temperatura ambiente da localidade:  $34 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- Insolação solar média na localidade:  $18 \text{ MJ/m}^2$ , em 10 horas de operação contínua;
- Rendimento do painel fotovoltaico:  $10\%$ ;
- Área do painel fotovoltaico:  $2 \text{ m}^2$ .

**Questão 68.**

(IME – 2018) Considere as afirmações abaixo, relativas a uma máquina térmica que executa um ciclo termodinâmico durante o qual há realização de trabalho.

Afirmção I. se as temperaturas das fontes forem  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $427 \text{ }^\circ\text{C}$ , a máquina térmica poderá apresentar um rendimento de  $40\%$ .



Afirmção II. Se o rendimento da máquina for 40 % do rendimento ideal para temperaturas das fontes iguais a 27 °C e 327 °C e se o calor rejeitado pela máquina for 0,8 kJ, o trabalho realizado será **1,8 kJ**.

Afirmção III. Se a temperatura de uma das fontes for 727 °C e se a razão entre o calor rejeitado pela máquina e o calor recebido for 0,4 a outra fonte apresentará uma temperatura de **−23 °C** no caso de o rendimento da máquina ser 80% do rendimento ideal.

Está(ão) correta(s) a(s) seguinte(s) afirmação(ões):

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) III, apenas.

### Questão 69.

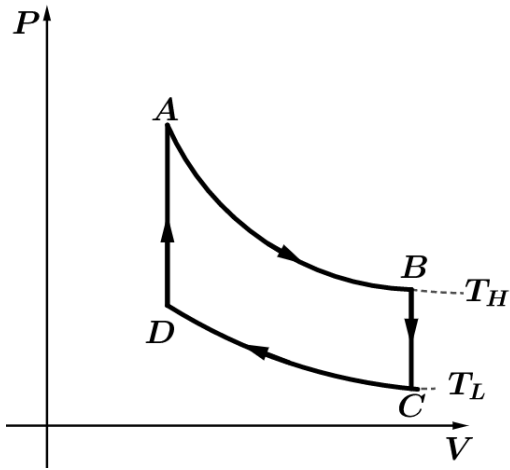
(IME – 2018) Durante um turno de 8 horas, uma fábrica armazena **200 kg** de um rejeito na fase vapor para que posteriormente seja liquefeito e estocado para descarte seguro. De modo a promover uma melhor eficiência energética da empresa, um inventor propõe o seguinte esquema: a energia proveniente do processo de liquefação pode ser empregada em uma máquina térmica que opera em um ciclo termodinâmico de tal forma que uma bomba industrial de potência **6,4 HP** seja acionada continuamente 8 horas por dia. Por meio de uma análise termodinâmica, determine se a proposta do inventor é viável, tomando como base os dados abaixo.

Dados:

- calor latente do rejeito: **2 · 160 kJ/kg**;
- temperatura do rejeito antes de ser liquefeito: **127 °C**;
- temperatura do ambiente onde a máquina térmica opera: **27 °C**;
- rendimento da máquina térmica: **80%** do máximo teórico;
- perdas associadas ao processo de acionamento da bomba: **20%**; e
- **1 HP = 3/4 kW**.

### Questão 70.

Considere o ciclo de Sterling mostrado na figura abaixo, que é composto por duas isocóricas e duas isotérmicas. Para esse ciclo, calcule o rendimento do ciclo em função do rendimento de Carnot, do calor específico a volume constante, e dos volumes máximos e mínimos.





## Resolução

### Nível 1

#### Questão 1.

(EEAR 2006) Se considerarmos que um ciclo ou uma transformação cíclica de uma dada massa gasosa é um conjunto de transformações após as quais o gás volta às mesmas condições que possuía inicialmente, podemos afirmar que quando um ciclo termodinâmico é completado,

- a) o trabalho realizado pela massa gasosa é nulo.
- b) a variação da energia interna da massa gasosa é igual ao calor cedido pela fonte quente.
- c) a massa gasosa realiza um trabalho igual à variação de sua energia interna.
- d) a variação de energia interna da massa gasosa é nula.

#### Comentário:

Analisando as alternativas:

Falso, pois para que o trabalho seja nulo, a área do gráfico tem que ser zero, o que não é verdade sempre.

Falso, pois a variação de energia interna é nula ( $\Delta U = U_f - U_i$  e  $U_f = U_i$ , logo  $\Delta U = 0$ ) e, com isso,  $Q = W$ . E da letra a, não podemos afirmar que  $W = 0$ , portanto, nem sempre  $Q = 0$ .

Falso, pois da letra B, temos que  $\Delta U = 0$  e da letra a, temos que o trabalho não necessariamente é nulo.

Verdadeiro, pois  $\Delta U = U_f - U_i$  e  $U_f = U_i$ , logo  $\Delta U = 0$

#### Gabarito: D

#### Questão 2.

(EEAR 2006) “É impossível construir uma máquina operando em ciclos cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.”

Esse enunciado, que se refere à Segunda Lei da Termodinâmica, deve-se a

- a) Clausius.
- b) Ampère.
- c) Clapeyron.
- d) Kelvin.

#### Comentário:

Os enunciados da termodinâmica são dois:

- Clausius: É impossível para uma máquina térmica, sem auxílio de um agente externo, transferir calor de um corpo para outro de maior temperatura





- Kelvin: É impossível que uma máquina térmica trabalhando em ciclo consiga transformar toda energia térmica em trabalho, ou seja, possuir um rendimento de 100%

Logo, a resposta é letra D.

**Gabarito: D**

---

**Questão 3.**

(EEAR 2006) Muitas pessoas costumam ir à praia para o consagrado “banho de Sol”. Dessa forma, pode-se dizer que tais pessoas “recebem” calor, principalmente, através do processo de

- a) Condução.
- b) Irradiação.
- c) Convecção.
- d) Evaporação.

**Comentário:**

O processo de aquecimento solar ocorre, principalmente, pela irradiação. Pois os raios solares passam pelo vácuo e o único método de propagação de calor que ocorre nesse ambiente é a irradiação.

**Gabarito: B**

---

**Questão 4.**

(EEAR 2007) Numa máquina de Carnot, de rendimento 25%, o trabalho realizado em cada ciclo é de 400 J. O calor, em joules, rejeitado para fonte fria vale:

- a) 400
- b) 600
- c) 1200
- d) 1600

**Comentário:**

Como:

$$\eta = \frac{W}{Q_Q}$$

$$E \eta = 25\% \text{ e } W = 400 \text{ J}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{400}{Q_Q}$$

$$Q_Q = 1600 \text{ J}$$

Sabendo que:

$$Q_Q = Q_F + W$$

$$1600 = Q_F + 400$$

$$Q_F = 1200 \text{ J}$$



**Gabarito: C**

**Questão 5.**

(EEAR 2007) Para diminuir a variação de temperatura devido a \_\_\_\_\_ de calor, do alimento em uma embalagem descartável de folha de alumínio, a face espelhada da tampa deve estar voltada para \_\_\_\_\_

Obs: A temperatura do ambiente é maior que a temperatura do alimento.

- a) radiação; dentro
- b) condução; fora
- c) convecção; fora
- d) radiação; fora

**Comentário:**

Sabendo que a face espelhada serve para diminuir o impacto de ondas térmicas, temos que a primeira parte do problema é a radiação

E como queremos evitar o aumento de calor na parte de dentro da embalagem, devemos colocar a parte espelhada para fora

**Gabarito: D**

**Questão 6.**

(EEAR 2008) A convecção é um processo de transferência de calor que ocorre

- a) somente nos gases.
- b) somente nos fluidos.
- c) também nos sólidos.
- d) nos sólidos e líquidos.

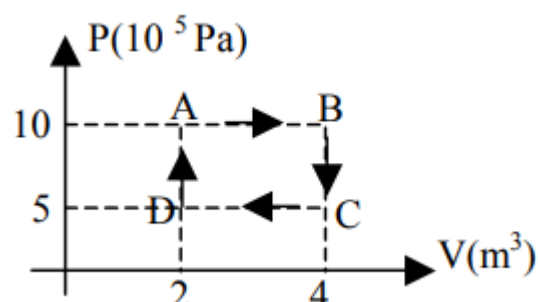
**Comentário:**

Sabendo que a convecção não ocorre em sólidos e que ela ocorre em líquidos e gases, conseguimos chegar à resposta. E, de fato, a convecção ocorre somente em fluidos de acordo com a letra B

**Gabarito: B**

**Questão 7.**

(EEAR 2008) Um sistema termodinâmico realiza o ciclo indicado no gráfico  $P \times V$  a seguir





O trabalho resultante e a variação de energia interna do gás, ao completar o ciclo, valem, em joules, respectivamente, \_\_\_\_\_.

- a) zero e zero
- b)  $10 \times 10^5$  e zero
- c) zero e  $10 \times 10^5$
- d)  $20 \times 10^5$  e zero

**Comentário:**

Sabendo que o trabalho resultante é numericamente igual a área do gráfico P x V, temos:

$$WR = 5 \cdot 10^5 \cdot 2$$

$$WR = 10 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Como estamos num ciclo:

$$\Delta U = U_f - U_i \text{ e } U_f = U_i$$

$$\Delta U = 0$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 8.**

(EEAR 2009) Alguns balões de festa foram inflados com ar comprimido, e outros com gás hélio. Assim feito, verificou-se que somente os balões cheios com gás hélio subiram. Qual seria a explicação para este fato?

- a) O gás hélio é menos denso que o ar atmosférico.
- b) O ar comprimido é constituído, na sua maioria, pelo hidrogênio.
- c) O gás hélio foi colocado nos balões a uma pressão menor que a do ar comprimido.
- d) Os balões com gás hélio foram preenchidos a uma pressão maior que a do ar comprimido.

**Comentário:**

Analisando as alternativas:

Verdade, pois os balões que subiram são aqueles que possuem uma densidade menor se comparada com ambiente externo. Com isso, o gás hélio possui uma densidade menor densidade se comparado com o ar comprimido.

Falso, o ar comprimido possui a mesma composição do ar atmosférico. Logo, possuirá majoritariamente nitrogênio

E d) Falso, pois as pressões dos gases serão iguais entre si e iguais a pressão atmosférica para que o balão não estoure nem murche

**Gabarito: A**

---

**Questão 9.**



(EEAR 2009) Uma certa massa de um gás ideal ocupa um volume de 3 L, quando está sob uma pressão de 2 atm e à temperatura de 27 °C. A que temperatura, em °C, esse gás deverá ser submetido para que o mesmo passe a ocupar um volume de 3,5 L e fique sujeito a uma pressão de 3 atm?

- a) 47,25
- b) 100,00
- c) 252,00
- d) 525,00

**Comentário:**

Sabendo que:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

Do enunciado:

$$n_1 = n_2$$

$$p_1 = 2 \text{ atm}$$

$$V_1 = 3 \text{ L}$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$p_2 = 3 \text{ atm}$$

$$V_2 = 3,5 \text{ L}$$

Com isso:

$$\frac{2 \cdot 3}{300} = \frac{3 \cdot 3,5}{T_2}$$

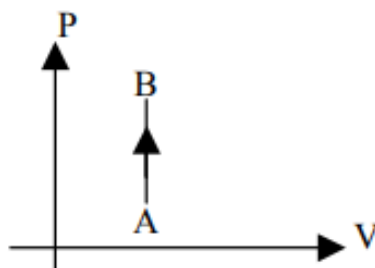
$$T_2 = 525 \text{ K}$$

$$T_2 = 252^\circ\text{C}$$

**Gabarito: C**

**Questão 10.**

(EEAR 2010) Uma certa amostra de gás ideal recebe 20 J de energia na forma de calor realizando a transformação AB indicada no gráfico Pressão (P) X Volume (V) a seguir. O trabalho realizado pelo gás na transformação AB, em J, vale





- a) 20
- b) 10
- c) 5
- d) 0

**Comentário:**

Do gráfico, temos que o volume da amostra de gás não varia. Logo, o  $W = 0$ .

**Gabarito: D**

**Questão 11.**

(EEAR 2010) As trocas de energia térmica envolvem processos de transferências de calor. Das alternativas a seguir, assinale a única que não se trata de um processo de transferência de calor.

- a) ebulição
- b) radiação
- c) condução
- d) convecção

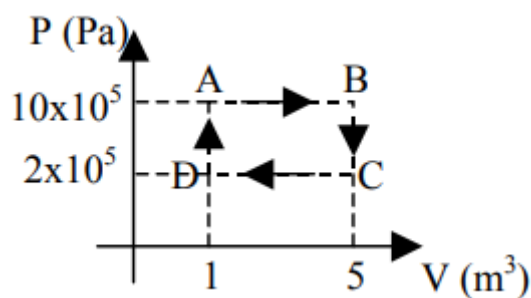
**Comentário:**

A partir de um conhecimento prévio, temos que a radiação, a convecção e a condução são processos de propagação de calor. Enquanto, ebulição é um processo de mudança de estado físico. Logo, a alternativa correta é a letra A

**Gabarito: A**

**Questão 12.**

(EEAR 2011) Uma certa amostra de um gás monoatômico ideal sofre as transformações que são representadas no gráfico Pressão X Volume (PXV), seguindo a sequência ABCDA.





- a) zero e zero.
- b)  $4 \times 10^6$  e zero.
- c) zero e  $3,2 \times 10^6$ .
- d)  $3,2 \times 10^6$  e zero.

**Comentário:**

Como o trabalho é numericamente igual a área do gráfico:

$$WAB = 10 \cdot 10^5 \cdot 4$$

$$\mathbf{WAB = 4 \cdot 10^6 J}$$

Devido ao fato de estarmos trabalhando com um ciclo:

$$\Delta U = U_f - U_i \text{ e } U_f = U_i$$

$$\mathbf{\Delta U = 0}$$

**Gabarito: B****Questão 13.**

(EEAR 2011) Uma certa amostra de gás monoatômico ideal, sob pressão de  $5 \times 10^5$  Pa, ocupa um volume de  $0,002 \text{ m}^3$ . Se o gás realizar um trabalho de 6000 joules, ao sofrer uma transformação isobárica, então irá ocupar o volume de \_\_\_  $\text{m}^3$ .

- a) 0,014.
- b) 0,012.
- c) 0,008.
- d) 0,006.

**Comentário:**

A transformação isobárica é aquela na qual a pressão do gás é constante no processo. Com isso:

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = 5 \cdot 10^5 \cdot \Delta V$$

$$6 \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^5 \cdot (V_f - 0,002)$$

$$12 \cdot 10^{-3} = V_f - 2 \cdot 10^{-3}$$

$$V_f = 14 \cdot 10^{-3}$$

$$\mathbf{V_f = 0,014 \text{ m}^3}$$

**Gabarito: A****Questão 14.**

(EEAR 2011) Os satélites artificiais, em geral, utilizam a energia solar para recarregar suas baterias. Porém, a energia solar também produz aquecimento no satélite.

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:



“Considerando um satélite em órbita, acima da atmosfera, o Sol aquece este satélite por meio do processo de transmissão de calor chamado de \_\_\_\_\_.”

- a) condução
- b) irradiação
- c) convecção
- d) evaporação

**Comentário:**

Como na questão é pedido uma forma de propagação de calor que ocorra no vácuo, temos que a alternativa correta é a letra B. Uma vez que a condução e a convecção precisam de um meio material para se propagar e a evaporação é um processo de transformação do estado físico.

**Gabarito: B**

---

**Questão 15.**

(EEAR 2008) O fato de se colocar o aparelho de ar-condicionado na parte superior da parede, ou seja, mais próximo do teto e do congelador ficar localizado na parte superior do refrigerador, referem-se ao processo de transmissão de calor por \_\_\_\_\_.

- a) condução
- b) irradiação
- c) torrefação
- d) convecção

**Comentário:**

Sabendo que a questão quer saber o método de propagação calor ocorrido devido uma diferença de densidades dos gases do ambiente. Com isso, temos que a resposta correta é a convecção.

Obs: torrefação é a ação de torrar algo por meio do fogo

**Gabarito: D**

---

**Questão 16.**

(EEAR 2008) Numa transformação gasosa, dita isobárica, o volume e a temperatura (em K) do gás ideal, são grandezas

- a) constantes.
- b) diretamente proporcionais.
- c) inversamente proporcionais.
- d) que não se apresentam relacionadas.

**Comentário:**

Pela equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$



Sabendo que uma transformação isobárica é aquela na qual a pressão permanece constante, temos que:

$p$ ,  $n$ ,  $R$  são constantes. Logo:

$$V = \frac{n \cdot R}{p} \cdot T$$

$$V = k \cdot T$$

Portanto, são diretamente proporcionais

**Gabarito: B**

---

**Questão 17.**

(EEAR 2010) A expressão  $\Delta U = Q - \tau$ ; onde  $\Delta U$  é a variação da energia interna de um gás,  $Q$  o calor trocado pelo gás e  $\tau$  o trabalho realizado pelo ou sobre o gás, refere-se à

- a) Lei zero da Termodinâmica
- b) Lei geral dos gases perfeitos.
- c) Segunda Lei da Termodinâmica.
- d) Primeira Lei da Termodinâmica.

**Comentário:**

Sabendo que:

A lei zero da termodinâmica afirma que se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico. Assim como B e C estão em equilíbrio térmico. Teremos que A e C também estarão em equilíbrio térmico.

A primeira lei da termodinâmica é uma versão da lei da conservação de energia, onde a energia total que entra ( $Q$ ) pode ser absorvida pelo corpo ( $\Delta U$ ) ou ser gasta ( $W$ )

Dessa forma,  $Q = \Delta U + W$  ou  $\Delta U = Q - W$

A segunda lei da termodinâmica afirma que a entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a aumentar com o tempo, até alcançar um valor máximo.

A lei geral dos gases afirma que:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Com isso, temos que a alternativa correta é a letra D

**Gabarito: D**

---

**Questão 18.**

(EEAR 2013) Dentre as alternativas a seguir, assinale a única incorreta.

- a) A convecção é um processo de transmissão de calor que ocorre apenas nos sólidos.
- b) Solidificação é o nome dado ao fenômeno da passagem de uma substância da fase líquida para a fase sólida.



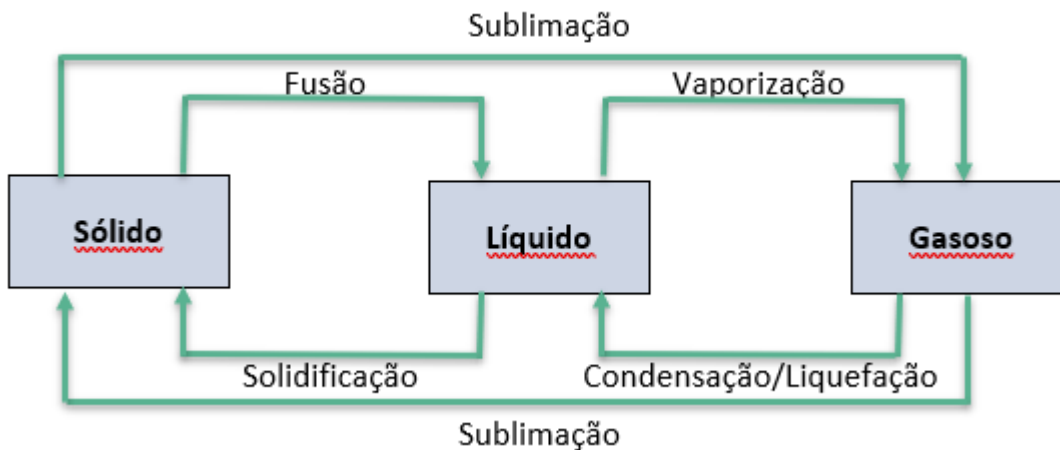


c) Sublimação é o nome dado ao fenômeno da passagem de uma substância da fase sólida para a fase gasosa.

d) A condução é um processo de transmissão de calor no qual o movimento vibratório se transmite de partícula para partícula.

**Comentário:**

Sabendo os processos de transformação físico:



Dessa forma, temos que as alternativas b, c estão corretas.

Com isso, basta saber que:

A condução é o tipo de propagação de calor no qual a energia é passada de molécula para molécula da com maior temperatura para a com menor. Com isso, ela só ocorre em meios sólidos e depende de um meio para se propagar.

A convecção é quando partes com diferentes temperaturas de um fluido movimentam-se em seu interior devido à diferença de densidade das partes quentes e frias do fluido. Portanto, também necessita de um meio material para se propagar e o meio não pode ser sólido.

Sendo assim, temos que a alternativa d está correta e a alternativa incorreta é a letra A.

**Gabarito: A**

**Questão 19.**

(EEAR 2014) Uma amostra de um gás ideal sofre uma compressão isotérmica. Essa amostra, portanto,

- a) ganha calor da vizinhança.
- b) perde calor para a vizinhança.
- c) está a mesma temperatura da vizinhança.
- d) está a uma temperatura menor que a vizinhança.

**Comentário:**

Como o processo é uma compressão isotérmica, temos que:

$$\Delta U = 0$$



Da primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = W$$

Como é uma compressão:

$$V_F < V_I \Rightarrow W < 0$$

$$Q < 0$$

Dessa forma, a amostra perde calor para a vizinhança.

**Gabarito: B**

---

**Questão 20.**

(EEAR 2014) Assinale a alternativa que indica corretamente uma situação possível, de acordo com a Termodinâmica.

- a) Máquina de Carnot com rendimento de 100%.
- b) Fonte fria de uma máquina térmica a zero kelvin.
- c) Troca de calor entre objetos com temperaturas iguais.
- d) Máquina de Carnot com rendimento menor que 100%.

**Comentário:**

Analisando, o a temperatura da fonte fria da máquina de Carnot para o rendimento de 100%:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1$$

$$\frac{T_F}{T_Q} = 0$$

$T_F = 0 \text{ K}$  (o que é fisicamente impossível de ser alcançado)

Com isso, uma máquina térmica, mesmo de Carnot, não pode possuir rendimento de 100% nem possuir temperatura da fonte igual a zero kelvin. Dessa forma, a letra a, b estão erradas.

Da lei zero da termodinâmica, temos que dois corpos a uma mesma temperatura estão em equilíbrio térmico e, portanto, não há a troca de calor entre eles. Sendo assim, a letra c está errada.

E, de fato, o rendimento de uma Máquina de Carnot pode ter o rendimento menor que 100% o que confirma que a letra d está correta.

**Gabarito: D**

---

**Questão 21.**

(EAM 2016) A termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos determinados por energia térmica, que é a forma de energia relacionada à agitação das partículas de um corpo.

Com relação à termologia, analise as afirmativas abaixo

Quanto maior a energia cinética média das partículas, menor a temperatura do corpo



Para que haja transferência de calor entre dois corpos, eles devem estar a temperaturas diferentes

Quanto maior o calor específico de um material, menor a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.

No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor transferida de um corpo para outro é medida em joules.

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- e) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

**Comentário:**

Analisando as alternativas:

Falso. Pois quanto maior a energia cinética média das partículas maior o grau de agitação e, conseqüentemente, maior a sua temperatura.

Verdadeiro. Pois se ambos estiverem a mesma temperatura, segundo a lei zero da termodinâmica, eles estarão em equilíbrio térmico. Logo, não haverá transferência de calor.

Da equação do calor específico:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Da equação temos que:

Quanto maior o calor específico do material, maior o calor necessário para aumentar até determinada temperatura.

Logo, a alternativa é falsa.

Verdadeiro. Pois calor é a energia térmica em movimento e, assim como qualquer energia, possui o joule como unidade de medida.

**Gabarito: D**

---

**Questão 22.**

(EAM 2014) O calor é uma forma de energia que ocorre devido a uma diferença de temperatura. Assinale a opção que apresenta a forma de propagação de calor que se caracteriza por ocorrer apenas nos fluidos

- a) Convecção.
- b) Irradiação.
- c) Condução.
- d) Equilíbrio Térmico.



e) Eletrização.

**Comentário:**

Analisando as alternativas, temos que:

Equilíbrio térmico e eletrização não são formas de propagação de calor. Com isso, as letras d, e estão erradas.

E sabendo que:

A condução é o tipo de propagação de calor no qual a energia é passada de molécula para molécula da com maior temperatura para a com menor. Com isso, ela só ocorre em meios sólidos e depende de um meio para se propagar.

A convecção é quando partes com diferentes temperaturas de um fluido movimentam-se em seu interior devido à diferença de densidade das partes quentes e frias do fluido. Portanto, também necessita de um meio material para se propagar.

A indução é a propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, não precisa de meio material (ocorrem no vácuo) para se propagar.

Desse modo, a forma de propagação de calor que ocorre apenas em fluidos é a convecção. Sendo assim, a alternativa correta é a letra A

**Gabarito: A**

**Questão 23.**

(CN 2013) Observe a tabela a seguir que mostra os mecanismos de perda de calor pelo organismo humano.

Processo	Frequência	Fenômeno
Radiação	40%	Emissão de raios infravermelhos
Convecção	30%	Fluxo de ar quente expirado.
Evaporação	20%	Calor latente de vaporização na superfície da pele.
Respiração	8%	Evaporação da parte da água contida no ar.
	2%	Aquecimento dos gases respiratórios.



Condução	Irrelevante	Contato com objeto mais frio.
----------	-------------	-------------------------------

Utilizando as informações acima, coloque V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas abaixo e, em seguida, assinale a opção que apresenta a sequência correta.

- ( ) Radiação é o processo de transmissão de calor que não necessita de um meio físico para ocorrer.
- ( ) Na convecção o calor é transmitido através da movimentação de massas chamadas correntes de convecção.
- ( ) A evaporação é um tipo de vaporização lenta e representa a passagem do estado sólido para o estado gasoso.
- ( ) Na condução o calor é transmitido, exclusivamente, através da movimentação de massas.
- ( ) Raios infravermelhos são radiações térmicas visíveis aos olhos humanos.
- ( ) Calor latente é a quantidade de calor necessária para que uma substância pura mude de estado físico sem alterar a sua temperatura.

- a) (V) (V) (F) (F) (F) (V)
- b) (V) (V) (F) (F) (F) (F)
- c) (V) (F) (V) (V) (F) (V)
- d) (F) (V) (F) (F) (V) (V)
- e) (F) (V) (V) (V) (F) (F)

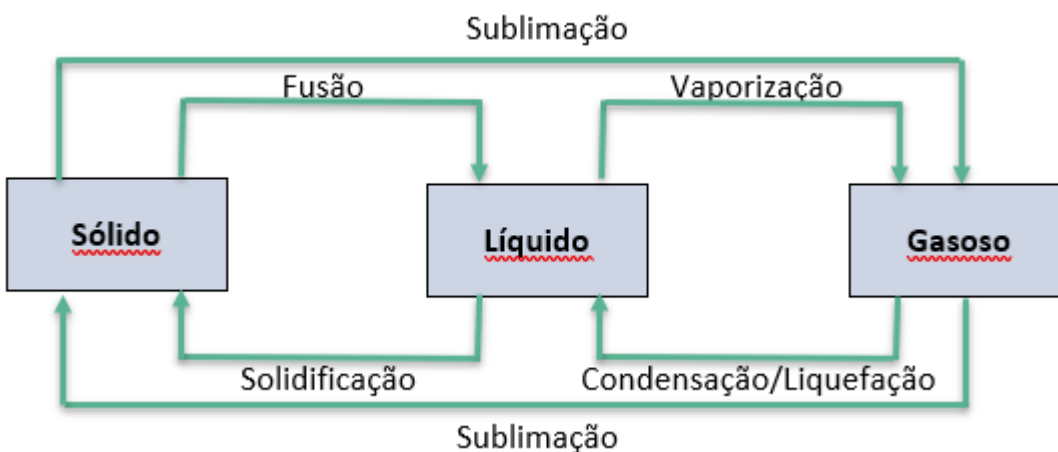
**Comentário:**

Analisando as alternativas na ordem dada:

Verdadeiro. A radiação não precisa de um meio material para se propagar e, portanto, pode ocorrer no vácuo.

Verdadeiro. Pois convecção ocorre devido à diferença de densidade gerada pelas diferentes temperaturas do fluido e essa diferença de densidade concebe correntes de convecção.

Da tabela:





Temos que a vaporização é a mudança de estado líquido para estado gasoso. Enquanto, o processo de mudança do estado sólido para o estado gasoso é a sublimação.

Falso. Pois na condução o calor é transferido de partícula para partícula. E na convecção que temos movimentação de massas.

Falso. Pois os raios infravermelhos não são visíveis pelos olhos humanos.

Verdadeiro. Pois calor latente é o responsável pela mudança de estado físico e para uma substância pura ocorre a temperatura constante. Enquanto, o calor sensível é o responsável pela mudança de temperatura.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra A

**Gabarito: A**

---

**Questão 24.**

(EEAR 2020) Em regiões mais frias, é usual utilizar o parâmetro “Sensação Térmica” para definir a temperatura percebida pelas pessoas. A exposição da pele ao vento é uma das variáveis que compõem esse parâmetro. Se durante essa exposição, a camada de ar em contato com a pele é constantemente renovada por outra com uma temperatura menor do que a pele, pode-se afirmar corretamente que:

não há troca de calor entre a pele e a camada de ar.

há troca constante de calor da camada de ar para a pele.

há troca constante de calor da pele para a camada de ar.

há troca constante de calor da pele para camada de ar e vice-versa.

**Comentário:**

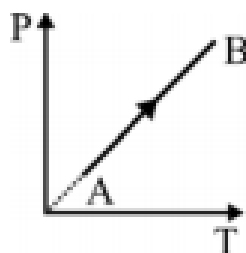
A camada de ar em contato com a pele “recebe” calor da pele para posteriormente ser renovada por uma de temperatura menor, ou seja, a camada anterior é aquecida e então substituída por uma camada nova e mais fria.

**Gabarito: C**

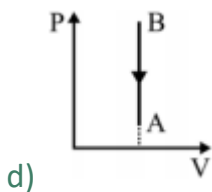
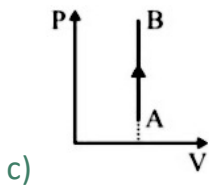
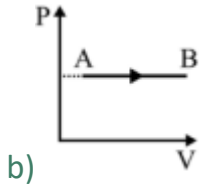
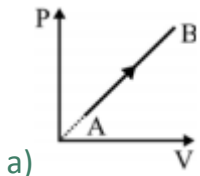
---

**Questão 25.**

(EEAR 2020) Uma amostra de um gás ideal sofre a transformação termodinâmica do estado A para o estado B representada no gráfico P (pressão) em função de T (temperatura) representada a seguir:



Entre as alternativas, assinale aquela que melhor representa o gráfico P em função de V (volume) correspondente a transformação termodinâmica de A para B.



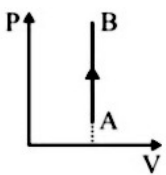
**Comentário:**

Da equação  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ , temos:

$$P = \frac{n \cdot R}{V} \cdot T$$

do gráfico, obtemos que o coeficiente angular da função  $P(T)$  (pressão em função da temperatura), é constante, portanto:

$\frac{n \cdot R}{V} = cte.$  → como “n” e “R” são constantes, temos que “V” também é constante. Logo o gráfico que mais se adequa a tal afirmação é:



**Gabarito: C**

**Questão 26.**

(EEAR 2020) É comum, na Termodinâmica, utilizar a seguinte expressão:  $\frac{(P_1V_1)}{T_1}$  é igual a  $\frac{(P_2V_2)}{T_2}$ . Nessa expressão, P, V e T representam, respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura de uma amostra de um gás ideal. Os números representam os estados inicial (1) e final (2). Para utilizar corretamente essa expressão é necessário que o número de mols, ou de partículas, do estado final seja \_\_\_\_\_ do estado inicial e que a composição dessa amostra seja \_\_\_\_\_ nos estados final e inicial.





Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas da frase acima.

- a) o mesmo – a mesma
- b) diferente – a mesma
- d) o mesmo – diferente
- e) diferente – diferente

**Comentário:**

A equação consiste em isolar a constante real dos gases “R”, da seguinte forma:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$$

Desta forma, temos que para dois estados diferentes (1) e (2);

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

Para a equação acima ser idêntica à do enunciado, temos que  $n_1 = n_2$ , e para a equação de Clapeyron ( $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ) ser válida, a composição da matéria analisada deve ser a mesma nos dois estados, caso contrário os sistemas (1) e (2) não podem ser comparados.

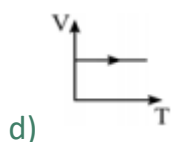
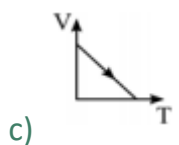
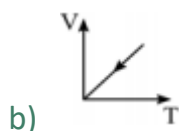
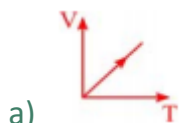
**Gabarito: A**

**Questão 27.**

(EEAR 2018) O gráfico que melhor representa a expansão de uma amostra de gás ideal a pressão constante é:

Considere:

- 1) a temperatura (T) dada em kelvin (K) e
- 2) V = volume.



**Comentário:**



Da equação de clapeyron ( $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ), temos:

$$V = \frac{n \cdot R}{P} \cdot T$$

Como “n” e “R” são constantes no sistema analisado, temos que para uma expansão à pressão constante, temos que o gráfico VxT deva ser uma reta.

OBS: como se trata de uma expansão, devemos analisar o gráfico no qual o volume aumenta. Assim eliminamos as letras “b”, “c” e “d”, matando a questão de forma bem rápida!! 😊.

**Gabarito: A**

---

### Questão 28.

(EEAR 2018) Se um motor recebe 1000 J de energia calorífica para realizar um trabalho de 700 J, pode-se afirmar que a variação de sua energia interna, em joules, e seu rendimento, valem:

- a)  $\Delta U = 300$ ;  $r = 70\%$
- b)  $\Delta U = 300$ ;  $r = 30\%$
- c)  $\Delta U = 1700$ ;  $r = 70\%$
- d)  $\Delta U = 1700$ ;  $r = 30\%$

### Comentário:

Da 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$\Delta U = Q - W$ ; assim como  $Q = 1000$  J e  $W = 700$  J, temos:

$$\Delta U = 1000 - 700 = 300 \text{ J}$$

Num motor térmico, temos que o rendimento é da forma:  $\eta = \frac{W}{Q}$ ;

Portanto:  $\eta = \frac{700}{1000} = 70\%$

Obs: No vestibular, a questão foi anulada por erro de digitação. No lugar de 300 J eram para ser 700 J.

**Gabarito: A**

---

### Questão 29.

(EEAR 2018) Um balão de borracha preto foi preenchido com ar e exposto ao sol. Após certo tempo tende a se mover para cima se não estiver preso a algo. Uma possível explicação física para tal acontecimento seria:

- a) O aquecimento do ar dentro do balão causa uma propulsão em seu interior devido à convecção do ar;
- b) O aumento da temperatura dentro do balão diminui a densidade do ar, fazendo com que o empuxo tenda a ficar maior do que o peso;
- c) A borracha do balão tem a sua composição alterada, tornando-o mais leve;
- d) O aquecimento do ar diminui a massa do mesmo dentro do balão, tornando-o mais leve.

### Comentário:



Da equação de Clapeyron:  $P.V = n.R.T \rightarrow \rho = \frac{P.MM}{R.T}$

Assim, ao aumentarmos a temperatura, diminuimos a densidade do gás, logo:

$F = Empuxo - Peso = (\rho_1 - \rho_2).V.g$ , dessa forma, ao diminuirmos a densidade do gás, o mesmo tende a subir.

**Gabarito: B**

**Questão 30.**

(EEAR 2017) Ao construir uma máquina de Carnot, um engenheiro percebeu que seu rendimento era de 25%. Se a fonte fria trabalha a 25 °C, a temperatura da fonte quente, em °C, de tal motor será aproximadamente:

- a) 12,4
- b) 124
- c) 1240
- d) 12400

Comentário:

Sabendo que:  $\eta = \frac{Tq-Tf}{Tq}$  ; Onde “Tq” é a temperatura da fonte quente e Tf a temperatura da fonte fria.

$$\text{Temos: } \eta = \frac{Tq-298K}{Tq} = 1/4 \rightarrow 4Tq - 4.298 = Tq \rightarrow 3Tq = 4.298$$

$$\rightarrow Tq = 397,33 \dots K \rightarrow Tq \cong 124^\circ C$$

**Obs:** Lembrando que as temperaturas utilizadas são na escala Kelvin!!

**Gabarito: B**

**Questão 31.**

(EEAR 2015) Ao estudar as transformações termodinâmicas, um aluno lê a seguinte anotação em um livro:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

Onde  $P_0$  e  $P_f$  são as pressões inicial e final,  $V_0$  e  $V_f$  são os volumes inicial e final; e  $T_0$  e  $T_f$  são as temperaturas inicial e final de uma amostra de gás ideal. O aluno pode afirmar corretamente que, nessa anotação,  $\frac{P_0 V_0}{T_0}$  e  $\frac{P_f V_f}{T_f}$  se referem:

- a) a amostras diferentes de gás ideal.
- b) a uma mesma amostra de gás ideal.
- c) somente ao número de mols de amostras diferentes.
- d) à variação do número de mols em uma transformação.

**Comentário:**

A equação consiste em isolar a constante real dos gases “R”, da seguinte forma:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}$$

Desta forma, temos que para dois estados diferentes (1) e (2);

$$\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{P_f V_f}{n_f T_f}$$

Para a equação de Clapeyron ( $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ) ser válida, a composição da matéria analisada deve ser a mesma nos dois estados, caso contrário os sistemas inicial e final não podem ser comparados. Logo, estamos tratando de uma mesma amostra de um gás.

**Gabarito: B**

---

**Questão 32.**

(EEAR 2015) A transformação termodinâmica em que o calor cedido ou absorvido se refere ao calor latente é a transformação:

- a) isobárica.
- b) adiabática.
- c) isométrica.
- d) isotérmica.

**Comentário:**

Transformações onde utilizamos o calor latente são as de mudança de estado físico. Desta forma, em mudanças de estado físico, a temperatura se mantém constante. Logo, trata-se de uma transformação isotérmica.

**Gabarito: D**

---

**Questão 33.**

(EEAR 2015) Uma amostra de um gás ideal sofre uma expansão isobárica. Para que isto ocorra é necessário que essa amostra:

- a) não realize trabalho.
- b) Permaneça com temperatura constante.
- c) Receba calor e cujo valor seja maior que o trabalho realizado.
- d) Receba calor e cujo valor seja menor que o trabalho realizado.

**Comentário:**

Uma expansão isobárica é a qual não temos variação de pressão. Desta forma, quando o gás receber uma quantidade definida de calor, tenderá a realizar trabalho. Se não realizar trabalho, trata-se de uma transformação isocórica (isovolumétrica). Se o valor do calor recebido for maior que o trabalho realizado, a variação da energia interna do gás (Pela 1ª Lei da Termodinâmica) será positiva e portanto o sistema absorverá o calor sem que a pressão varie.

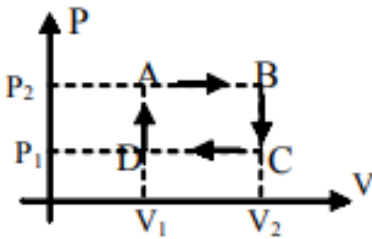


**Gabarito: C**

**Questão 34.**

(EEAR 2014) Considere uma máquina térmica que funciona em ciclos, tal como indica o gráfico de pressão e volume apresentado abaixo:

Observação: as linhas pontilhadas que determinam os segmentos AB e DC são paralelas ao eixo V, de maneira análoga, as linhas pontilhadas que determinam os segmentos DA e BC são paralelas ao eixo P.



Neste caso, podemos afirmar, corretamente, que:

- a) O trabalho resultando é nulo.
- b) O ciclo é formado por duas transformações isobáricas e duas isocóricas.
- c) O ciclo é formado por duas transformações isotermas e duas isobáricas.
- d) Todas as transformações ocorridas no ciclo foram adiabáticas.

**Comentário:**

Num ciclo termodinâmico temos que a variação de energia interna ( $\Delta U$ ) é nula e não o trabalho. Analisando o gráfico, podemos observar que as transformações AB e CD são isobáricas (Pressão constante). Da mesma forma, podemos observar que as transformações BC e DA são isocóricas (volume constante).

**Gabarito: B**

**Questão 35.**

(EEAR 2012) Após a tsunami atingir a cidade japonesa de Fukushima, o sistema elétrico que mantinha o resfriamento dos reatores dessa cidade parou de funcionar. Esses reatores são conhecidos como de segunda geração.

Já os geradores de terceira geração, mais modernos, para manter a temperatura do núcleo constante utilizam o movimento, devido a convecção, de um fluido de refrigeração próximo ao núcleo do reator (a uma temperatura  $T_R$ ) até um reservatório em que este fluido está a uma temperatura  $T_A$ .

Entre as alternativas, assinale aquela que indica uma situação em que não ocorre o processo de convecção.

- a)  $T_R > T_A$ .
- b)  $T_R = T_A$ .



- c) Usar água do mar como fluido, para  $T_R > T_A$ .  
d) Usar ar atmosférico como fluido, para  $T_R > T_A$ .

**Comentário:**

Para ocorrer o processo de convecção, o sistema deve apresentar uma diferença de temperatura. Dessa forma, para que o processo se encerre, temos que:  $T_R = T_A$ .

**Gabarito: B****Questão 36.**

(EAM 2011) O comportamento do ser humano se transformou no momento em que dominou o fogo e obteve luz para iluminar a escuridão; e calor para aquecer os dias frios e espantar os animais predadores. Sobre o homem na pré-história, sentado à beira de uma fogueira, foram feitas as seguintes afirmações:

O calor chega até ele por condução.

A fumaça da fogueira sobe por correntes de convecção.

A luz do fogo é uma onda eletromagnética.

O calor da fogueira tem uma temperatura muito alta.

Assinale a opção que apresenta as afirmativas INCORRETAS:

- a) I e III.  
b) II e IV.  
c) III e IV.  
d) I e IV.  
e) II e III.

**Comentário:**

Falso! A propagação de calor por condução necessita de matéria para a realização, o que não ocorre com a chama.

Correto! A fumaça da fogueira sobe por corrente de convecção devido a diferença de temperatura. O ar a uma maior temperatura tende a ficar em cima, enquanto o ar frio tende a descer.

Correto! A luz por si só é uma onda eletromagnética, seja do fogo ou de qualquer outra fonte.

Falso! O calor da fogueira está a uma temperatura alta, porém não justifica a sensação de calor do ser humano.

**Gabarito: D****Questão 37.**

(EEAR 2008) Dentro de um determinado recipiente fechado existe uma massa de gás ideal ocupando um determinado volume  $X$ , à pressão de 0,6 atm e a temperatura de 300 K. Se todo o conjunto for aquecido até 97 °C, em uma transformação isocórica, qual será o valor, em atm, da nova pressão do gás?



- a) 0,74
- b) 1,20
- c) 4,50
- d) 6,00

**Comentário:**

Transformação isocórica é aquela em qual o volume é constante. Portanto:

$$\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{P_f V_f}{n_f T_f} \rightarrow \frac{(0,6) \cdot X}{300} = \frac{P \cdot X}{(97^\circ\text{C} + 273)} \rightarrow P = \frac{(0,6) \cdot 370}{300} = 0,74$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 38.**

(EEAR 2008) A Lei zero da Termodinâmica está diretamente ligada:

- a) ao equilíbrio térmico.
- b) ao Princípio da Conservação da Energia.
- c) à impossibilidade de se atingir a temperatura de 0 K.
- d) ao fato de corpos de mesma massa possuírem iguais quantidades de calor.

**Comentário:**

A lei zero consiste em analisar três corpos X, Y e Z. “Se os corpos X e Y estão em equilíbrio térmico com o corpo Z, então eles estão em equilíbrio térmico entre si”. Portanto, está diretamente ligada ao Equilíbrio Térmico.

**Gabarito: A**

---

**Questão 39.**

(EEAR 2019) Considere as seguintes afirmações sobre uma máquina térmica operando segundo o ciclo de Carnot, entre duas fontes de calor, uma a 27°C e a outra a 57°C.

- ( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 52% e esse rendimento é máximo, ao menos que a temperatura da fonte fria seja zero.
- ( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5000J de calor da fonte quente, rejeitará 1000J para a fonte fria.
- ( ) O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5000J da fonte quente, rejeitará 4500J para a fonte fria.
- ( ) O rendimento dessa máquina irá aumentar se houver aumento da diferença de temperatura entre as fontes de calor.

Atribuindo-se verdadeiro (V) ou falso (F) para cada uma das afirmações, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- a) V – F – V – F





- b) V – V – V – F
- c) F – F – V – F
- d) F – F – V – V

**Comentário:**

Primeiramente analisaremos o rendimento máximo teórico (Carnot):  $\eta_{Carnot} = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{\Delta Q}{Q_1}$

Dessa forma, o rendimento máximo possível é :  $\eta_{carnot} = \frac{30}{330} \cong 10\%$

$$\text{Assim: } 0,10 = \frac{W}{5000} \rightarrow W = 500J \rightarrow Q_1 = W + Q_2 \rightarrow Q_2 = 4500J$$

Caso a diferença de temperatura aumente, temos que:  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

$$\frac{T_2}{T_1} \downarrow \rightarrow \eta \uparrow$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 40.**

(CN 2019) Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

- a) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.
- b) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.
- c) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo que a maçaneta está mais fria do que a porta.
- d) A energia potencial gravitacional depende da escolha do referencial adotado.
- e) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

**Comentário:**

- a) A transmissão de calor por condução e convecção exige um meio de propagação.
- b) O calor flui da pessoa para o gelo e não o contrário.
- c) Devido a diferença de condutibilidade térmica, a madeira e o metal possuem temperaturas diferentes.
- d) A energia potencial gravitacional não depende do referencial, pois já está definido como o centro da Terra.
- e) O módulo do empuxo só é igual ao peso se o corpo e o líquido possuírem a mesma densidade (Caso o corpo esteja totalmente submerso).

**Gabarito: C**

---

**Questão 41.**



(EAM 2019) Um gás ideal sofre uma transformação isobárica cuja pressão é  $10 \text{ N/m}^2$ , alterando seu volume de  $2 \text{ m}^3$  para  $6 \text{ m}^3$ . Sendo assim, assinale a opção que fornece o trabalho, em joules, realizado pelo gás sobre o ambiente.

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 40
- e) 50

**Comentário:**

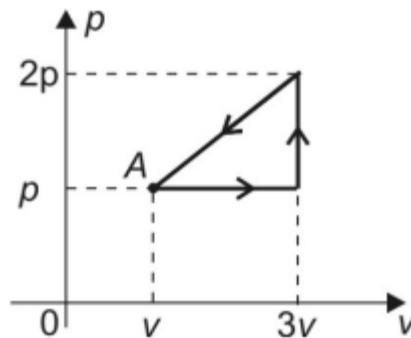
$$W = p \cdot \Delta V \rightarrow 10 \cdot 4 = 40J$$

**Gabarito: D**

## Nível 2

**Questão 1.**

(AFA 2009) O diagrama a seguir representa o ciclo percorrido por 3 mols de um gás perfeito.



Sabendo-se que no estado A a temperatura é  $-23 \text{ }^\circ\text{C}$  e considerando  $R = 8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ , o trabalho, em joules, realizado pelo gás no ciclo é

- a) 12000
- b) - 6000
- c) 1104
- d) - 552

**Comentário:**

Utilizando a Equação de Clapeyron no ponto A:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T_A \quad (I)$$

Sabendo que o trabalho realizado pelo gás no ciclo é numericamente igual a área:

$$W = - \frac{(2p - p) \cdot (3V - V)}{2}$$



$$W = - \frac{p \cdot 2V}{2}$$

$$W = - p \cdot V$$

De (1):

$$W = - n \cdot R \cdot \Delta T$$

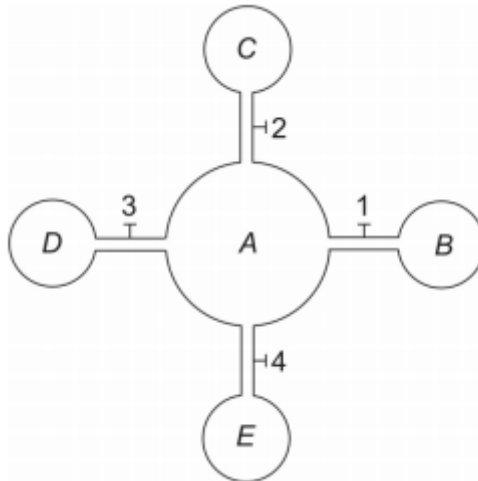
$$W = - 3 \cdot 8 \cdot ( 273 - 23 )$$

$$W = -6000 \text{ J}$$

**Gabarito: B**

**Questão 2.**

(AFA 2009) O gás contido no balão A de volume  $V$  e pressão  $p$  é suavemente escoado através de dutos rígidos e de volumes desprezíveis, para os balões B, C, D e E, idênticos e inicialmente vazios, após a abertura simultânea das válvulas 1, 2, 3 e 4, como mostra a figura abaixo.



Após atingido o equilíbrio, a pressão no sistema de balões assume o valor  $\frac{p}{3}$ . Considerando que não ocorre variação de temperatura, o volume de dois dos balões menores é

- a)  $0,5 V$
- b)  $1,0 V$
- c)  $1,5 V$
- d)  $2,0 V$

**Comentário:**

Pela lei geral dos gases:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Do enunciado:

$$V_1 = V$$

$$p_1 = p$$



$$p_2 = \frac{p}{3}$$

$$V_2 = V + 4 \cdot v$$

$$T_1 = T_2$$

Com isso:

$$\frac{p \cdot V}{T_1} = \frac{p \cdot (V + 4 \cdot v)}{3 \cdot T_1}$$

$$3 \cdot V = V + 4 \cdot v$$

$$v = 0,5 \cdot V$$

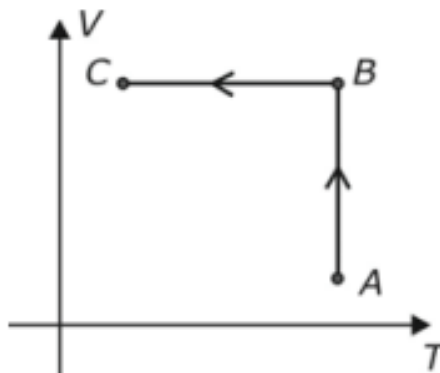
Contudo, queremos 2.v:

$$2 \cdot v = 1,0 \cdot V$$

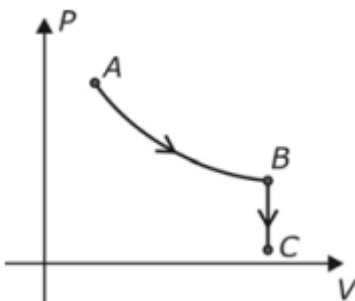
**Gabarito: B**

**Questão 3.**

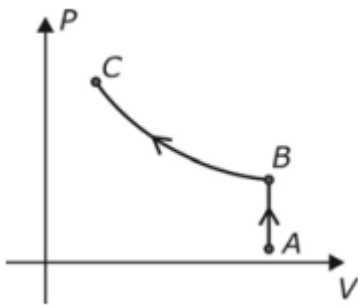
(AFA 2010) No diagrama a seguir, do volume (V) em função da temperatura absoluta (T), estão indicadas as transformações AB e BC sofridas por uma determinada massa de gás ideal.



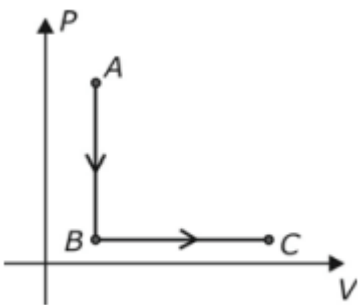
Num diagrama da pressão (P) em função do volume (V), essas transformações deveriam ser indicadas por



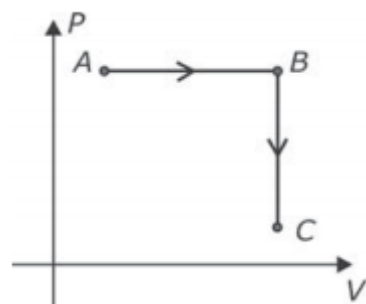
a)



b)



c)



d)

**Comentário:**

Do gráfico do enunciado, temos que:

O processo AB é uma expansão isotérmica

O processo BC é um processo isocórico com diminuição de temperatura

Sendo assim, no gráfico  $p \times V$ , pedido:

O processo AB será um ramo de hipérbole com aumento de volume

O processo BC será uma reta com diminuição (observamos isso, devido a equação de clapeyron) de pressão

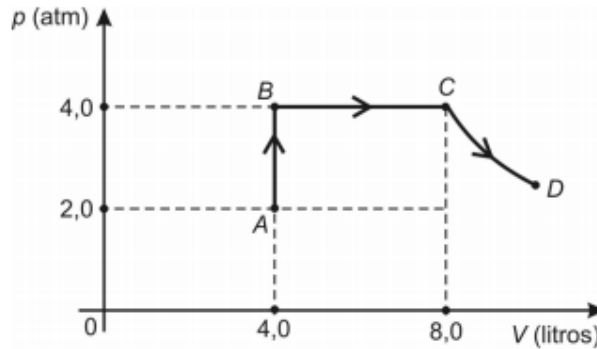
Logo, a resposta correta é a letra A.

**Gabarito: A**

**Questão 4.**



(AFA 2015) Uma amostra de  $n$  mols de gás ideal sofre as transformações AB (isovolumétrica), BC (isobárica) e CD (isotérmica) conforme representação no diagrama pressão ( $p$ ) x volume ( $V$ ), mostrado a seguir



Sabendo-se que a temperatura do gás no estado A é  $27^\circ\text{C}$ , pode-se afirmar que a temperatura dele, em  $^\circ\text{C}$ , no estado D é

- a) 108
- b) 327
- c) 628
- d) 927

**Comentário:**

Pela lei geral dos gases:

Entre A e B:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B}$$

Entre B e C:

$$\frac{p_B \cdot V_B}{T_B} = \frac{p_C \cdot V_C}{T_C}$$

Como CD é uma isotérmica:

$$T_C = T_D$$

Com isso e os dados do gráfico, temos:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_C \cdot V_C}{T_D}$$

$$\frac{2 \cdot 4}{(273 + 27)} = \frac{4 \cdot 8}{T_D}$$

$$T_D = 1200 \text{ K}$$

Para celsius:

$$T_D = 1200 - 273$$

$$T_D = 927^\circ\text{C}$$

**Gabarito: D**



**Questão 5.**

(AFA 2014) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227 °C e 527 °C, enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K. Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.

A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.

Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente.

Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria.

Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) II e IV.
- d) III e IV.

**Comentário:**

Analisando o rendimento das máquinas

$$\eta = 1 - \frac{TF}{TQ}$$

Com isso:

$$\eta_1 = 1 - \frac{(227 + 273)}{(527 + 273)}$$

$$\eta_1 = 37,5\%$$

E

$$\eta_2 = 1 - \frac{227}{527}$$

$$\eta_2 = 56,9\%$$

Com isso,  $\eta_2 > \eta_1$

Logo, a afirmativa está verdadeira.

Analisando o rendimento da máquina 1

$$\eta = \frac{W}{QQ}$$

Dos dados do problema:

$$\eta_1 = 37,5\% = \frac{2000}{QQ}$$





$$QQ = \frac{16000}{3} J$$

Logo, a alternativa é falsa.

Do rendimento da máquina 2

$$1 - \frac{227}{527} = 1 - \frac{QF}{QQ}$$

Do enunciado:

$$\frac{227}{527} = \frac{QF}{4000}$$

$$QF = 1722,96 J$$

Com isso, é verdadeira.

Sabendo que:

$$1 - \frac{TF}{TQ} = 1 - \frac{QF}{QQ}$$

$$\frac{TF}{TQ} = \frac{QF}{QQ}$$

$$QQ = \frac{TQ \cdot QF}{TF}$$

Como do enunciado:

$$QQ_{,1} = QQ_{,2}$$

$$\frac{800 \cdot QF_{,1}}{500} = \frac{527 \cdot QF_{,2}}{227}$$

$$QF_{,2} = \frac{1816 \cdot QF_{,1}}{2635}$$

Com isso

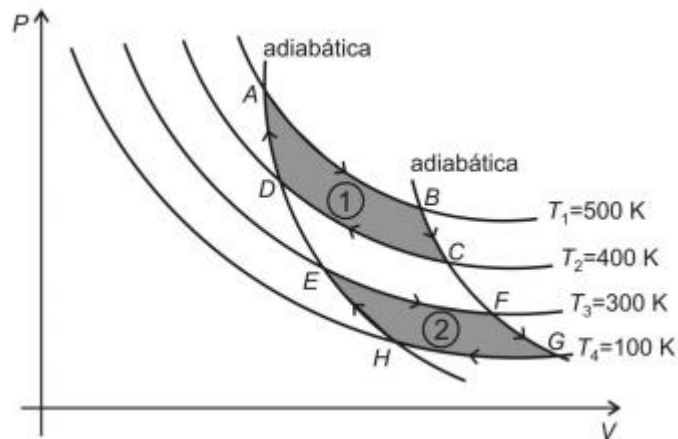
$$QF_{,2} < QF_{,1}$$

Logo, a alternativa é falsa.

**Gabarito: B**

**Questão 6.**

(AFA 2014) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama PV abaixo.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  de uma fonte quente à temperatura  $T_1$  e cede a quantidade de calor  $Q_2$  para a fonte fria à temperatura  $T_2$ . Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida,  $Q'_1$ , e cedida,  $Q'_2$ , são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ .

Nessas condições, é correto afirmar que

- a) a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é não nula.
- b) nas transformações AB e EF, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações CD e GH, é positiva.
- c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e  $Q_1 = \frac{5}{4} \cdot Q_2$
- d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e  $Q'_1 = 3 \cdot Q'_2$ .

**Comentário:**

Analisando as alternativas:

Falso. Pois como BC, DA, FG e HE são adiabáticas:

$$dQ = 0$$

Na fórmula de entropia:

$$dS = \int \frac{dQ}{T}$$

Logo:  $dS = 0$

Do gráfico:

$Q_{AB} > 0$  e  $Q_{EF} > 0 \rightarrow$  Recebem calor

$Q_{CD} > 0$  e  $Q_{GH} > 0 \rightarrow$  Cedem calor

Como os processos são isotérmicas:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Como  $T > 0$ , temos que a variação da entropia possui o mesmo sinal do calor. Logo, a alternativa está incorreta.



Falso. Pois como a entropia é uma função de estado:

$$\Delta S = S_F - S_I \text{ e do ciclo } S_F = S_I$$

$$\text{Logo, } \Delta S = S_I - S_I = 0$$

Da letra c, temos que:

$$\Delta S = 0$$

Com isso:

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = 0$$

Como nas adiabáticas  $\Delta S_{\text{adiabática}} = 0$

$$\Delta S_1 + \Delta S_3 = 0$$

$$\frac{Q_Q}{T_Q} + \frac{(-Q_F)}{T_F} = 0$$

Disso, temos que:

$$\frac{T_F}{T_Q} = \frac{Q_F}{Q_Q}$$

Portanto:

$$\frac{Q_1'}{Q_2'} = \frac{100}{300}$$

$$Q_1' = 3 \cdot Q_2'$$

Logo, a afirmativa está correta.

**Gabarito: D**

### Questão 7.

(AFA 2000) Uma máquina térmica funcionando segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas  $T_1 = 700\text{K}$  e  $T_2 = 300\text{K}$  recebe da fonte quente  $1250\text{J}$  de calor. O calor rejeitado, em joules, para a fonte fria é aproximadamente

- a) 423
- b) 536
- c) 641
- d) 712

**Comentário:**

Sabendo que:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q}$$

$$\frac{T_F}{T_Q} = \frac{Q_F}{Q_Q}$$



$$\frac{300}{700} = \frac{QF}{1250}$$

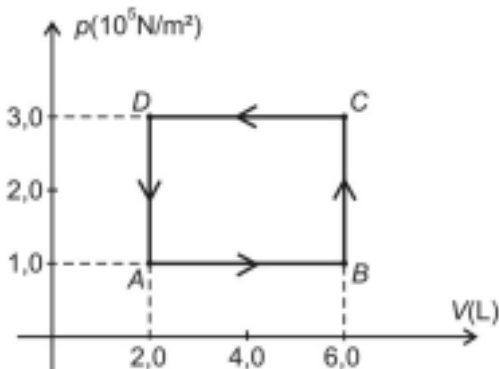
$$QF = 535,71 J$$

$$QF \approx 536 J$$

**Gabarito: B**

**Questão 8.**

(AFA 2017) Um sistema termodinâmico constituído de  $n$  mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado pode-se afirmar que:

- a) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.
- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que ele está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

**Comentário:**

Como se trata de um ciclo, temos que  $\Delta U = 0$  e  $|W| = |\text{Área do ciclo}|$

Assim, a área do ciclo é  $W = -800J$

Pela primeira lei da termodinâmica:  $\Delta U = Q - W \rightarrow Q = W \rightarrow Q = -800J$

A cada ciclo, a máquina libera 800 J para o ambiente!

**Gabarito: D**

**Questão 9.**

(EAM 2008) Em relação aos meios de propagação do calor e suas características, assinale a opção correta.

- a) Condução / É típico dos sólidos / Ocorre deslocamento de matéria.
- b) Condução / É típico dos gases / Ocorre em corpos em contato.
- c) Convecção / É típica dos gases / É onda eletromagnética.
- d) Irradiação / É onda eletromagnética / Ocorre entre o Sol e a Terra.



e) Irradiação / Ocorre entre o Sol e Terra / Ocorre deslocamento de matéria.

**Comentário:**

Condução necessita de um meio sólido de propagação, porém não ocorre deslocamento de matéria.

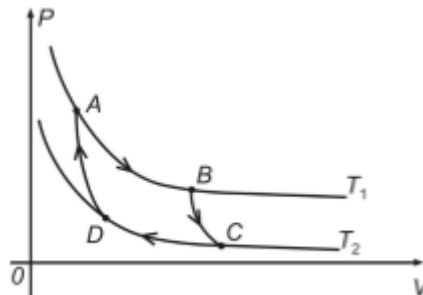
Convecção necessita de um meio fluido de propagação e ocorre deslocamento de matéria.

Irradiação propaga-se no vácuo e pode ser por uma onda eletromagnética (LUZ). Não ocorre deslocamento de matéria. Ocorre entre o sol e a terra.

**Gabarito: D**

**Questão 10.**

(AFA 2008) A figura a seguir representa o Ciclo de Carnot realizado por um gás ideal que sofre transformações numa máquina térmica. Considerando-se que o trabalho útil fornecido pela máquina, em cada ciclo, é igual a 1500 J e, ainda que,  $T_1 = 600$  K e  $T_2 = 300$  K, é INCORRETO afirmar que:



- a) a quantidade de calor retirada da fonte quente é de 3000 J.
- b) de A até B o gás se expande isotermicamente.
- c) de D até A o gás é comprimido sem trocar calor com o meio externo.
- d) de B até C o gás expande devido ao calor recebido do meio externo.

**Comentário:**

Sabendo que:  $\eta_{Carnot} = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{\Delta Q}{Q_1} = \frac{W}{Q_1}$

Temos do enunciado que  $W=1500J$ . Portanto:

$$\eta_{Carnot} = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{300}{600} = 50\%$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1500}{Q_1} \rightarrow Q_1 = 3000J$$

$Q_1$  é o calor retirado da fonte quente!

Do gráfico temos que o processo AB é uma expansão isotérmica, o processo BC uma expansão adiabática, o processo CD uma compressão isotérmica e por fim, o processo DA uma compressão adiabática (o que condiz com o ciclo de Carnot).

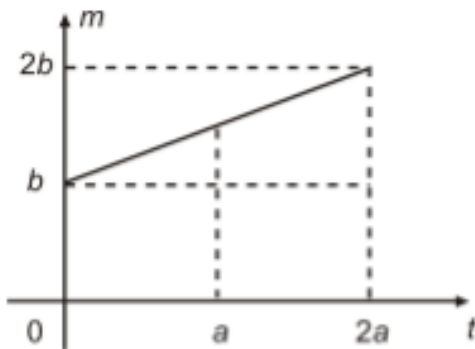


Ao receber calor, o gás se expande isotermicamente. Após tal expansão o gás realiza uma nova expansão, porém sem trocar calor com o meio externo.

**Gabarito: D**

**Questão 11.**

(AFA 2008) Um cilindro de volume constante contém determinado gás ideal à temperatura  $T_0$  e pressão  $P_0$ . Mantém-se constante a temperatura do cilindro e introduz-se, lentamente, a partir do instante  $t = 0$ , certa massa do mesmo gás. O gráfico abaixo representa a massa  $m$  de gás existente no interior do cilindro em função do tempo  $t$ .



Nessas condições, a pressão do gás existente no recipiente, para o instante  $t = a$ , é igual a:

- a)  $1,5p_0$ .
- b)  $2,0p_0$ .
- c)  $2,5p_0$ .
- d)  $4,0p_0$ .

**Comentário:**

Como o gráfico é linear, temos:  $\frac{b}{2a} = \frac{x-b}{a} \rightarrow x = \frac{3b}{2}$

Sabendo que, para uma mesma amostra do gás:  $\frac{P_0V_0}{n_0T_0} = \frac{P_fV_f}{n_fT_f}$

Como a temperatura e o volume são constantes, temos:

$$\frac{P_0}{n_0} = \frac{P_f}{n_f} \rightarrow \frac{P_0}{b/MM} = \frac{P}{1,5b/MM} \rightarrow P = 1,5P_0$$

**Gabarito: A**

**Questão 12.**

(AFA 2004) No início do curso de compressão, o cilindro de um motor diesel contém  $800 \text{ cm}^3$  de ar, à pressão atmosférica (1 atm) e à temperatura de  $27^\circ\text{C}$ . No fim desse curso, o volume de ar foi reduzido para  $50 \text{ cm}^3$  e a pressão manométrica aumentada para 40 atm. A variação de temperatura da massa do ar no cilindro foi de:

- a)  $450^\circ\text{C}$
- b)  $477^\circ\text{C}$



c) 177°C

d) 750°C

**Comentário:**

Sabendo que:  $\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{P_f V_f}{n_f T_f}$

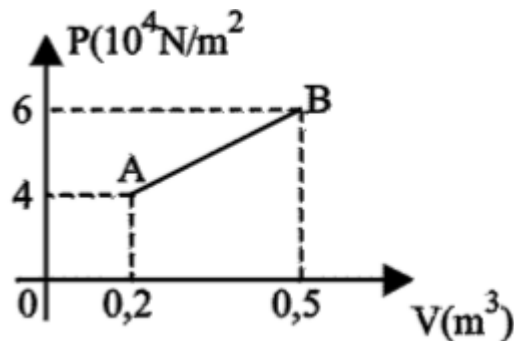
$$\frac{1.800}{300} = \frac{40.50}{T} \rightarrow T = 750K \rightarrow T = 477^\circ C$$

**Gabarito: B**

**Questão 13.**

(AFA 1999) Oito mols de um gás ideal monoatômico sofrem o processo termodinâmico AB indicado no gráfico. A quantidade de calor, em kJ, trocada pelo gás na transformação de A para B, é:

(dado:  $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$ )



a) 6

b) 12

c) 15

d) 48

**Comentário:**

Sabendo que:  $|W| = |\text{Área abaixo do processo}|;$

$$W = -15000J$$

Da equação de Clapeyron:  $P.V = n.R.T \rightarrow T_A = 120,33K$  e  $T_B = 451,26K$

Assim,  $\Delta T = 330,93K$

Como o gás é monoatômico, temos que:  $\Delta U = \frac{3}{2}n.R.\Delta T$ , logo:

$$\Delta U = 33000,33J$$

Da 1ª Lei da Termodinâmica temos:  $\Delta U = Q - W \rightarrow Q = 33000,33 - (-15000) = 48000J$

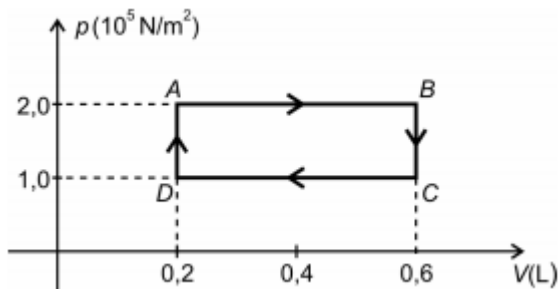
$Q \cong 48 \text{ KJ}$

**Gabarito: D**

**Questão 14.**



(AFA 2011) O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por  $n$  mols de um gás ideal.



Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o):

- a) potência desse sistema é de 1600 W.
- b) trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- c) quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- d) temperatura do gás é menor no ponto C.

**Comentário:**

Sabendo que:  $|W| = |\text{Área do ciclo}|$ , podemos concluir:

$$W = 40J$$

$$P = \frac{W}{\Delta t} = 40 \cdot 40 = 1600 J/s = 1600W$$

**Gabarito: A**

**Questão 15.**

(AFA 1999) No interior de um cilindro, encontram-se  $30 \text{ cm}^3$  de um gás perfeito, sob pressão de 3 atm e temperatura de  $50^\circ\text{C}$ . Inicialmente, o gás sofre expansão isotérmica e seu volume passa a ser  $70 \text{ cm}^3$ . A seguir, sofre transformação isocórica e a pressão torna-se 2,5 atm. No final, a temperatura do gás, em  $^\circ\text{C}$ , vale:

- a) 323
- b) 355
- c) 430
- d) 628

**Comentário:**

Sabendo que, para uma mesma amostra de um gás ideal:  $\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{P_f V_f}{n_f T_f}$

Expansão isotérmica:  $3 \cdot 30 = 70 \cdot P \rightarrow P = 1,28 \text{ atm}$

Transformação isocórica:  $\frac{1,28}{323} = \frac{2,5}{T} \rightarrow T \cong 628K \rightarrow T \cong 355^\circ\text{C}$





**Gabarito: B**

**Questão 16.**

(AFA 1999) Uma máquina térmica trabalha entre as temperaturas de 300 K e 600 K. Em cada ciclo, a máquina retira 221 J de calor da fonte quente e rejeita 170 J de calor para a fonte fria. O rendimento da máquina e o rendimento máximo, em porcentagem, que ela poderia ter com as temperaturas entre as quais opera são, respectivamente:

- a) 44 e 56
- b) 23 e 50
- c) 50 e 77
- d) 23 e 77

**Comentário:**

Numa máquina térmica temos:  $Q_{quente} = Q_{frio} + W$

Do enunciado:  $W = 221 - 170 = 51J$

O rendimento máximo é o rendimento de Carnot, o qual é calculado da forma:  $\eta_{Carnot} = \frac{\Delta T}{T_1}$

$$\text{Assim: } \eta_{Carnot} = \frac{300}{600} = 0,5 = 50\%$$

O rendimento da máquina é calculado da forma:  $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{51}{221} = 23\%$

**Gabarito: B**

**Questão 17.**

(AFA 1999) Certa massa de metano, cuja molécula-grama é 16 gramas, ocupa volume de 120 litros sob pressão de 2,5 atm e à temperatura de 427 °C. A massa do metano, em gramas, é:

(dado:  $R = 0,082 \text{ atm.l/mol.K}$ )

- a) 3,06
- b) 5,22
- c) 19,06
- d) 83,60

**Comentário:**

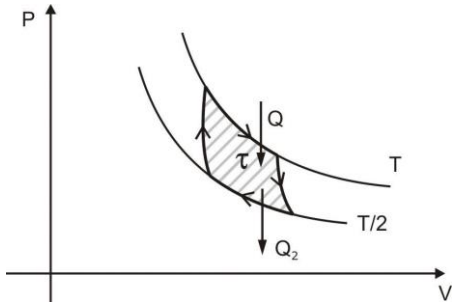
Da equação de Clapeyron:  $P.V = n.R.T \rightarrow P.V = \frac{m}{MM}.R.T \rightarrow 2,5.120 = \frac{m}{16}.0,082.700$

$$m = 83,62g$$

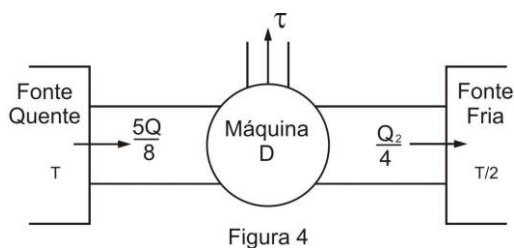
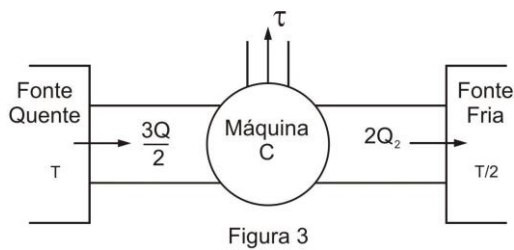
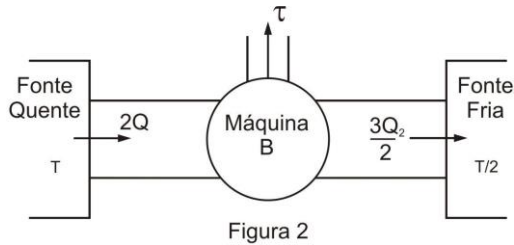
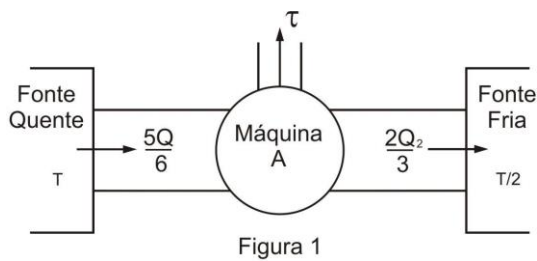
**Gabarito: D**

**Questão 18.**

(AFA-2020) 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  $\tau$  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  $\tau$  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

**Comentários:**

Sabemos que pela Segunda Lei da Termodinâmica nenhuma máquina termodinâmica pode ultrapassar a eficiência de Carnot.

$$\eta_{m\acute{a}x} = \frac{W}{Q} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = \frac{1}{2}$$

Além disso, pela primeira lei da termodinâmica:

$$W = Q - Q_2$$

Como  $W > 0$  (pelas figuras):  $Q > Q_2$

Para o Ciclo 1:

$$Q - Q_2 = \frac{5Q}{6} - \frac{2Q}{3}$$

$$Q = 2Q_2 \rightarrow \textit{possível}$$

$$\eta = \frac{W}{5Q} = \frac{6}{5} \eta_{m\acute{a}x} \rightarrow \textit{absurdo}$$

Logo o ciclo obedece à primeira lei mas viola a segunda.

Para o Ciclo 2:

$$Q - Q_2 = 2Q - \frac{3Q_2}{2}$$

$$Q = \frac{Q_2}{2} \rightarrow \textit{absurdo}$$

$$\eta = \frac{W}{2Q} = \frac{\eta_{m\acute{a}x}}{2} \rightarrow \textit{possível}$$

Logo o ciclo viola a primeira lei mas obedece à segunda

Para o Ciclo 3:

$$Q - Q_2 = \frac{3Q}{2} - 2Q_2$$

$$Q = 6Q_2 \rightarrow \textit{possível}$$



$$\eta = \frac{W}{\frac{3Q}{2}} = \frac{2}{3}\eta_{m\acute{a}x} \rightarrow \textit{poss\acute{i}vel}$$

O ciclo obedece a ambas as leis

Para o Ciclo 4:

$$Q - Q_2 = \frac{5Q}{8} - \frac{Q_2}{4}$$

$$Q = 2Q_2 \rightarrow \textit{poss\acute{i}vel}$$

$$\eta = \frac{W}{\frac{5Q}{8}} = \frac{8}{5}\eta_{m\acute{a}x} \rightarrow \textit{absurdo}$$

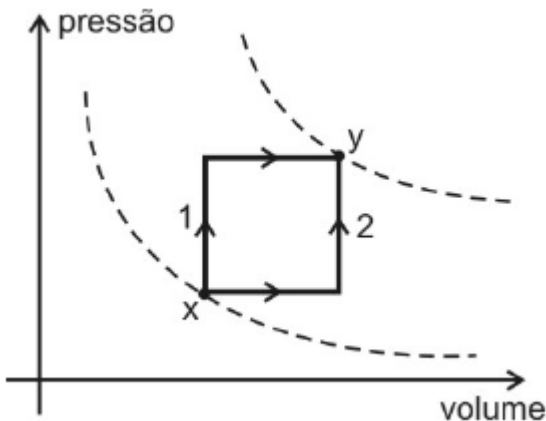
Logo o ciclo obedece à primeira lei da termodinâmica, porém viola a segunda.

Dessa forma, a única máquina que realmente é possível é a 3. Entretanto, considerando que o sinal do trabalho seja ignorado nas figuras por erro do avaliador, a máquina 2 seria possível se atuasse como um refrigerador. Considerando isso, o gabarito correto poderia ser alternativa B.

**Gabarito: B**

**Questão 19.**

(AFA-2018) Um sistema gasoso constituído por  $n$  mols de um gás perfeito passa do estado  $x$  para o estado  $y$  por meio dos processos distintos 1 e 2 mostrados no esquema a seguir.



Se no processo 2 o sistema realiza um trabalho de 200 J e absorve uma quantidade de calor de 500 J, é correto afirmar que

- a) quando o sistema for trazido de volta ao estado inicial  $x$  sua energia interna irá diminuir de 700 J.
- b) a variação da energia interna será a mesma tanto no processo 1 quanto no 2.



c) o trabalho realizado no processo 1 será igual ao trabalho realizado no processo 2.

d) se no processo 1 o trabalho realizado for de 400 J o calor recebido será de 1000 J.

**Comentários:**

Sabemos que a energia interna é uma função de estado (independe do trecho, somente depende dos estados iniciais e finais), mas trabalho e calor não são.

Dessa forma a alternativa B está correta e C está errada.

Quanto à alternativa A:

$$Q = \Delta U + W$$

$$500 = 200 + \Delta U$$

$$\Delta U = 300J$$

Incorreta.

Quanto à alternativa D:

$$Q = \Delta U + W$$

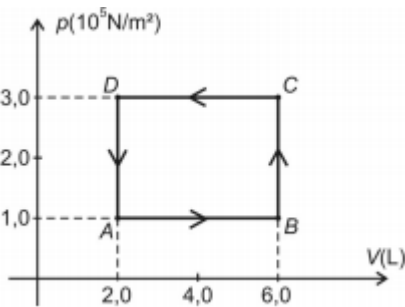
$$Q = 300 + 400 = 700J$$

Incorreta.

**Gabarito: B**

**Questão 20.**

(AFA-2017) Um sistema termodinâmico constituído de n mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado pode-se afirmar que

- a) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.
- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que ele está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

**Comentários:**

A área dentro do quadrado vale:



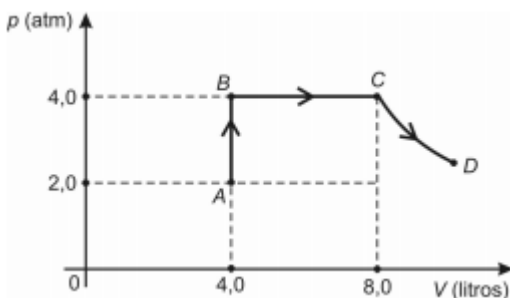
$$2 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 800 \text{ J}$$

Se o ciclo fosse horário isso seria o trabalho realizado pelo sistema e o calor entrando no sistema. Entretanto, como o ciclo é anti-horário (típico de refrigeradores) esse é o trabalho realizado sobre o sistema e o calor saindo do mesmo. Além disso, o ponto com energia interna máxima é o ponto com temperatura máxima e é o C (basta desenhar as isotermas, ou ver que esse é o ponto com PV máximo).

**Gabarito: D**

**Questão 21.**

(AFA-2015) Uma amostra de  $n$  mols de gás ideal sofre as transformações **AB** (isovolumétrica), **BC** (isobárica) e **CD** (isotérmica) conforme representação no diagrama pressão ( $p$ )  $\times$  volume ( $V$ ), mostrado a seguir.



Sabendo-se que a temperatura do gás no estado A é  $27^\circ\text{C}$ , pode-se afirmar que a temperatura dele, em  $^\circ\text{C}$ , no estado D é

- a) 108
- b) 327
- c) 628
- d) 927

**Comentários:**

A temperatura no estado D é igual à temperatura no estado C, que pode ser calculada por:

$$\frac{P_a V_a}{T_a} = \frac{P_c V_c}{T_c}$$

$$\frac{2 \cdot 4}{300} = \frac{4 \cdot 8}{T_c}$$

$$T_c = 1200\text{K} = 927^\circ\text{C}$$

**Gabarito: D**

**Questão 22.**

(AFA-2014) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de  $227^\circ\text{C}$  e  $527^\circ\text{C}$ , enquanto a máquina 2 opera entre  $227\text{K}$  e  $527\text{K}$ . Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.



- I A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.
- II Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente.
- III Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria.
- IV Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- a) I e II
- b) I e III.
- c) II e IV.
- d) III e IV.

**Comentários:**

I. Correta.

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{500}{800} = \frac{3}{8} = 37,5\%$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{227}{527} = \frac{300}{527} = 57\%$$

II. Incorreta.

$$\frac{W}{Q_Q} = \frac{2000}{Q_Q} = \frac{3}{8}$$

$$Q_Q = 5300 J$$

III. Correta.

$$1 - \frac{Q_F}{Q_Q} = 1 - \frac{Q_F}{4000} = 0,57$$

$$Q_F = 1720 J$$

IV. Incorreta.

$$1 - \frac{Q_{F1}}{Q_Q} = 0,375$$

$$Q_{F1} = 0,625Q_Q$$

$$1 - \frac{Q_{F2}}{Q_Q} = 0,57$$

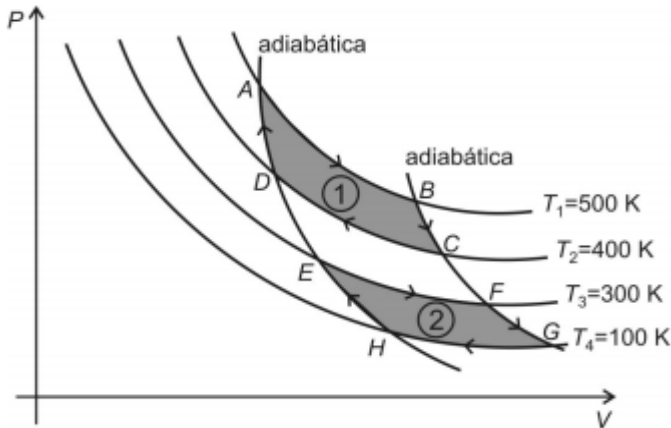
$$Q_{F2} = 0,43Q_Q$$



**Gabarito: B**

**Questão 23.**

(AFA-2014) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama **PV** abaixo.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  de uma fonte quente à temperatura  $T_1$  e cede a quantidade de calor  $Q_2$  para a fonte fria à temperatura  $T_2$ . Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida,  $Q'_1$ , e cedida,  $Q'_2$ , são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas  $T_3$  e  $T_4$ .

Nessas condições, é correto afirmar que

- a) a variação da entropia nas transformações **BC**, **DA**, **FG** e **HE** é não nula.
- b) nas transformações **AB** e **EF**, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações **CD** e **GH**, é positiva
- c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e  $Q_1 = \frac{5}{4} Q_2$
- d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e  $Q'_1 = 3Q'_2$

**Comentários:**

A. Incorreta. A variação de entropia nessas transformações é zero pois elas são adiabáticas reversíveis.

B. Correta.  $\Delta S = -\frac{\Delta Q}{T}$ , como o calor em AB e EF é positivo, a variação da entropia é negativa. Como o calor em CD e GH é negativo, o oposto vale para entropia.

C. Incorreta. Como o ciclo é reversível, a variação de entropia é nula.

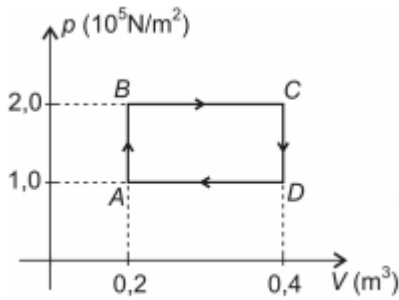
D. Incorreta.  $1 - \frac{Q'_2}{Q'_1} = 1 - \frac{300}{400} \rightarrow Q'_2 = \frac{3}{4} Q'_1$

**Gabarito: B**

**Questão 24.**

(AFA-2013) Uma máquina térmica funciona fazendo com que 5 mols de um gás ideal percorra o ciclo **ABCD** representado na figura.





Sabendo-se que a temperatura em A é 227 °C, que os calores específicos molares do gás, a volume constante e a pressão constante, valem, respectivamente,  $\frac{3}{2} R$  e  $\frac{5}{2} R$  e que R vale aproximadamente 8 J/mol K, o rendimento dessa máquina, em porcentagem, está mais próximo de

- a) 12
- b) 15
- c) 18
- d) 21

**Comentários:**

O trabalho do gás é a área do gráfico, que vale:

$$W = (2 - 1) \cdot (0,4 - 0,2) \cdot 10^5 = 20 \text{ kJ}$$

Já o calor da fonte quente vale:

$$Q_Q = Q_{AB} + Q_{BC} = C_V \Delta T_{AB} + C_P \Delta T_{BC} = \frac{3}{2} \Delta(PV)_{AB} + \frac{5}{2} \Delta(PV)_{BC}$$

$$= \frac{3}{2} (2 - 1) \cdot 0,2 \cdot 10^5 + \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot (0,4 - 0,2) \cdot 10^5 = 130 \text{ kJ}$$

$$\eta = \frac{Q}{Q_Q} = 15\%$$

**Gabarito: B**

**Questão 25.**

(AFA-2012) Com relação às máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir.

I - Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.

II - O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.

III - É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.



IV - Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

São corretas apenas

- a) I e II
- b) II e III
- c) I, III e IV
- d) II e IV

**Comentários:**

I. Incorreta. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia térmica em energia mecânica com consequente realização de trabalho.

II. Correta. Perfeito. Esse é o enunciado proposto por Clausius.

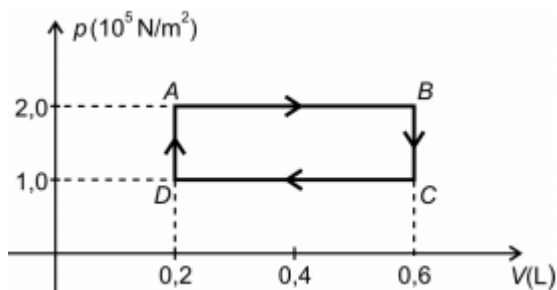
III. Incorreta. É impossível haver eficiência de 100%, a maior eficiência é dada pelo ciclo de Carnot.

IV. Correta. Esse é um dos enunciados da segunda lei da termodinâmica.

**Gabarito: D**

**Questão 26.**

(AFA-2011) O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por  $n$  mols de um gás ideal.



Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o)

- a) potência desse sistema é de 1600 W.
- b) trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- c) quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- d) temperatura do gás é menor no ponto C.

**Comentários:**

A. Correta. O trabalho realizado em cada ciclo é positivo pois o ciclo é horário e vale:

$$W = (2 - 1) \cdot (0,6 - 0,2) \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} = 40J$$

$$P = 40 \cdot W = 1600W$$

B. Incorreta.  $W = 40J$



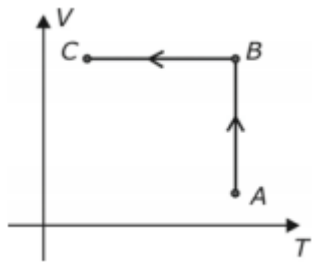
C. Incorreta.  $Q = W = 40J$

D. Incorreta. A menor temperatura está em D (basta desenhar as isotermas ou achar o menor produto PV)

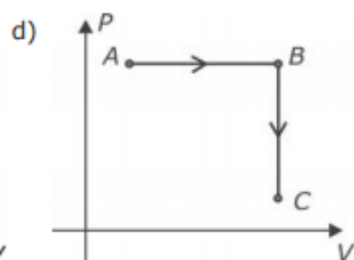
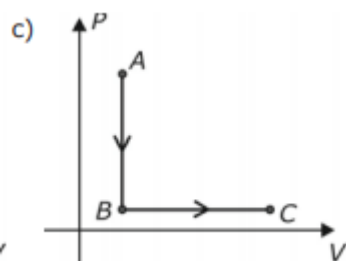
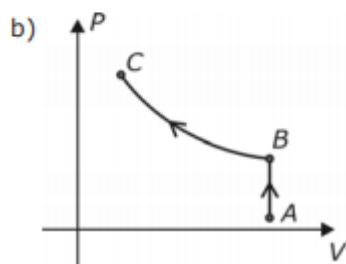
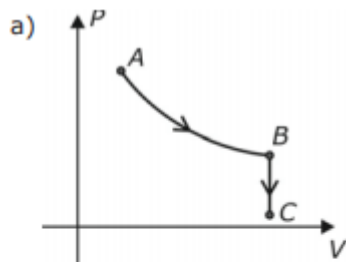
**Gabarito: A**

**Questão 27.**

(AFA-2010) No diagrama a seguir, do volume ( $V$ ) em função da temperatura absoluta ( $T$ ), estão indicadas as transformações  $AB$  e  $BC$  sofridas por uma determinada massa de gás ideal.



Num diagrama da pressão ( $P$ ) em função do volume ( $V$ ), essas transformações deveriam ser indicadas por





**Comentários:**

Pelo gráfico temos uma isotérmica com aumento de volume e uma isovolumétrica com diminuição de temperatura.

A. Correta. Vemos uma isotérmica com aumento de volume e uma isovolumétrica com diminuição de temperatura.

B. Incorreta. Exatamente o contrário da anterior.

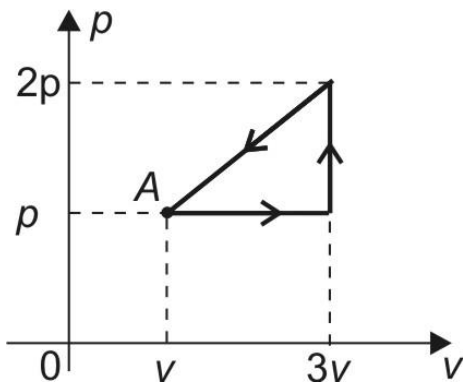
C. Incorreta. Temos uma e isobárica.

D. Incorreta. Exatamente o mesmo que a anterior.

**Gabarito: A**

**Questão 28.**

(AFA-2009) O diagrama a seguir representa o ciclo percorrido por 3 mols de um gás perfeito.



Sabendo-se que no estado A a temperatura é  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  e considerando  $R = 8\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ , o trabalho, em joules, realizado pelo gás no ciclo é

- a) 12000
- b) -6000
- c) 1100
- d) -552

**Comentários:**

Como o ciclo é anti-horário o trabalho é negativo e vale a área do gráfico:

$$W = -\frac{(2P - P) \cdot (3V - C)}{2} = -PV = -nRT_a = -3 \cdot 8 \cdot 250 = -6000\text{ J}$$

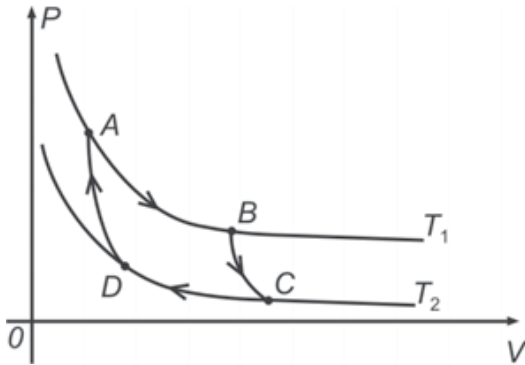
**Gabarito: B**

**Questão 29.**

(AFA-2007) A figura a seguir representa o Ciclo de Carnot realizado por um gás ideal que sofre transformações numa máquina térmica.



Considerando-se que o trabalho útil fornecido pela máquina, em cada ciclo, é igual a 1500 J e, ainda que,  $T_1 = 600 \text{ K}$  e  $T_2 = 300 \text{ K}$ , é INCORRETO afirmar que



a quantidade de calor retirada da fonte quente é de 3000 J.

de **A** até **B** o gás se expande isotermicamente.

de **D** até **A** o gás é comprimido sem trocar calor com o meio externo.

de **B** até **C** o gás expande devido ao calor recebido do meio externo

**Comentários:**

A. Correta.

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{300}{600} = \frac{1}{2}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} \rightarrow Q_Q = 2W = 3000J$$

$$Q_F = Q_Q - W = 1500J$$

B. Correta.

C. Correta. Em adiabáticas não ocorre troca de calor.

D. Incorreta. Em adiabáticas não há troca de calor. O gás se expande por conversão de energia interna em trabalho.

**Gabarito: D**

**Questão 30.**

(AFA-2006) Com recursos naturais cada vez mais escassos, urge-se pensar em novas fontes alternativas de energia. Uma das idéias sugeridas consiste em se aproveitar a energia térmica dos oceanos, cuja água pode apresentar em uma superfície uma temperatura de 20 oC e no fundo temperatura em torno de 5,0 oC. Um motor térmico operando neste intervalo de temperatura poderia ter um rendimento de

- a) 3,0%
- b) 7,5%
- c) 9,0%
- d) 27%



**Comentários:**

O máximo rendimento possível de alguma máquina térmica é dada pela eficiência de um ciclo Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{278}{293} = 5,1\%$$

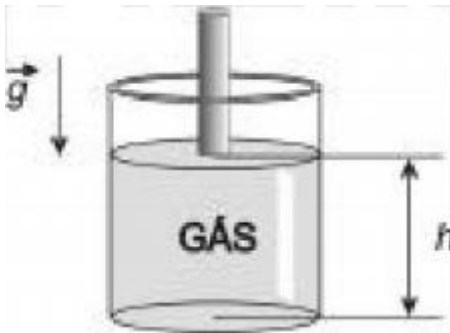
Logo o único rendimento possível é 3%.

**Gabarito: A**

---

**Questão 31.**

(AFA-2006) A figura mostra um cilindro que contém um gás ideal, com um êmbolo livre para se mover sem atrito. À temperatura de 27 oC, a altura  $h$  na qual o êmbolo se encontra em equilíbrio vale 20 cm.



Aquecendo-se o cilindro à temperatura de 39 oC e mantendo-se inalteradas as demais características da mistura, a nova altura  $h$  será, em cm,

- a) 10,8
- b) 20,4
- c) 20,8
- d) 10,4

**Comentários:**

$$\frac{T}{V} = cte.$$

$$\frac{300}{20} = \frac{312}{h}$$

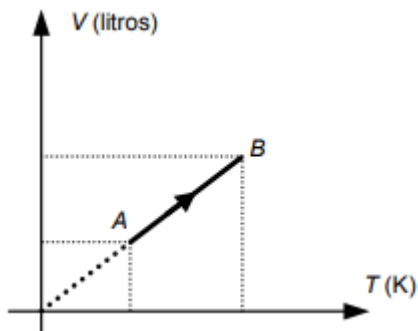
$$h = 20,8cm$$

**Gabarito: C**

---

**Questão 32.**

(AFA-2003) Um gás ideal evolui de um estado **A** para um estado **B**, de acordo com o gráfico a seguir:



São feitas três afirmações a respeito desse gás ao evoluir de **A** para **B**.

I - A sua pressão aumentou.

II - Ele realizou trabalho.

III - Ele recebeu calor.

É(são) verdadeiro(s) apenas o(s) item(ns)

II.

II e III.

c) I e III.

d) I.

**Comentários:**

Pelo gráfico, temos que:

$$V = kT$$

Pela equação de Clapeyron:

$$PV = nRT$$

$$PkT = nRT$$

$$P = \frac{nR}{k}$$

Ou seja, a pressão é constante. Sempre que em um gráfico P-T ou V-T a reta passar pela origem, a outra variável será constante! Dessa forma, temos uma isobárica com aumento de temperatura, e dessa forma com aumento de volume. Dessa forma temos tanto trabalho como calor positivos (trabalho realizado e calor absorvido).

**Gabarito: B**

**Questão 33.**

(AFA-2003) Uma máquina térmica, que opera segundo o ciclo de Carnot e cujo reservatório a baixa temperatura encontra-se a **27 °C**, apresenta um rendimento de 40%. A variação da temperatura em kelvin, da fonte quente, a fim de aumentarmos seu rendimento em 10%, será

a) 300.

b) 500.

c) 100.



d) 600.

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{300}{T_q} = 0,4$$

$$T_q = 500 \text{ K}$$

Aumentando a temperatura:

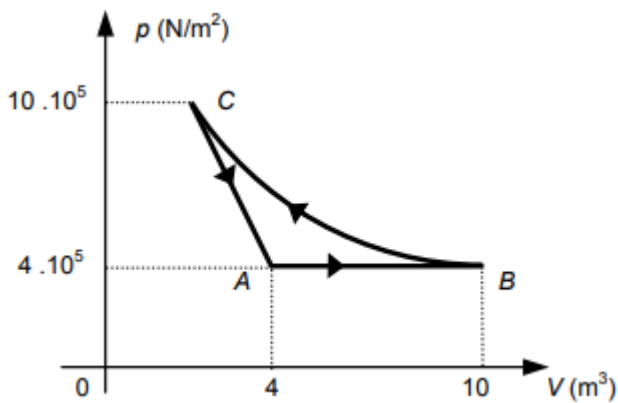
$$1 - \frac{T_f}{T'_q} = 1 - \frac{300}{T'_q} = 0,5$$

$$T'_q = 600 \text{ K}$$

**Gabarito: C**

**Questão 34.**

(AFA-2003) Um gás perfeito sofre as transformações conforme o gráfico a seguir.



O trabalho, em joules, realizado na transformação AB é

- a)  $4,0 \cdot 10^6$
- b)  $1,6 \cdot 10^6$
- c) zero
- d)  $2,4 \cdot 10^6$

**Comentários:**

Com pressão constante

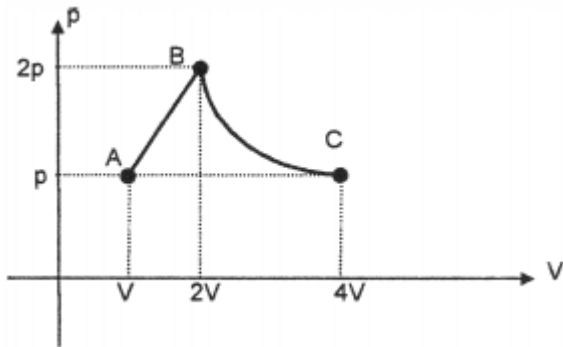
$$W = P\Delta V = 4 \cdot 10^5(10 - 4) = 2,4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

**Gabarito: D**

**Questão 35.**

(AFA-2002) Um gás ideal monoatômico sofre as transformações AB e BC representadas no gráfico  $p \times V$  abaixo.





Analisando o gráfico pode-se afirmar que, na transformação

- a) AB, o gás recebe calor do meio externo.
- b) BC, a energia interna do gás aumenta.
- c) AB, o gás perde calor para o meio externo.
- d) BC, a energia interna do gás diminui.

**Comentários:**

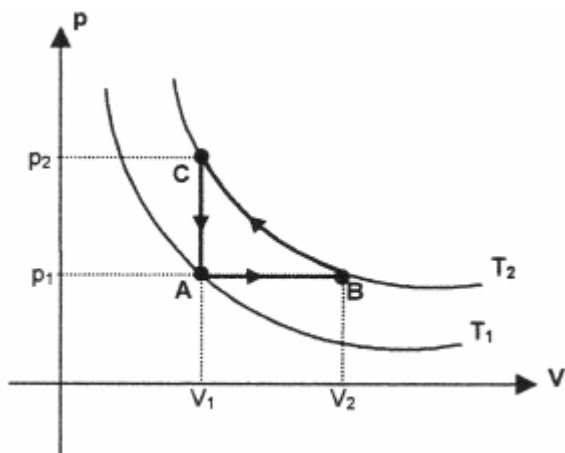
AB: transformação genérica com aumento de pressão e volume, e conseqüentemente de temperatura (lembre-se que se  $PV$  aumenta,  $T$  aumenta). Existe trabalho sendo feito (pois há aumento de volume) e existe aumento de energia interna (pois há aumento de temperatura), logo, pela primeira lei, existe calor sendo absorvido.

BC: Veja que nessa transformação  $PV$  inicial é igual a  $PV$  final, logo a temperatura inicial é igual à final. Não podemos dizer, entretanto, que se trata de uma isotérmica, somente que as temperaturas iniciais e finais são iguais, e conseqüentemente que não há variação da energia interna.

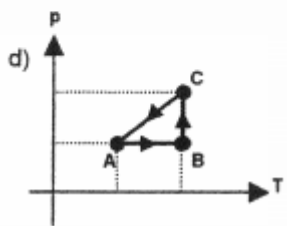
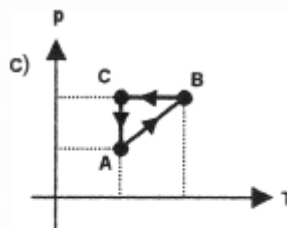
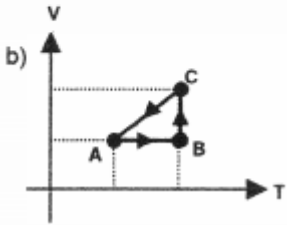
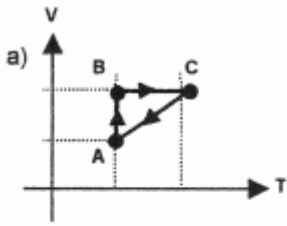
**Gabarito: A**

**Questão 36.**

(AFA-2002) Um gás ideal sofre a transformação cíclica ABCA indicada no seguinte gráfico:



Dos diagramas abaixo, o que MELHOR representa a transformação anterior é



**Comentários:**

Pelo gráfico temos:

AB: isobárica com aumento de temperatura

BC: isotérmica com diminuição de volume/aumento de pressão

CA: isovolumétrica com diminuição de temperatura

A.

AB: isotérmica com aumento de volume

BC: isovolumétrica com aumento de temperatura

CA: isobárica com diminuição de temperatura

B.

AB: isovolumétrica com aumento de temperatura

BC: isotérmica com aumento de volume



CA: isobárica com diminuição de temperatura

C.

AB: isovolumétrica com aumento de temperatura

BC: isobárica com diminuição de temperatura

CA: isotérmica com diminuição de pressão

D.

AB: isobárica com aumento de temperatura

BC: isotérmica com aumento de pressão

CA: isovolumétrica com diminuição de temperatura

**Gabarito: D**

---

**Questão 37.**

(AFA-2002) Um motor térmico que funciona segundo o Ciclo de Carnot, absorve 400 cal de uma fonte quente a 267 °C e devolve 220 cal para uma fonte fria. A temperatura da fonte fria, em °C, é

a) 12.

b) 24.

c) 147.

d) 297.

**Comentários:**

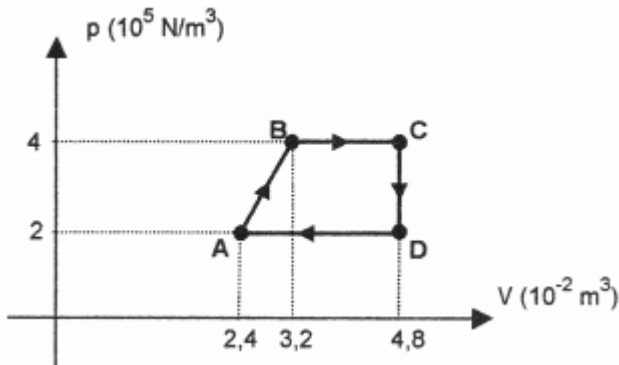
$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \rightarrow \frac{T_f}{540} = \frac{220}{400}$$
$$T_f = 297K = 24^\circ C$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 38.**

(AFA-2002) Uma máquina térmica funciona de acordo com o ciclo dado pela figura abaixo. Essa máquina foi construída usando dois moles de um gás ideal monoatômico, e no decorrer de cada ciclo não há entrada nem saída de gás no reservatório que o contém.



O máximo rendimento e o trabalho realizado por essa máquina valem, respectivamente,

- a) 13% e  $8 \times 10^2$  J.
- b) 75% e  $8 \times 10^2$  J.
- c) 13% e  $4 \times 10^3$  J.
- d) 75% e  $4 \times 10^3$  J.

**Comentários:**

Essa questão para mim deveria ter sido completamente anulada. Quando o exercício fala em máximo rendimento, não sabemos dizer o que ele quer. Se a máquina operasse sozinha (ou seja, se só tivéssemos uma máquina em questão) o rendimento máximo dela é o que calculamos normalmente pela divisão do trabalho total pela soma dos calores de fontes quentes. Esse rendimento é dito ser máximo pois considera que todas as transformações são reversíveis. Entretanto, caso tivéssemos mais de uma máquina termodinâmica operando, podemos fazer com que o rendimento dessa máquina principal seja igual ao rendimento de Carnot, sacrificando o rendimento das outras. O exercício não foi claro no que quis. Inclusive, para mim, acho que a primeira interpretação é bem mais válida, e inclusive há alternativa para ela.

O trabalho vale a área do gráfico, que vale:

$$W = \frac{((4,8 - 2,4) + (4,8 - 3,2)) \cdot (4 - 2)}{2} \cdot 10^3 = 4 \text{ kJ}$$

Considerando a primeira interpretação:

$$\begin{aligned}
 Q_Q &= W + |Q_F| = W + |Q_{CD}| + |Q_{DA}| \\
 Q_Q &= 4000 + n \cdot C_V \cdot \Delta T_{DC} + n \cdot C_P \cdot \Delta T_{AD} \\
 Q_Q &= 4000 + \frac{3}{2} \Delta(PV)_{DC} + \frac{5}{2} \Delta(PV)_{AD} \\
 Q_Q &= 4000 + \frac{3}{2} (4 - 2) \cdot 4,8 \cdot 10^3 + \frac{5}{2} (4,8 - 2,4) \cdot 2 \cdot 10^3 \\
 Q_Q &= 30,4 \text{ kJ} \\
 \eta &= \frac{4}{30,4} = 13\%
 \end{aligned}$$

Considerando a segunda interpretação:



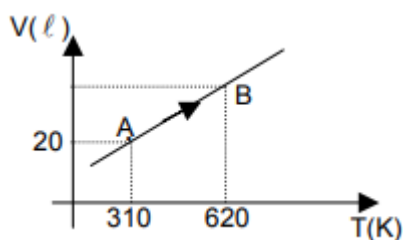
$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{(PV)_C}{(PV)_A} = 1 - \frac{2 \cdot 2,4}{4 \cdot 4,8} = 75\%$$

**Gabarito: C ou D**

**Questão 39.**

(AFA-2000) O volume de um mol de gás ideal varia linearmente em função da temperatura, conforme gráfico abaixo. O trabalho realizado pelo gás ao passar do estado A para o estado B, em joules, é

Dado:  $R = 8,3 \text{ J/mol K} = 0,082 \text{ atm l/mol K}$



- a) 25
- b) 51
- c) 2573
- d) 5146

**Comentários:**

Pelo gráfico:

$$V = kT$$

Por Clapeyron:

$$PV = nRT$$

$$PkT = nRT$$

$$P = \frac{nR}{k}$$

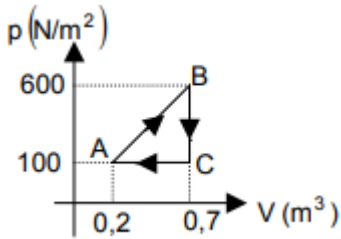
Ou seja, trata-se de uma isobárica.

$$W = P \cdot \Delta V = nR\Delta T = 1 \cdot 8,3 \cdot 310 = 2573J$$

**Gabarito: C**

**Questão 40.**

(AFA-2000) Um gás sofre a transformação cíclica ABCA indicada no gráfico abaixo. A quantidade de calor, em joules, trocada no ciclo é



- a) 125
- b) 175
- c) 300
- d) 600

**Comentários:**

Em um ciclo, trabalho total = calor total = área do gráfico.

$$Q = \frac{(0,7 - 0,2) \cdot (600 - 100)}{2} = 125J$$

**Gabarito: A**

**Questão 41.**

(AFA-2000) Uma máquina térmica funcionando segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas  $T_1 = 700 K$  e  $T_2 = 300 K$  recebe da fonte quente 1250 J de calor. O calor rejeitado, em joules, para a fonte fria é aproximadamente

- a) 423
- b) 536
- c) 641
- d) 712

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \rightarrow \frac{300}{700} = \frac{Q_f}{1250}$$

$$Q_f = 526J$$

**Gabarito: B**

**Questão 42.**

(AFA-2000) Dois corpos, de massas e volumes diferentes, estão em equilíbrio térmico quando apresentam os mesmos valores de

- a) entropia.
- b) temperatura.
- c) capacidade térmica.



d) quantidade de calor.

**Comentários:**

O equilíbrio térmico é dado pela temperatura.

**Gabarito: B**

---

**Questão 43.**

(AFA-1999) O princípio fundamental em que se baseia o termômetro é a (o)

- a) lei zero da termodinâmica.
- b) primeira lei da termodinâmica.
- c) segunda lei da termodinâmica.
- d) das trocas de calor sensível e latente.

**Comentários:**

O termômetro se baseia no equilíbrio térmico, ou seja, na lei zero da termodinâmica.

**Gabarito: A**

---

**Questão 44.**

(AFA-1999) Uma máquina térmica trabalha entre as temperaturas de 300 K e 600 K. Em cada ciclo, a máquina retira 221 J de calor da fonte quente e rejeita 170 J de calor para a fonte fria. O rendimento da máquina e o rendimento máximo, em porcentagem, que ela poderia ter com as temperaturas entre as quais opera são, respectivamente,

- a) 44 e 56
- b) 23 e 50
- c) 50 e 77
- d) 23 e 77

**Comentários:**

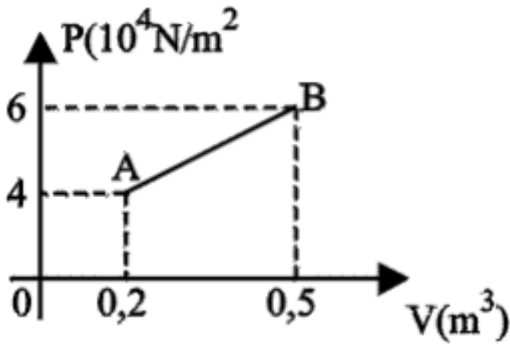
$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$$
$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} = 1 - \frac{170}{221} = 23\%$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 45.**

(AFA-1999) Oito mols de um gás ideal monoatômico sofrem o processo termodinâmico AB indicado no gráfico. A quantidade de calor, em kJ, trocada pelo gás na transformação de A para B, é (dado:  $R = 8,31 \text{ J/molK}$ )



- a) 6
- b) 12
- c) 15
- d) 48

**Comentários:**

$$Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U_{AB} = W_{AB} + \frac{3}{2}nR\Delta T_{AB} = W_{AB} + \frac{3}{2}\Delta(PV)_{AB}$$

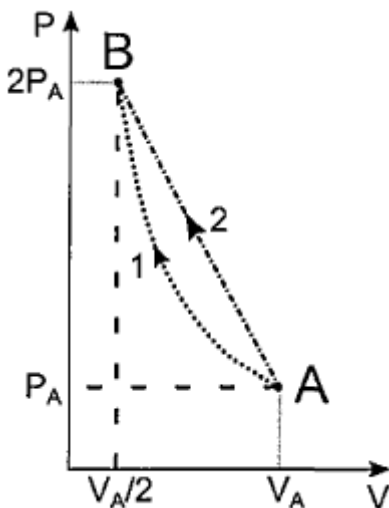
$$Q_{AB} = \frac{(6 + 4)(0,5 - 0,2)}{2} \cdot 10^4 + \frac{3}{2}(6 \cdot 0,5 - 4 \cdot 0,2) \cdot 10^4$$

$$Q_{AB} = 48kJ$$

**Gabarito: D**

**Questão 46.**

(EN-2019) Analise o gráfico abaixo.



Um mol de certo gás ideal monoatômico, no estado inicial  $(P_A, V_A, T_A)$ , deve ter sua pressão dobrada e seu volume reduzido à metade, atingindo o estado  $(P_B, V_B, T_B)$ . Para isso, dois processos distintos são testados separadamente: o processo 1 é isotérmico, com o gás cedendo ao meio externo um calor  $Q_1$ . Já no processo 2, a curva AB é retilínea, e o calor cedido pelo gás é





$Q_2 = Q_1/0,92$ . Sendo R a constante dos gases ideais, o produto  $RT_A = U_0$  e  $W_1$  o trabalho realizado sobre o gás no processo 1, a razão  $W_1/U_0$  vale:

- a) 0,90
- b) 0,75
- c) 0,69
- d) 0,50
- e) 0,32

**Comentários:**

Existem dois modos de resolver o problema, o primeiro é sabendo quanto vale  $\ln 2$ :

$$W_1 = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} = nRT_A \ln 2 = RT_A \ln 2$$

$$\frac{W_1}{U_0} = \ln 2 = 0,69$$

O segundo é como o avaliador queria que resolvêssemos:

Como 1 é isotérmica:  $T_A = T_B \rightarrow \Delta U_{AB} = 0$

$$W_2 = -\frac{(2P_A + P_A)(V_A - \frac{V_A}{2})}{2} = -\frac{3}{4}P_A V_A = -\frac{3}{4}U_0$$

$$Q_2 = W_2 + \Delta U_{AB}$$

$$-\frac{Q_1}{0,92} = -\frac{3}{4}U_0$$

$$Q_1 = 0,69 U_0$$

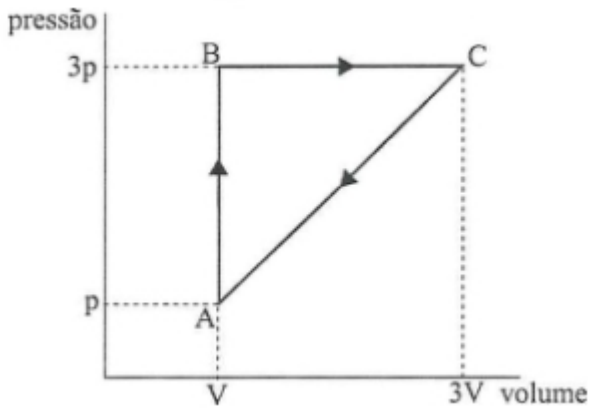
$$Q_1 = W_1 + \Delta U_{AB} = W_1$$

$$W_1 = 0,69U_0$$

**Gabarito: C**

**Questão 47.**

(EN-2018) Analise o diagrama PV abaixo.



A figura acima exibe, num diagrama PV, um ciclo reversível a que está submetido 2 moles de um gás monoatômico ideal. Sabendo que as temperaturas nos estados A, B e C estão relacionadas por  $T_C = 3T_B = 9T_A$ , qual a eficiência do ciclo?

- a) 1/3
- b) 1/5
- c) 1/6
- d) 1/7
- e) 1/9

**Comentários:**

$$W = \text{área} = \frac{(3P - P)(3V - V)}{2} = 2PV$$

$$Q_Q = Q_{AB} + Q_{BC} = nC_V \Delta T_{AB} + nC_P \Delta T_{BC} = \frac{3}{2} \Delta(PV)_{AB} + \frac{5}{2} \Delta(PV)_{BC}$$

$$Q_Q = \frac{3}{2} (3P - P) \cdot V + \frac{5}{2} (3V - V) \cdot 3P = 18PV$$

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} = \frac{1}{9}$$

**Gabarito: E**

**Questão 48.**

(EN-2017) Uma máquina de Carnot tem rendimento médio diurno  $\eta_0 = 0,6$ . No período noturno, as fontes quente e fria têm suas temperaturas reduzidas para a metade e para 3/4 da temperatura média diurna, respectivamente. Se o rendimento noturno é  $\eta_1$ , qual a variação percentual,  $\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \times 100\%$ , do rendimento dessa máquina de Carnot?

- a) -16,7%
- b) -25,0%
- c) -33,3%
- d) -41,7%



e) -50,0%

**Comentários:**

Seja  $T_{d-f}$  e  $T_{d-q}$  as temperaturas fria e quente no dia:

$$\eta_d = 1 - \frac{T_{d-f}}{T_{d-q}} = 0,6 \rightarrow \frac{T_{d-f}}{T_{d-q}} = 0,4$$

$$T_{n-f} = \frac{3}{4}T_{d-f}$$

$$T_{n-q} = \frac{1}{2}T_{d-q}$$

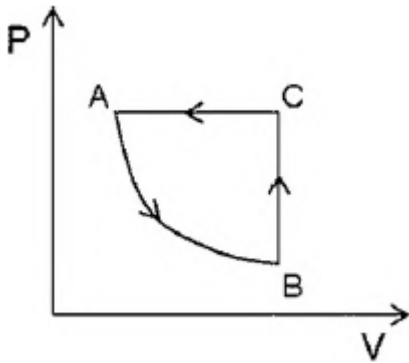
$$\eta_n = 1 - \frac{T_{n-f}}{T_{n-q}} = 1 - \frac{\frac{3}{4}T_{d-f}}{\frac{1}{2}T_{d-q}} = 1 - \frac{3}{2} \cdot 0,4 = 0,4$$

$$\frac{\eta_n - \eta_d}{\eta_d} = \frac{40 - 60}{60} = -33\%$$

**Gabarito: C**

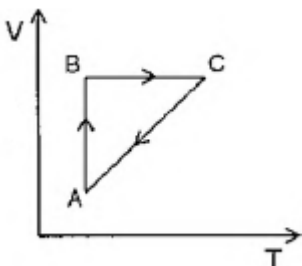
**Questão 49.**

(EN-2017) Analise o gráfico a seguir.

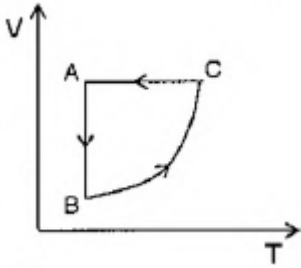


O gráfico acima representa um gás ideal descrevendo um ciclo **ABC** em um diagrama **PxV**. Esse ciclo consiste em uma transformação isotérmica seguida de uma transformação isocórica e uma isobárica. Em um diagrama **VxT**, qual gráfico pode representar o mesmo ciclo **ABC**?

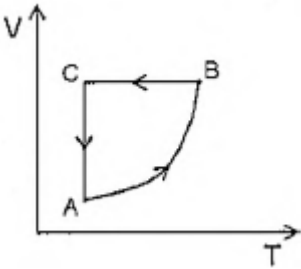
a)



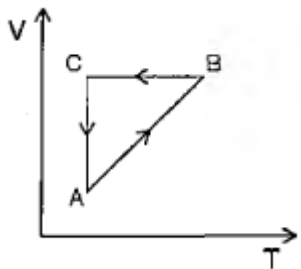
b)



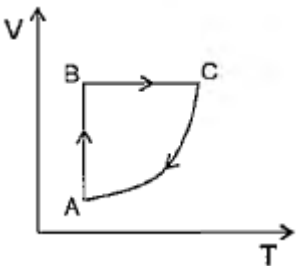
c)



d)



e)



**Comentários:**

AB: isotérmica com aumento de volume

BC: isovolumétrica com aumento de temperatura

CA: isobárica com diminuição de volume (lembre-se que isobáricas em T-V são retas que passam pela origem)

Teremos então, 3 retas, o que exclui B, C, E.

A.

AB: isotérmica com aumento de volume

BC: isovolumétrica com aumento de temperatura



CA: isobárica com diminuição de volume

D.

AB: isobárica com aumento de temperatura

BC: isovolumétrica com diminuição de temperatura

CA: isotérmica com diminuição de temperatura

**Gabarito: A**

---

**Questão 50.**

(EN-2016) Uma máquina de Carnot, operando inicialmente com rendimento igual a 40%, produz um trabalho de 10 joules por ciclo. Mantendo-se constante a temperatura inicial da fonte quente, reduziu-se a temperatura da fonte fria de modo que o rendimento passou para 60%. Com isso, o módulo da variação percentual ocorrida no calor transferido à fonte fria, por ciclo, é de

a) 67%

b) 60%

c) 40%

d) 33%

e) 25%

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 0,4 \rightarrow T_f = 0,6T_q$$

$$\eta' = 1 - \frac{T'_f}{T_q} = 0,6 \rightarrow T'_f = 0,4T_q$$

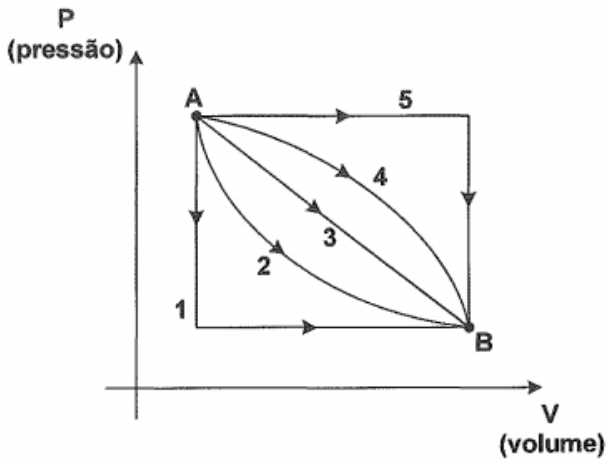
$$\frac{T'_f - T_f}{T_f} = -\frac{0,2}{0,6} = -\frac{1}{3}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 51.**

(EN-2016) Analise o gráfico abaixo.



Se entre os estados A e B mostrados na figura, um mol de um gás ideal passa por um processo isotérmico. A(s) curva(s) que pode(m) representar a função  $P = f(V)$  desse processo, é (são)

- a) 1 e 5
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 2 e 4

**Comentários:**

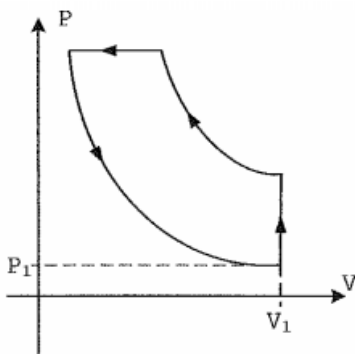
Sabemos que a forma das isotérmicas é somente a forma 2, nenhuma outra pode ser isotérmica

**Gabarito: B**

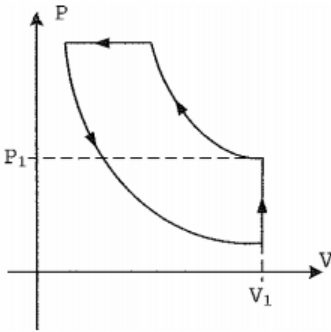
**Questão 52.**

(EN-2014) O estado inicial de certa massa de gás ideal é caracterizado pela pressão  $P_1$  e volume  $V_1$ . Essa massa gasosa sofre uma compressão adiabática seguida de um aquecimento isobárico, depois se expande adiabaticamente até que o seu volume retorne ao valor inicial e, finalmente, um resfriamento isovolumétrico faz com que o gás retorne ao seu estado inicial. Qual o gráfico que melhor representa as transformações sofridas pelo gás?

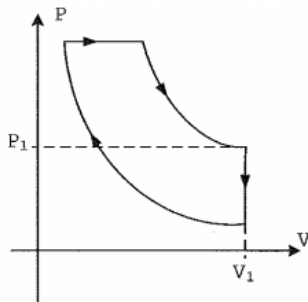
a)



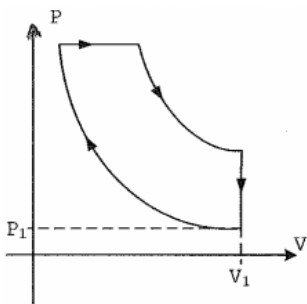
b)



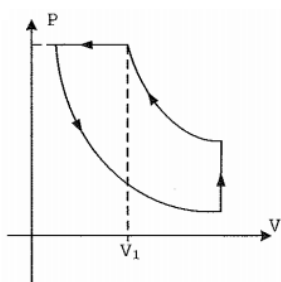
c)



d)



e)



**Comentários:**

- A. Incorreta. Temos resfriamento isobárico
- B. Incorreta. Temos resfriamento isobárico
- C. Correta. Perfeita.
- D. Incorreta. O estado inicial não é atingido
- E. Incorreta. Temos resfriamento isobárico

**Gabarito: C**

**Questão 53.**



(EN-2015) As turbinas a vapor da propulsão nuclear de um submarino possuem um rendimento de 15% e são capazes de produzir uma potência mecânica constante de **40MW** nos eixos rotativos. Se essa potência é entregue em **3,0** minutos, observa-se que a variação de entropia do sistema vapor-turbinas é **(1/12) GJ/K**. A temperatura, em °C, do vapor superaquecido produzido pelo reator nuclear vale, aproximadamente

- a) 327
- b) 303
- c) 247
- d) 207
- e) 177

**Comentários:**

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} = \frac{40 \cdot 10^6 \cdot 180}{Q_Q} = 0,15$$
$$Q_Q = 48GJ$$

Como o exercício falou para calcular a temperatura de saída, já dá para chutar que o processo é isotérmico (o que é verdade, mas um aluno não tem a necessidade de saber como ocorre um processo em uma turbina a vapor de propulsão nuclear):

$$\Delta S = -\frac{\Delta Q}{T} = -\frac{48}{T} = -\frac{1}{12}$$
$$T = 576K = 303^\circ C$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 54.**

(EN-2015) Analise as figuras abaixo.



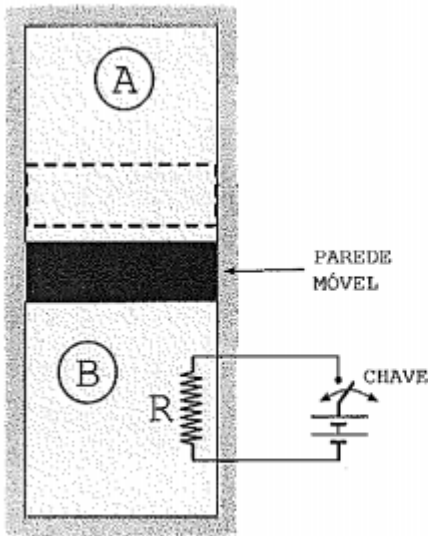


Fig. 1

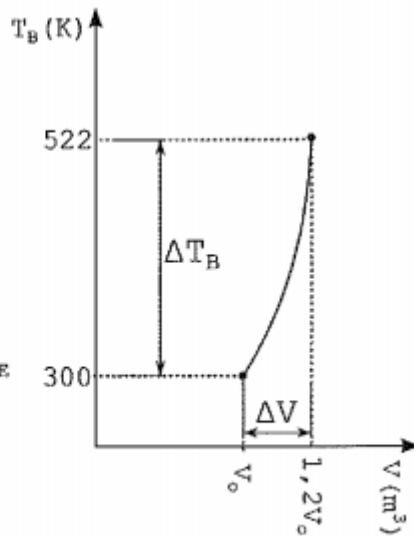


Fig. 2

O recipiente da Fig.1 possui as paredes externas e a parede móvel interna compostas de isolante térmico. Inicialmente, os compartimentos de mesmo volume possuem, cada um, um mol de certo gás ideal monoatômico na temperatura de **300K**. Então, por meio da fonte externa de calor, o gás do compartimento B (gás B) se expande lentamente comprimindo adiabaticamente o gás A. Ao fim do processo, estando o gás B na temperatura de **522K** e volume **20%** maior que o volume inicial, a temperatura, em **°C**, do gás A será de

- a) 249
- b) 147
- c) 87
- d) 75
- e) 27

**Comentários:**

Como não existe troca de calor entre A e B:

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T'_A V'_A{}^{\gamma-1}$$

$$T_A V_A^{\frac{2}{3}} = T'_A (0,8V_A)^{\frac{2}{3}}$$

$$T'_A = 1,16T_A = 1,16 \cdot 300 = 348K = 75 \text{ °C}$$

**Gabarito: D**

**Questão 55.**

(EN-2012) Um recipiente cilíndrico de seção reta transversal **A = 20,0 cm<sup>2</sup>** é vedado por um êmbolo de peso **52,0 N** que pode deslizar livremente sem atrito. O cilindro contém uma amostra de **3,00** litros de gás ideal na temperatura inicial de **300K**. Separadamente, com o cilindro nas



posições vertical e horizontal, o gás é aquecido isobaricamente da temperatura inicial até a temperatura de 400K, como mostram as figuras 1 e 2, respectivamente. A diferença entre os trabalhos realizados pelo gás nas posições vertical e horizontal,  $W_v - W_h$ , em joules, é igual a

Dados: pressão atmosférica  $p_{atm} = 1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ .

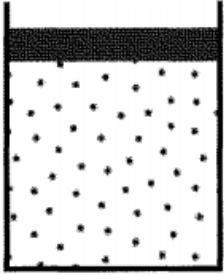


Fig. 1

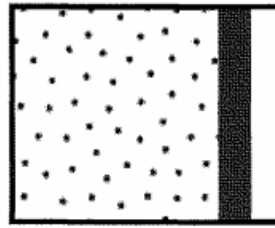


Fig. 2

- a) 8,00
- b) 10,0
- c) 15,0
- d) 18,0
- e) 26,0

**Comentários:**

A pressão do gás vale:

$$P = P_{atm} + \frac{F}{A} = 10^5 + \frac{52}{20 \cdot 10^{-4}} = 1,26 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

O volume final do gás pode ser calculado:

$$\frac{V}{T} = \frac{V'}{T'}$$

$$\frac{3}{300} = \frac{V'}{400} \rightarrow V' = 4L$$

$$\Delta V = 1L = 10^{-3} \text{ cm}^3 = A\Delta h = 20 \cdot 10^{-4} h \rightarrow h = 0,5m$$

O trabalho adicional que o gás terá que fazer na posição vertical é dado pela variação da energia potencial gravitacional do êmbolo:

$$\tau = Ph = 52 \cdot 0,5 = 26J$$

**Gabarito: E**

**Questão 56.**

(EN-2011) As turbinas de certo reator nuclear possuem um rendimento de 12% e são capazes de gerar uma potência elétrica de  $1,20 \cdot 10^3 \text{ MW}$  ( $1\text{M} = 10^6$ ). A temperatura do vapor superaquecido que alimenta as turbinas é de 327°C. Considerando a potência elétrica constante



durante 1,00min., a variação de entropia (em  $10^3 \text{ MJ/K}$ ) do sistema vapor - turbinas neste intervalo de tempo é Dado:  $0^\circ \text{C} - 273 \text{K}$

- a) 0,100
- b) 0, 600
- c) 1,00
- d) 1,20
- e) 1,60

**Comentários:**

Questão parecida já caiu na EN:

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{1200 \cdot 10^6 \cdot 60}{Q_q} = 0,12$$

$$Q_q = 600 \text{GJ}$$

Como o exercício falou em uma única temperatura de saída, já dá para chutar que o processo é isotérmico (o que é verdade, mas um aluno não tem a necessidade de saber como ocorre um processo em uma turbina a vapor de propulsão nuclear):

$$\Delta S = -\frac{\Delta Q}{T} = -\frac{600}{600} = -1 \text{GJ}$$

**Gabarito: C**

**Questão 57.**

(EN-2011) Uma máquina térmica, que tem como substância de trabalho 2,00 mols de um gás ideal monoatômico, descreve o ciclo de Carnot. Na expansão isotérmica, o gás recebe 4648J de calor e verifica-se que o seu volume aumenta de  $0,200 \text{ m}^3$  para  $0,400 \text{ m}^3$ . Sabendo-se que o rendimento da máquina é de 25%, o trabalho (em kJ) realizado pelo gás na expansão adiabática é Dados:  $R = 8,30 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$  (constante de Clapeyron);  $\ln 2 = 0,700$ ;  $\ln 3 = 1,10$ ;  $\ln 4 = 1,40$

- a) 2,05
- b) 2,23
- c) 2,40
- d) 2,45
- e) 2,49

**Comentários:**

Na expansão isotérmica (lembre-se que a expansão isotérmica no ciclo de Carnot se dá na temperatura quente):

$$Q = nRT_q \ln \frac{V_f}{V_i} = 2 \cdot 8,3 \cdot T_q \ln 2 = 11,62T_q = 4648$$

$$T_q = 400 \text{K}$$



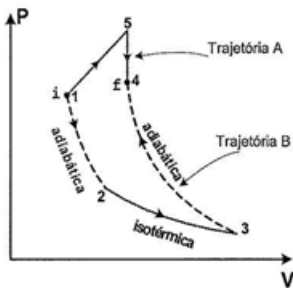
$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{T_f}{400} = 0,25 \rightarrow T_f = 300K$$

$$W_{ad} = \Delta U_{ad} = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,3 \cdot 100 = 2,49kJ$$

**Gabarito: E**

**Questão 58.**

(EN-2009) Um gás pode expandir do estado inicial i para o estado final f seguindo a trajetória A (1 → 5 → 4) ou a trajetória B (1 → 2 → 3 → 4) do diagrama PV abaixo. A variação da energia interna do gás é de 20J ao expandir de i a f pela trajetória A. Seguindo a trajetória B, do estado 1 para o estado 3 o trabalho realizado pelo gás é, em valor absoluto, igual a 25J e do estado 3 para o estado 4 o trabalho é 13J. Qual o calor trocado com o meio ambiente quando o gás vai do estado 2 para o estado 3?



- a) 32J cedidos pelo gás.
- b) 32J absorvidos pelo gás.
- c) 8,0J cedidos pelo gás.
- d) 8,0J absorvidos pelo gás.
- e) não há troca de calor.

**Comentários:**

Em 34 o calor trocado é nulo:

$$W_{34} + \Delta U_{34} = 0$$

$$-13 + \Delta U_{34} = 0$$

$$\Delta U_{34} = 13J$$

A soma das energias internas vale 20J:

$$\Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{34} = 20J$$

$$\Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 7J \rightarrow \Delta U_{12} = 7J$$

A soma dos trabalhos em 1-3 é 25 J

$$W_{12} + W_{23} = 25J$$

$$-\Delta U_{12} + Q_{23} = 25J$$



$$Q_{23} = 32J$$

**Gabarito: B**

---

**Questão 59.**

(EN-2009) Analise as afirmativas abaixo.

I - Quando a temperatura do ar se eleva num processo aproximadamente adiabático, verificamos que a pressão aumenta.

II - Para um gás ideal, as moléculas não exercem ação mútua, a não ser durante as eventuais colisões que devem ser perfeitamente elásticas.

III - A energia interna, ou seja, o calor de uma amostra de gás ideal é a soma das energias cinéticas de todas as moléculas que o constitui.

IV - Numa transformação isotérmica, uma amostra de gás não sofre alterações na sua energia interna.

V - O ciclo de Carnot idealiza o funcionamento de uma máquina térmica onde o seu rendimento é o maior possível, ou seja, 100%.

As afirmativas corretas são, somente,

- a) I, II e IV
- b) II, III e IV
- c) III, IV e V
- d) I, II e V
- e) I, III e V

**Comentários:**

I. Correta.

$$\frac{T^\gamma}{p^{\gamma-1}} = cte.$$

Logo a temperatura e pressão são diretamente proporcionais

II. Correta. Perfeito. Não podemos ter energia dissipada, logo o modelo de colisões é elástico. Além disso as moléculas não devem exercer força mútua para obedecer Clapeyron.

III. Incorreta. A energia interna não é, de nenhuma forma, o calor da amostra. Nunca pode-se falar que algo tem calor. Se alguém disser isso está errado. Calor se passa somente, ou seja, é uma energia de transição.

IV. Correta. Se a temperatura não muda, a energia interna não muda.

V. Incorreta. O rendimento de Carnot é máximo, mas não é 100%, vale  $1 - \frac{T_f}{T_q}$

**Gabarito: A**

---



**Questão 60.**

(EN-2013) Considere um gás monoatômico ideal no interior de um cilindro dotado de um êmbolo, de massa desprezível, que pode deslizar livremente. Quando submetido a uma certa expansão isobárica, o volume do gás aumenta de  $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  para  $8,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Sabendo-se que, durante o processo de expansão, a energia interna do gás sofre uma variação de  $0,360 \text{ kJ}$ , pode-se afirmar que o valor da pressão, em **kPa**, é de

- a) 4,00
- b) 10,0
- c) 12,0
- d) 40,0
- e) 120

**Comentários:**

$$\Delta U = nC_v\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

$$W = P\Delta V = nR\Delta T = \frac{2}{3}\Delta U = 0,240 \text{ kJ}$$

$$P(8 - 2) \cdot 10^{-3} = 0,240$$

$$P = 40 \text{ kPa}$$

**Gabarito: D**

**Questão 61.**

(EN-2013) Considere que **0,40** gramas de água vaporize isobaricamente à pressão atmosférica. Sabendo que, nesse processo, o volume ocupado pela água varia de **1,0** litro, pode-se afirmar que a variação da energia interna do sistema, em **kJ**, vale

Dados: calor latente de vaporização da água =  $2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ ; conversão:  $1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

- a) - 1,0
- b) - 0,92
- c) 0,82
- d) 0,92
- e) 1,0

**Comentários:**

No calor latente de vaporização já está admitido na definição que a pressão é constante (note que poderíamos ter volume constante gerando outro valor). O sistema faz um trabalho sobre o meio na expansão. A diferença é a energia interna

$$\Delta U = Q - W = mL_v - P\Delta V = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^6 - 10^5 \cdot 10^{-3} = 820 \text{ J}$$



**Gabarito: C**

**Questão 62.**

(EN-2013) Uma máquina térmica, funcionando entre as temperaturas de **300 K** e **600 K** fornece uma potência útil,  $P_u$ , a partir de uma potência recebida,  $P_r$ . O rendimento dessa máquina corresponde a  $4/5$  do rendimento máximo previsto pela máquina de Carnot. Sabendo que a potência recebida é de **1200 W**, a potência útil, em watt, é

- a) 300
- b) 480
- c) 500
- d) 600
- e) 960

**Comentários:**

$$P_{\text{útil}} = \frac{4}{5} \left( 1 - \frac{T_f}{T_q} \right) P_r = \frac{4}{5} \left( 1 - \frac{300}{600} \right) 1200 = 480W$$

**Gabarito: B**

**Questão 63.**

(EN-2013) Analise as afirmativas abaixo referentes à entropia.

I - Num dia úmido, o vapor de água se condensa sobre uma superfície fria. Na condensação, a entropia da água diminui.

II - Num processo adiabático reversível, a entropia do sistema se mantém constante.

III - A entropia de um sistema nunca pode diminuir.

IV - A entropia do universo nunca pode diminuir.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas.

- I e II
- II e III
- III e IV
- I, II e III
- I, II e IV

**Comentários:**

I. Correta. Na condensação a entropia sempre diminui (O gás de mesma temperatura sempre tem entropia maior que o líquido).

II. Correto.  $dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$ , como na adiabática  $Q = 0$ , temos  $\Delta S = 0$



III. Incorreto. A entropia de um sistema pode sim diminuir, como ocorre na condensação, mas desde que a entropia da vizinhança aumente e a soma das duas entropias (universo) seja maior ou igual a zero.

IV. Correto. A segunda lei da termodinâmica.

**Gabarito: E**

**Questão 64.**

(EN-2010) Um forno elétrico, que opera na voltagem de **120 V** e corrente elétrica de **15A**, possui rendimento de 80%. No seu interior foram colocados **2,5 litros** de água na temperatura inicial de **39,1°C**. Após 20 minutos, verifica-se que certa quantidade de água se vaporizou. Sabendo que a temperatura de vaporização é de **100° C**, a variação de entropia, em **kJ/ K**, da água durante a vaporização é

Dados:  $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J} \\ c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} \\ L_{\text{vaporiz.}} = 540 \text{ cal/g} \\ \rho_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3 \\ 100^{\circ}\text{C} \equiv 373 \text{ K} \end{array} \right.$

- a) 1,0
- b) 1,5
- c) 2,0
- d) 2,5
- e) 3,0

**Comentários:**

$$Q_{\text{fonte}} = 120 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 60 = 1728 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{sensível}} = 2500 \cdot 4 \cdot (100 - 39,1) = 609 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{latente}} = 1728 - 609 = 1119 \text{ kJ}$$

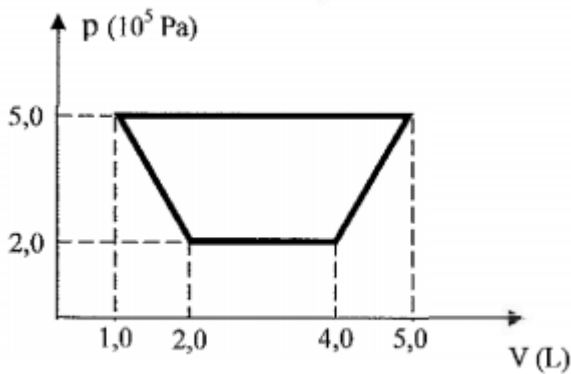
$$\Delta S_{\text{latente}} = \frac{Q_{\text{latente}}}{373} = \frac{3 \text{ kJ}}{\text{K}}$$

**Gabarito: E**

**Questão 65.**

(EN-2008) O diagrama abaixo mostra um ciclo reversível realizado por **1,0 mol** de um gás ideal monoatômico. Uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas mais baixa e mais alta, que ocorrem no ciclo, tem eficiência (rendimento), em porcentagem, de Considere: **R = 8,0 J/mol.K**





- a) 70
- b) 75
- c) 84
- d) 87
- e) 90

**Comentários:**

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{P_f V_f}{P_q V_q} = 1 - \frac{(2 \cdot 2)}{5 \cdot 5} = 84\%$$

**Gabarito: C**

**Questão 66.**

(EN-2008 - ADAPTADA) um projétil de chumbo, de massa igual a 10,0 gramas, está na temperatura de **120K** e se desloca horizontalmente com velocidade de **400m/s** quando se choca com um bloco de massa **390 g**, inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal. Admitindo-se que a energia cinética perdida pelo projétil seja transformada em calor e que 40% deste calor foi absorvido pelo próprio projétil, a variação de entropia (em J/K) do projétil é, aproximadamente, igual a

Dados:

calor específico do chumbo sólido =  **$1,30 \times 10^2 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$**

calor latente de fusão do chumbo =  **$2,50 \times 10^4 \text{ J/kg}$**

temperatura de fusão do chumbo = 600 K ;

conversão:  $0^\circ\text{C} = 273\text{K}$

**$\ln 5 = 1,61$**

- a) 1,2
- b) 2,5
- c) 2,7
- d) 3,1



e) 3,4

**Comentários:**

Pela conservação da quantidade de movimento:

$$m_{\text{projétil}} v_{\text{projétil}} = (m_{\text{projétil}} + m_{\text{bloco}}) v_{\text{sistema}}$$

$$10 \cdot 400 = 400 \cdot v_{\text{sistema}} \rightarrow v_{\text{sistema}} = 10 \text{ m/s}$$

A variação da energia cinética vale:

$$\Delta E = \frac{m_{\text{projétil}} v_{\text{projétil}}^2}{2} - \frac{m_{\text{sistema}} v_{\text{sistema}}^2}{2} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{400^2}{2} - 400 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10^2}{2} = 5010 \text{ J}$$

O calor absorvido vale:

$$Q_{\text{absorvido}} = 0,4 \cdot \Delta E = 780 \text{ J}$$

Dessa forma podemos calcular a quantidade de projétil que derreteu:

$$Q_{\text{absorvido}} = m \cdot c \cdot (600 - 120) + m' \cdot L_f = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 130 \cdot 480 + m' \cdot 25000$$

$$m' = 6,24 \text{ g}$$

Logo:

$$\Delta S_{\text{sensível}} = m \cdot c \cdot \ln \frac{T_f}{T_i} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 130 \cdot \ln \frac{600}{120} = 2,092 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{latente}} = m' \cdot \frac{L_f}{T_f} = 6,24 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{25000}{600} = 0,26 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

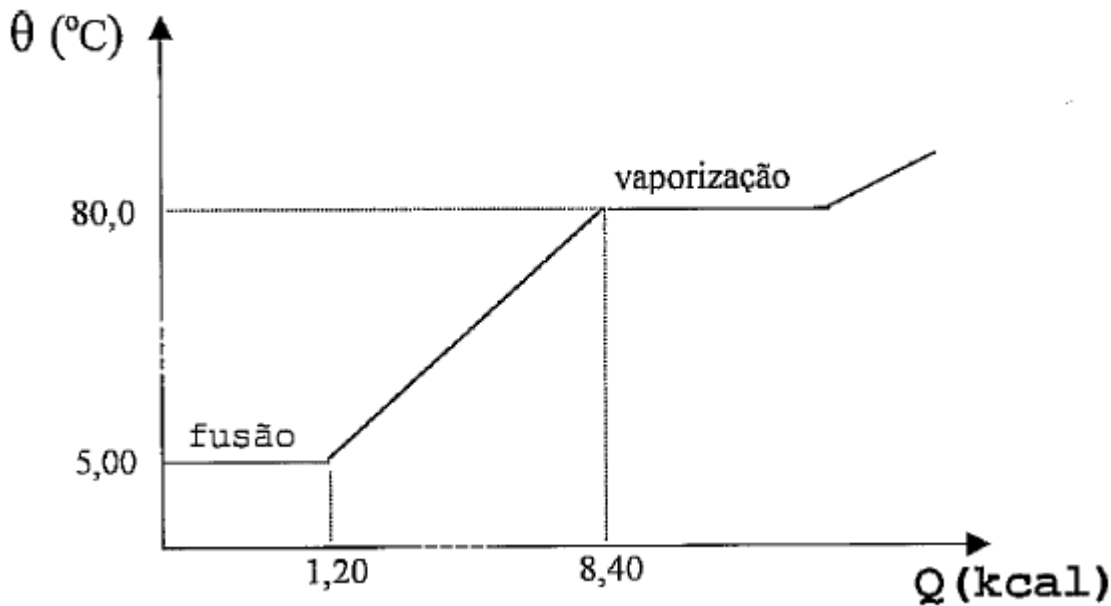
$$\Delta S_{\text{total}} = 3.352 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

**Gabarito: E**

**Questão 67.**

(EN-2007) Um recipiente, contendo uma certa quantidade de uma substância pura sólida, é pendurado em uma mola ideal vertical de constante elástica **20,0 N/m**. Devido ao peso do recipiente e da substância que ele contém, a mola sofre uma deformação de **10,0cm**. Em seguida, fornece-se calor à substância de tal forma que sua temperatura varia conforme o diagrama abaixo. Após toda vaporização da substância, observa-se que a deformação da mola foi reduzida para **4,00 cm**. Calcule a variação de entropia (J/K) da substância na fase líquida.

Dados:  $|\vec{g}| = 10,0 \text{ m/s}^2$ ;  $\ln 2,7726 = 1,02$ ;  $\ln 1,2698 = 0,240$ ;  $\ln 1,3897 = 0,330$ ;  $1 \text{ cal} = 4,00 \text{ J}$



Comentários:

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{7200}{75} = 96 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta S = c \cdot \ln \frac{T_f}{T_i} = 96 \cdot 4 \cdot \ln \frac{353}{278} = 384 \ln 1,2698 = 92,16 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

**Gabarito: 92,16 J/K**

**Questão 68.**

(EN-2006) Uma determinada máquina térmica recebe  $1,25 \cdot 10^3 \text{ J}$  de um reservatório a  $193^{\circ}\text{C}$ . O trabalho fornecido pela máquina é usado para mover isobaricamente, a uma pressão de  $2,00 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , o pistão de um recipiente cilíndrico que contém 12,0 mols de um gás ideal monoatômico. O volume deste gás sofre uma variação de  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  no interior do cilindro, havendo uma rejeição de calor para um reservatório frio. Sabe-se que o rendimento dessa máquina é a metade do rendimento de uma máquina de Carnot operando entre os mesmos reservatórios e que  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ . Calcule

- a temperatura do reservatório frio; e (8 pontos)
- a variação de entropia, em cada ciclo, do sistema (gás) e dos reservatórios. (7 pontos)

Comentários:

A.

$$W = P\Delta V = 2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} = 200 \text{ J}$$

$$\frac{W}{Q_q} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{T_f}{T_q} \right)$$



$$\frac{200}{1250} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{T_f}{466} \right) \rightarrow T_f = 158,44 \text{ K}$$

B. Considerando as transformações reversíveis:

$$\Delta S_{\text{quente}} = -\frac{Q_{\text{quente}}}{T_{\text{quente}}} = -\frac{1250}{466} = -2,68 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

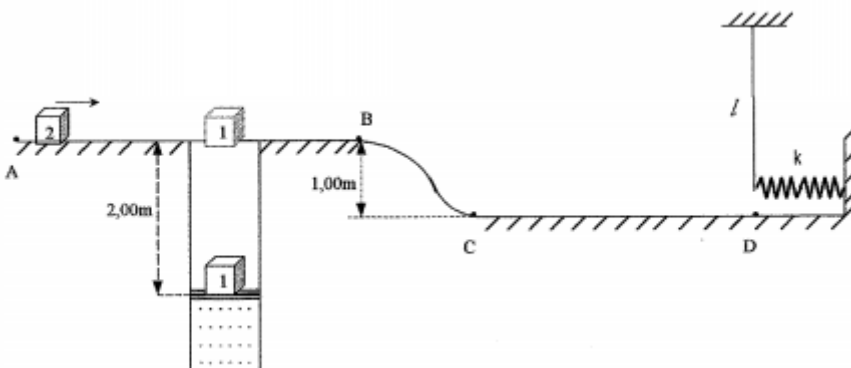
$$\Delta S_{\text{frio}} = \frac{Q_{\text{frio}}}{T_{\text{frio}}} = \frac{1050}{158,44} = 6,63 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = -(\Delta S_{\text{frio}} + \Delta S_{\text{quente}}) = -3,95 \text{ J/K}$$

**Gabarito: A. 158,44 K      B. -3,96 J/K**

**Questão 69.**

(EN-2005) Três mols de um certo gás ideal, cujo calor molar a pressão constante vale  $5,00 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$ , está no interior do cilindro da figura abaixo. O gás recebe calor de uma fonte térmica (não indicada na figura) de tal maneira que a sua temperatura aumenta de  $10,0^\circ\text{C}$ . Ao absorver calor verifica-se que o pistão, adiabático e de massa desprezível, se eleva de 2,00 metros. Sobre o pistão temos o bloco 1 de massa  $m_1 = 20,0 \text{ kg}$ . Considere:  $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$  e  $1,00 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ .



Calcule a variação da energia interna (em joules) do gás. (4 pontos)

**Comentários:**

$$Q = nC_p \Delta T = 3 \cdot 5 \cdot 4,18 \cdot 10 = 627 \text{ J}$$

$$W = P \Delta V = nR \Delta T = 3 \cdot 8,31 \cdot 10 = 249,3 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q - W = 378 \text{ J}$$

**Gabarito: 378 J**

**Questão 70.**

(EN-2005) A Termodinâmica estuda a possibilidade de se aproveitar energia. De acordo com este estudo, resolva os itens:



I) o compartimento de refrigeração de uma geladeira e o seu conteúdo são mantidos a  $7,0^{\circ}\text{C}$  e têm uma capacidade térmica (ou calorífica) média de  $84\text{kJ/K}$ . A geladeira descarrega calor no ambiente a  $27^{\circ}\text{C}$ . Calcule a potência mínima necessária do motor para que a temperatura do compartimento de refrigeração seja reduzida de um grau celsius, em  $1,0$  minuto.(8 pontos)

II) um recipiente termicamente isolado está dividido por uma parede delgada (fina) em duas câmaras iguais. Em uma das câmaras estão doze átomos de um isótopo de um gás ideal e na outra também doze átomos de um outro isótopo do mesmo gás ideal. A parede delgada é removida e os átomos se misturam. Calcule a variação de entropia do sistema, após atingir o equilíbrio termodinâmico, e o trabalho realizado.(7 pontos)

Dados:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ (constante de Boltzmann);  $\ln 4 \cong 1,386$ ;  $\ln 6 \cong 1,792$ .

**Comentários:**

I.

$$Q_q = C\Delta T = 84\text{kJ}$$

$$W = \left(1 - \frac{T_f}{T_q}\right) Q_q = \left(1 - \frac{280}{300}\right) 84 = 5,6 \text{ kJ}$$

$$P = \frac{W}{60} = 93 \text{ W}$$

II.

$$\Delta S = n_{total} R \ln \left(\frac{V_f}{V_i}\right) = 24k \ln 2 = 2,3 \cdot 10^{-22} \text{ J/K}$$

$$W = 0$$

**Gabarito: I. P=93W, II. ΔS=2,3×10-22J/K, W=0**

**Questão 71.**

(EN-2004) Uma máquina de Carnot opera entre duas fontes térmicas, cujas temperaturas absolutas são  $T_1$  e  $T_2$  (Kelvin), sendo  $T_1 > T_2$ . O rendimento da máquina é de 40%, produzindo um trabalho igual a 10J por ciclo. Mantendo-se constante a temperatura da fonte quente  $T_1$ , deseja-se dobrar o rendimento da máquina, alterandose a temperatura da fonte fria.

- Calcule a variação percentual da temperatura  $T_2$  ou seja,  $\left(\frac{\Delta T_2}{T_2}\right)$ . (5 pontos)
- Após o rendimento ter sido dobrado, calcule o calor recebido pela fonte fria, a cada ciclo. (5 pontos).

**Comentários:**

A.

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0,4 \rightarrow T_2 = 0,6T_1$$



$$\eta_2 = 0,8 = 1 - \frac{T'_2}{T_1} \rightarrow T'_2 = 0,2T_1$$

$$\frac{\Delta T_2}{T_2} = -\frac{0,4T_1}{0,6T_1} = -66,7\%$$

B.

$$Q'_f = W \left( \frac{1}{\eta_2} - 1 \right) = 2,5J$$

**Gabarito: A. -66,7%, B. 2,5J**

---

**Questão 72.**

(EFOMM-2020) Uma máquina de Carnot é projetada para operar com 200 W de potência entre fontes de calor de 200 oC e 100 oC. Com base nas características descritas, a quantidade de calor absorvida per essa máquina, a cada segundo, é de aproximadamente

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

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{373}{473} = 21\%$$

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{200}{Q_q} = 0,21$$

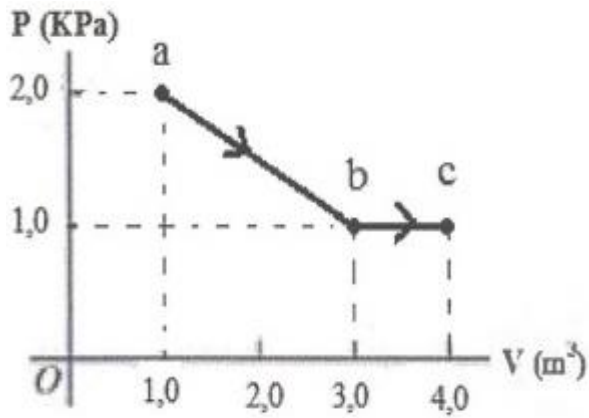
$$Q_q = 950J$$

**Gabarito: E**

---

**Questão 73.**

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



- a) 4000 J
- b) 5000 J
- c) 6000 J
- d) 7000 J
- e) 8000 J

**Comentários:**

$$Q_{AC} = W_{AC} + \Delta U_{AC} = \text{área} + \frac{3}{2} \Delta(PV)_{AC}$$

$$Q_{AC} = \frac{(2 + 1) \cdot (3 - 1)}{2} + 1 \cdot (4 - 3) + \frac{3}{2} (4 \cdot 1 - 2 \cdot 1)$$

$$Q_Q = 7 \text{ kJ}$$

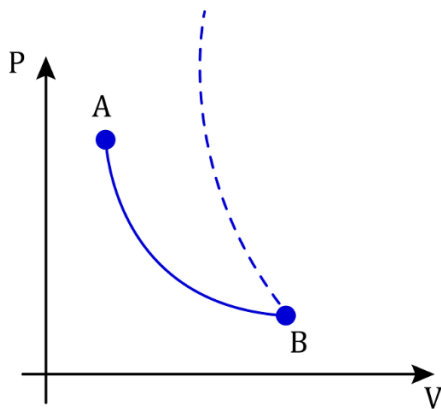
**Gabarito: D**

**Questão 74.**

(EFOMM-2018) Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, seguida de uma compressão adiabática. A variação total da energia interna do gás poderia ser nula se, dentre as opções abaixo, a transformação seguinte fosse uma

- a) compressão isocórica
- b) expansão isocórica
- c) expansão isobárica
- d) compressão isobárica
- e) compressão isotérmica

**Comentários:**

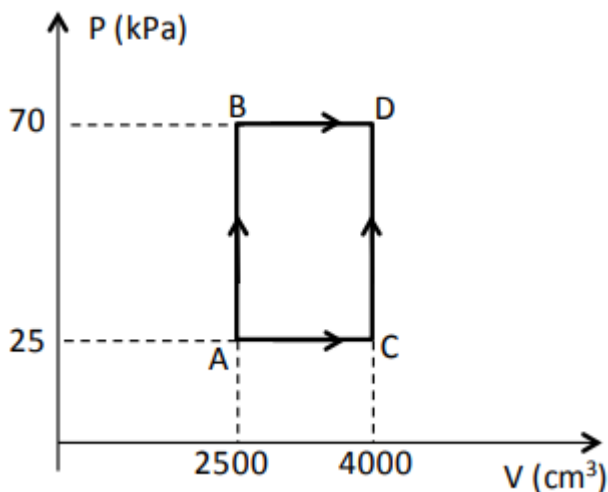


Veja que a adiabática (pontilhada) sempre está na frente da isotérmica (contínua), logo para voltar ao estado inicial precisamos de uma compressão. Uma compressão isocórica é uma reta vertical, que nunca chegará na isotérmica. Uma compressão isotérmica não mudaria a temperatura, e como a temperatura da adiabática é diferente da de A ou B, isso é impossível. Uma compressão isobárica é uma reta horizontal. É possível que essa reta chegue em A, desde que a adiabática termine na mesma pressão de A.

**Gabarito: D**

**Questão 75.**

(EFOMM-2016) O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD será igual a



- a) 105
- b) 250
- c) 515
- d) 620
- e) 725





**Comentários:**

$$Q_{AD} = W_{AD} + \Delta U_{AD}$$

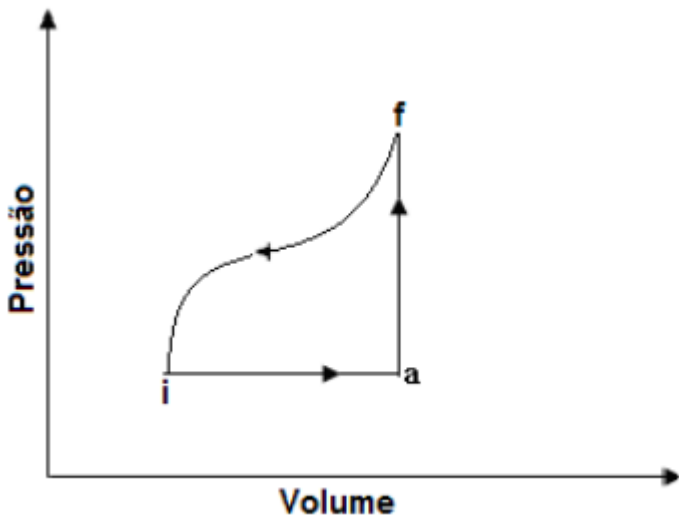
$$120 + 500 = 70 \cdot (4000 - 2500) \cdot 10^{-3} + \Delta U_{AD}$$

$$\Delta U_{AD} = 515 \text{ J}$$

**Gabarito: C**

**Questão 76.**

(EFOMM-2014) Um gás ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O sistema é levado do estado inicial (i) para o estado final (f) ao longo da trajetória indicada. Considere  $E_i = 5 \text{ cal}$  e que para o percurso i-a-f  $Q = 13 \text{ cal}$  e  $W = 3 \text{ cal}$ . Sabendo que, no percurso de f até i, o trabalho realizado é igual a 7 cal, o calor transferido para essa trajetória é igual a



- a) -3 cal.
- b) 10 cal.
- c) 17 cal.
- d) -17 cal.
- e) -10 cal.

**Comentários:**

A energia interna de um ciclo é nula, logo:

$$Q_{iaf} - W_{iaf} + Q_{fi} - W_{fi} = 0$$

$$13 - 3 + Q_{fi} - (-7) = 0$$

$$Q_{fi} = -17 \text{ cal}$$

**Gabarito: D**

**Questão 77.**



(EFOMM-2014) Um gás monoatômico ideal sofre uma expansão, realizando um trabalho de 200J. O gás foi submetido aos seguintes processos: isobárico e adiabático. A energia interna e o calor fornecido ao gás para cada processo valem, respectivamente,

- a) 300 J e 500 J; -200 J e 0.
- b) 200 J e 400 J; 300 e 100 J.
- c) 100 J e 300 J; 0 e 300 J.
- d) 500 J e - 200 J; - 300 J e 0.
- e) 300 J e -200 J; 0 e 200 J.

**Comentários:**

Para o processo isobárico:

$$\Delta U = nC_v\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(PV) = \frac{3}{2} \cdot 200 = 300 J$$

$$Q = \Delta U + W = 500 J$$

No processo adiabático: cesso adiabático:

$$Q = 0$$

$$\Delta U = -W = -200 J$$

**Gabarito: A**

---

**Questão 78.**

(EFOMM-2013) Certa máquina térmica opera segundo o ciclo de Carnot. Em cada ciclo completado, o trabalho útil fornecido pela máquina é 1500 J. Sendo as temperaturas das fontes térmicas 150,0oC e 23,10oC, o calor recebido da fonte quente em cada ciclo, em joules, vale

- a) 2500
- b) 3000
- c) 4500
- d) 5000
- e) 6000

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{296,1}{423} = 0,3$$

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{1500}{Q_q} = 0,3$$

$$Q_q = 5000 J$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 79.**

(EFOMM-2012) Em certo processo termodinâmico, 500 g de água são aquecidos de 20,0oC a 80,0oC e, ao mesmo tempo, é realizado um trabalho de 3,20.105J sobre o sistema. A variação de energia interna, em kJ, é:

Dado: calor específico da água = 4,20 kJ/kg°C.

- a) 194
- b) 236
- c) 386
- d) 446
- e) 586

**Comentários:**

$$Q = mc\Delta T = 500 \cdot 4,2 \cdot 60 = 126 \text{ kJ}$$

$$W = -320 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = Q - W = 126 + 320 = 446 \text{ kJ}$$

**Gabarito: D**

---

**Questão 80.**

(EFOMM-2011) Em relação aos conceitos de calor e de temperatura, é correto afirmar que

- a) o calor é energia em trânsito e a temperatura é a medida do calor.
- b) a temperatura e o calor são medidos da agitação molecular.
- c) o calor é a variação da temperatura, e a temperatura é o grau da agitação molecular.
- d) a temperatura é a variação do calor, e o calor é a energia em trânsito.
- e) o calor é energia em trânsito e a temperatura é a medida da agitação molecular.

**Comentários:**

Calor: Energia em trânsito

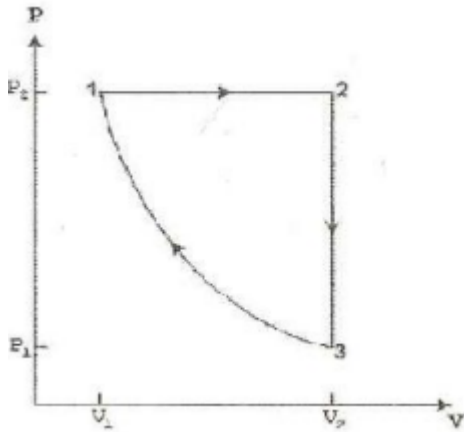
Temperatura: Uma medida para o grau de agitação molecular

**Gabarito: E**

---

**Questão 81.**

(EFOMM-2011) Observe a figura a seguir.



Um gás ideal sofre uma transformação descrita pelo ciclo  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ , ilustrado no gráfico PV acima, sendo que no trecho  $3 \rightarrow 1$  o gás sofre uma compressão adiabática. Considere  $U_1$ ,  $U_2$ , e  $U_3$  as energias internas do gás em 1, 2 e 3, respectivamente. Nessas condições, analise as afirmativas abaixo.

- I. No trecho  $3 \rightarrow 1$  não há troca de calor entre o gás e o meio ambiente.
- II. O trabalho realizado pelo gás no trecho  $2 \rightarrow 3$  é igual a  $U_3 - U_2$ .
- III. O trabalho realizado sobre o gás no trecho  $3 \rightarrow 1$  é igual a  $U_1 - U_3$ .
- IV. O trabalho realizado pelo gás no trecho  $1 \rightarrow 2$  é igual a  $U_2 - U_1$ .

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- e) Apenas as afirmativas III e IV são verdadeiras.

**Comentários:**

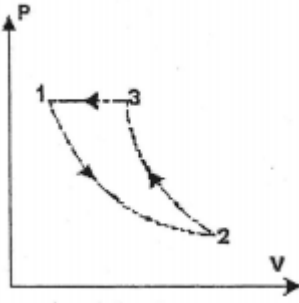
- I. Correta. Em transformações adiabáticas temos  $Q=0$
- II. Incorreta. O trabalho em 2-3 é zero.
- III. Correta.  $Q = 0 \rightarrow \Delta U = -W$  (como é negativo é o trabalho sobre esse gás)
- IV. Incorreta. Em 1-2 temos  $W = P\Delta V$  e  $\Delta U = nC_v\Delta T = \left(\frac{C_v}{R}\right) W$

Além disso, como  $C_v > R, \Delta U > W$

**Gabarito: C**

**Questão 82.**

(EFOMM-2010) Observe a figura a seguir.



Uma certa massa de gás ideal encontra-se inicialmente no estado termodinâmico 1, indicado no diagrama PV acima. Em seguida, essa massa gasosa sofre uma expansão isotérmica até atingir o estado 2, logo depois uma compressão adiabática até o estado 3 e retornando ao estado 1 através de uma compressão isobárica. Sobre a série de transformações, pode-se dizer que,

- na transformação isotérmica, o gás sofreu um aumento da sua energia interna.
- na transformação adiabática, o gás realizou trabalho sobre o meio ambiente.
- na transformação isobárica, o meio ambiente realizou trabalho sobre o gás.
- ao completar o ciclo, o gás teve um aumento de calor.
- ao completar o ciclo, o gás teve uma redução da sua energia interna.

**Comentários:**

- Incorreta. Se não há variação de temperatura, não há de se falar em variação de energia interna
- Incorreta. Como o gás diminui o volume, e gás sofre trabalho
- Correta. Como o gás diminui o volume, o gás sofre trabalho
- Incorreta. Ninguém aumenta ou diminui calor, calor é uma energia de transição
- Incorreta. Em um ciclo a variação da energia interna é 0

**Gabarito: C**

**Questão 83.**

(EFOMM-2009) Os motores de combustão interna são máquinas térmicas nas quais o sistema de refrigeração é muito importante pois, caso falhe, pode provocar a parada total do funcionamento dessas máquinas. Com relação a isso, pode-se afirmar que a refrigeração tem como principal objetivo

- manter a temperatura interna sob controle, evitando a dilatação exagerada dos componentes envolvidos.
- diminuir bruscamente a temperatura interna para que os componentes não sofram desgaste.
- diminuir a temperatura interna para produzir um melhor aproveitamento na queima do combustível.
- manter o calor interno sob controle, evitando com isso o desgaste dos componentes envolvidos.



e) manter constantes o calor interno e a dilatação dos componentes envolvidos para evitar desgastes.

**Comentários:**

O sistema de refrigeração (arrefecimento) de motores térmicos tem como objetivo principal fazer com que as peças não derretam ou sofram dilatação exagerada. Os motores térmicos trabalham com temperaturas muito altas, principalmente por causa das combustões. Como o exercício comentou, o derretimento ou dilatação pode causar a parada total nas máquinas.

**Gabarito: A**

**Questão 84.**

(EFOMM-2008) Seja um cilindro de aço de dimensões internas, altura 95cm e raio da base 9 cm, utilizado em uma experiência de laboratório, na qual um êmbolo comprime certo volume de gás a 1/9 do seu valor inicial, mantendo-se constante a pressão em 5 atm. O trabalho realizado sobre o gás comprimido, em joules, é, aproximadamente,

- a) 14456
- b) 13555
- c) 12721
- d) 11432
- e) 10884

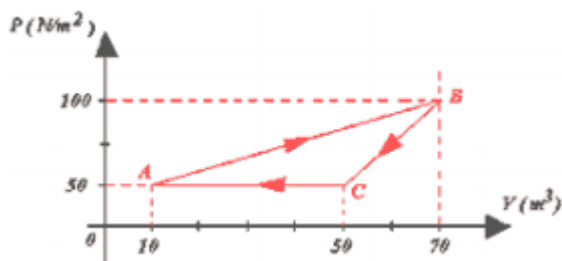
**Comentários:**

$$W = P\Delta V = 5 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{8}{9} \cdot 95 \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot 9^2 \cdot 10^{-4} \right) = 10744 \text{ J}$$

**Gabarito: E**

**Questão 85.**

(EFOMM-2007)



A figura acima representa um diagrama PV que descreve o ciclo de um gás monoatômico. Sobre a variação de energia interna desse gás e a quantidade de calor, pode-se afirmar que seus valores em Joule valem, respectivamente,

- a) 0 , +5,00. 10<sup>2</sup>
- b) 0 , - 5,00. 10<sup>2</sup>
- c) 0 , +1,00. 10<sup>3</sup>



d)  $+70, -1, 00 \cdot 10^3$

e)  $+5, 00 \cdot 10^3, +1, 00 \cdot 10^3$

**Comentários:**

Em um ciclo  $\Delta U = 0$  e  $W = Q = \text{área}$

Logo:

$$Q = \frac{(50 - 10) \cdot (100 - 50)}{2} = 1000 \text{ J}$$

**Gabarito: C**

---

**Questão 86.**

(EFOMM-2005) Uma máquina de Carnot possui rendimento de 80% e a temperatura da fonte fria é de  $-173^\circ \text{C}$ . Para que essa máquina desenvolva potência útil de 300 W, a potência e a temperatura da fonte quente deverão, ser respectivamente:

a) 370 W e 400 K

b) 370 W e 300 K

c) 375 W e 500 K

d) 375 W e 400 K

e) 270 W e 600 K

**Comentários:**

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{100}{T_q} = 0,8 \rightarrow T_q = 500 \text{ K}$$

$$1 - \frac{T_f}{T_q} = \frac{W}{Q} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{quente}}}$$

$$0,8 = \frac{300}{P_{\text{quente}}}$$

$$P_{\text{quente}} = 375 \text{ W}$$

**Gabarito: C**

---



## Nível 3

### Questão 1.

(ITA-2020 – 1ª Fase) Uma certa quantidade de gás com temperatura inicial  $T_0$ , pressão  $P_0$  e volume  $V_0$ , é aquecida por uma corrente elétrica que flui por um fio de platina num intervalo de tempo  $\Delta t$ . Esse procedimento é feito duas vezes: primeiro, com volume constante  $V_0$  e pressão variando de  $P_0$  para  $P_1$  e, a seguir, com pressão constante  $P_0$  e volume variando de  $V_0$  para  $V_1$ . Assinale a alternativa que explicita a relação  $C_p/C_v$  do gás.

- a)  $\frac{\frac{P_0-1}{P_1-1}}{\frac{V_0-1}{V_1-1}}$
- b)  $\frac{\frac{P_1-1}{P_0}}{\frac{V_1-1}{V_0}}$
- c)  $\frac{\frac{2P_0-1}{P_1}}{\frac{V_0-1}{V_1}}$
- d)  $\frac{\frac{2P_1-1}{P_0}}{\frac{V_1-1}{V_0}}$
- e)  $\frac{\frac{P_1-1}{P_0}}{\frac{2V_1-1}{V_0}}$

### Comentários:

À volume constante:

$$Q_v = nC_v\Delta T = \frac{C_v}{R} \cdot nR\Delta T = \frac{C_v}{R} \cdot \Delta(PV) = \frac{C_v}{R} \cdot (P_1 - P_0)V_0$$

À pressão constante:

$$Q_p = nC_p\Delta T = \frac{C_p}{R} \cdot nR\Delta T = \frac{C_p}{R} \cdot \Delta(PV) = \frac{C_p}{R} \cdot P_0(V_1 - V_0)$$

Igualando:

$$\frac{C_v}{R} \cdot (P_1 - P_0)V_0 = \frac{C_p}{R} \cdot P_0(V_1 - V_0)$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{(P_1 - P_0)V_0}{P_0(V_1 - V_0)}$$

Dividindo tudo por  $P_0V_0$ :

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{P_1}{P_0} - 1}{\frac{V_1}{V_0} - 1}$$

**Gabarito: B**





**Questão 2.**

(ITA-2020 – 1ª Fase) Considere um sistema de três máquinas térmicas  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$  acopladas, tal que o rejeito energético de uma é aproveitado pela seguinte. Sabe-se que a cada ciclo,  $M_1$  recebe 800 kJ de calor de uma fonte quente a 300 K e rejeita 600 kJ, dos quais 150 kJ são aproveitados por  $M_2$  para realização de trabalho. Por fim,  $M_3$  aproveita o rejeito de  $M_2$  e descarta 360 kJ em uma fonte fria a 6 K. São feitas as seguintes afirmações:

- I. É inferior a 225 K a temperatura da fonte fria de  $M_1$ .
- II. O rendimento do sistema é de 55%.
- III. O rendimento do sistema corresponde a 80% do rendimento de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.

Conclui-se então que

- a) Somente a afirmação I está incorreta.
- b) Somente a afirmação II está incorreta.
- c) Somente a afirmação III está incorreta.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) As afirmações I e III estão incorretas.

**Comentários:**

I. Correta

$$\eta_{M_1} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} < \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$1 - \frac{600}{800} < 1 - \frac{T_f}{300}$$

$$T_f < 225 \text{ K}$$

II. Correta

$$W_1 = 800 - 600 = 200 \text{ kJ}$$

$$W_2 = 150 \text{ kJ}$$

$$W_3 = 450 - 360 = 90 \text{ kJ}$$

$$\eta_{sistema} = \frac{W_{total}}{Q_{Q1}} = \frac{440}{800} = 55\%$$

III. Incorreta

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{f3}}{T_{q1}} = 1 - \frac{6}{300} = 98\%$$

$$\frac{\eta_{sistema}}{\eta_{Carnot}} = 56\%$$

**Gabarito: C**



**Questão 3.**

(ITA-2020 – 2ª Fase) De uma altura de **52,5 m** á solto um frasco indeformável contendo um gás monoatômico formado de partículas com massa de  $4,20 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ , e de calor específico a volume constante igual a  $1,25 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ . Ao atingir o solo, a energia cinética do sistema é dissipada na forma de calor no próprio gás. Para uma temperatura inicial do gás de  $16^\circ\text{C}$ , determine a variação da velocidade quadrática média das partículas do gás devido à queda. Se necessário, use a aproximação binomial  $(1 + x)^n \sim 1 + nx$ , para  $|x| \ll 1$ . Desconsidere a massa do frasco.

**Comentários:**

Para uma partícula:

$$mgH = mC_v\Delta T$$

$$T' = T + \frac{gH}{C_v}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$v'_{rms} = \sqrt{\frac{3kT'}{m}} = \sqrt{\frac{3kT}{m} + \frac{3kgH}{mC_v}}$$

Como  $T \gg \frac{gH}{C_v}$ :

$$v'_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \sqrt{1 + \frac{gH}{C_v T}} \sim v_{rms} \left(1 + \frac{gH}{2C_v T}\right)$$

$$\Delta v_{rms} \sim v_{rms} \cdot \left(\frac{gH}{2C_v T}\right) = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \frac{gH}{2C_v T} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,4 \cdot 10^{-23} \cdot 289}{4,20 \cdot 10^{-27}}} \cdot \frac{10 \cdot 52,5}{2 \cdot 1250 \cdot 4,2 \cdot 289}$$

$$= \frac{1700 \cdot 525}{250 \cdot 42 \cdot 289} = \frac{210}{42 \cdot 17} = \frac{5}{17} = 0,29 \text{ m/s}$$

**Gabarito: 0,29 m/s**

**Questão 4.**

(ITA-1992) Uma certa quantidade de gás expande-se adiabaticamente e quase estaticamente desde uma pressão inicial de **2,0 atm** e volume de **2,0 litros**, na temperatura de  $21^\circ\text{C}$  até atingir o dobro de seu volume. Sabendo-se que para este gás  $\gamma = C_p/C_v = 2,0$ , pode-se afirmar que a pressão final e a temperatura final são, respectivamente:

- a) **0,5 atm** e **10,5 °C**.
- b) **0,5 atm** e **-126 °C**.
- c) **2,0 atm** e **10,5 °C**.



- d)  $2,0 \text{ atm}$  e  $-126 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
e) nenhuma das anteriores.

**Comentários:**

Para uma transformação adiabática temos a seguinte relação:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma \quad (\text{eq. 1})$$

Em que  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ . Utilizando a equação dos gases ideais, temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

Substituindo a pressão na expressão acima, temos:

$$\frac{n \cdot R \cdot T_1}{V_1} \cdot V_1^\gamma = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V_2} \cdot V_2^\gamma \Rightarrow T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1} \quad (\text{eq. 2})$$

Substituindo os valores na equação (1), vem:

$$2 \cdot 2^2 = P_2 \cdot 4^2 \Rightarrow P_2 = 0,5 \text{ atm}$$

Substituindo os valores na equação (2), temos que:

$$294 \cdot 2^{2-1} = T_2 \cdot 4^{2-1} \Rightarrow T_2 = 147 \text{ K} \Rightarrow \boxed{T_2 = -126 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**Gabarito: B**

**Questão 5.**

(ITA-1992) Considere as afirmações a seguir:

- I. A energia interna de um gás ideal depende só da pressão.
- II. Quando um gás passa de um estado 1 para outro estado 2, o calor trocado é o mesmo qualquer que seja o processo.
- III. Quando um gás passa de um estado 1 para outro estado 2, a variação da energia interna é a mesma qualquer que seja o processo.
- IV. Um gás submetido a um processo quase estático não realiza trabalho.
- V. O calor específico de uma substância não depende do processo como ela é aquecida.
- VI. Quando um gás ideal recebe calor e não há variação de volume, a variação da energia interna é igual ao calor recebido.
- VII. Numa expansão isotérmica de um gás ideal o trabalho realizado é sempre menor que o calor absorvido.

As duas afirmações corretas são:

- a) II e III.
- b) III e IV.
- c) III e V.
- d) I e VII.



e) III e VI.

**Comentários:**

I) FALSO. A energia inteira de um gás ideal só depende da temperatura.

II) FALSO. O calor não é uma função de estado e, portanto, depende do caminho realizado no processo.

III) CORRETO. A energia interna é uma função de estado e, portanto, só depende dos estados final e inicial.

IV) FALSO. Um processo quase estático pode ser aproximado por um processo reversível, sem nenhuma relação com o trabalho realizado.

V) FALSO. O calor específico depende do processo a ser realizado. Se o processo for a volume constante temos o  $C_V$  e se for a pressão constante temos o  $C_P$ .

VI) CORRETO. Quando não há variação de volume, o trabalho é nulo e, portanto, a variação da energia interna é igual ao calor trocado com o meio.

VII) FALSO. Em uma transformação isotérmica ( $\Delta U=0$ ) o trabalho é igual ao calor trocado, pois segundo a primeira lei da termodinâmica temos:

$$\Delta U = Q_{entra} - \tau_{pelo} \Rightarrow Q_{entra} = \tau_{pelo}$$

**Gabarito: E**

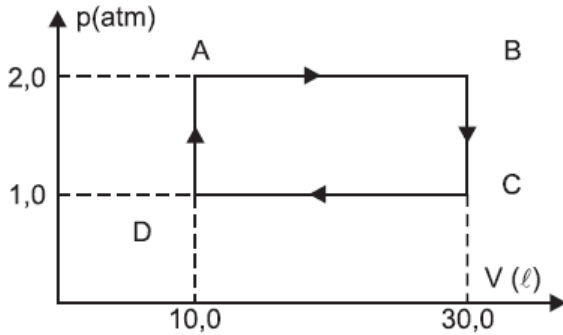
**Questão 6.**

(ITA-1992) Um mol de gás ideal sofre uma série de transformações e passa sucessivamente pelos estados  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ , conforme o diagrama  $pV$  a seguir, onde  $T_A = 300 K$ . Pode-se afirmar que a temperatura em cada estado, o trabalho líquido realizado no ciclo e a variação de energia interna no ciclo são, respectivamente:

	$T_A(K)$	$T_B(K)$	$T_C(K)$		$T_D(K)$	$\Delta W (atm \cdot l)$	$\Delta U (J)$
a)	300	900	450		150	20,0	0
b)	300	900	450		150	-20,0	0
c)	300	450	900		150	20,0	0
d)	300	900	450		150	60,0	40
e)	300	450	900		300	80,0	60

**Comentários:**

O diagrama da questão é o seguinte:



A transformação AB – pressão constante:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \quad \frac{10}{300} = \frac{30}{T_B} \Rightarrow T_B = 900 \text{ K}$$

A transformação BC – volume constante:

$$\frac{P_C}{T_C} = \frac{P_B}{T_B} \quad \frac{1}{T_C} = \frac{2}{900} \Rightarrow T_C = 450 \text{ K}$$

A transformação CD – pressão constante:

$$\frac{V_C}{T_C} = \frac{V_D}{T_D} \quad \frac{30}{450} = \frac{10}{T_D} \Rightarrow T_D = 150 \text{ K}$$

O Trabalho de um ciclo termodinâmico é:

Módulo da área interna ao ciclo, se o ciclo estiver no sentido horário

O negativo do módulo da área interna ao ciclo, se o ciclo estiver no sentido anti-horário.

Como o ciclo está no sentido horário temos:

$$\tau = |(30 - 10)L \cdot (2 - 1)\text{atm}| = 20 \text{ atm} \cdot L$$

Em um ciclo fechado, levando em consideração que a energia interna é uma função de estado (só depende do início e fim), a variação de energia interna é nula.

**Gabarito: A**

### Questão 7.

(ITA-1994) Aquecendo-se lentamente  $2 \text{ mols}$  de um gás perfeito ele passa do estado  $p_0, V_0$  ao estado  $3p_0, 3V_0$ . Se o gráfico da pressão versus volume é uma reta, a dependência da temperatura com o volume e o trabalho realizado pelo gás nesse processo serão respectivamente:

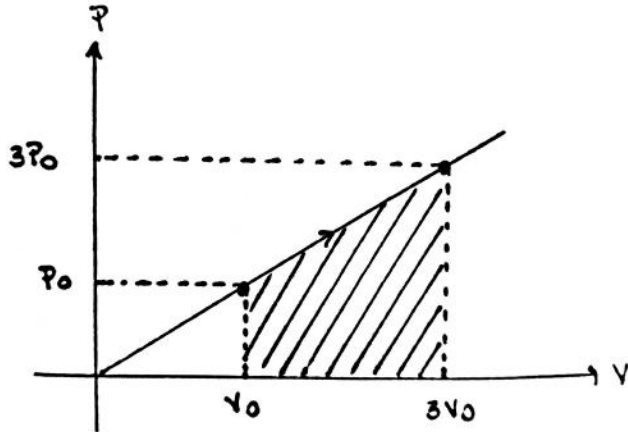
- a)  $T = (p_0 V^2)/(V_0 R)$ ;  $\tau = 9,0V_0 p_0$ .
- b)  $T = (p_0 V^2)/(2V_0 R)$ ;  $\tau = 4,0V_0 p_0$ .
- c)  $T = (p_0 V^2)/(2V_0 R)$ ;  $\tau = 2,0V_0 p_0$ .
- d)  $T = (p_0 V_0)/R$ ;  $\tau = 2,0V_0 p_0$ .
- e)  $T = (p_0 V^2)/(V_0 R)$ ;  $\tau = 4,5V_0 p_0$ .



**Comentários:**

Como o volume varia linearmente com a pressão, podemos construir a seguinte reta:

$$P = \frac{P_0}{V_0} \cdot V$$



Da equação dos gases ideais  $P \cdot V = 2 \cdot R \cdot T$ , podemos isolar a pressão e substituir na reta acima:

$$\frac{2 \cdot R \cdot T}{V} = \frac{P_0}{V_0} \cdot V \Rightarrow T = \frac{(P_0 \cdot V^2)}{2 \cdot V_0 \cdot R}$$

O Trabalho é dado pela área hachurada na figura acima: Área do trapézio

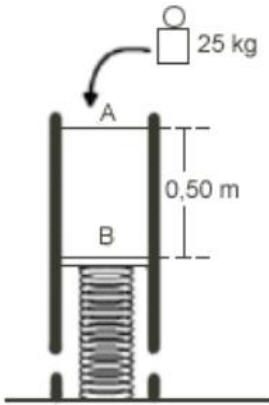
$$\tau = \frac{(3V_0 - V_0)(P_0 + 3P_0)}{2} = 4 \cdot P_0 \cdot V_0$$

$$\tau = 4 \cdot P_0 \cdot V_0$$

**Gabarito: B**

**Questão 8.**

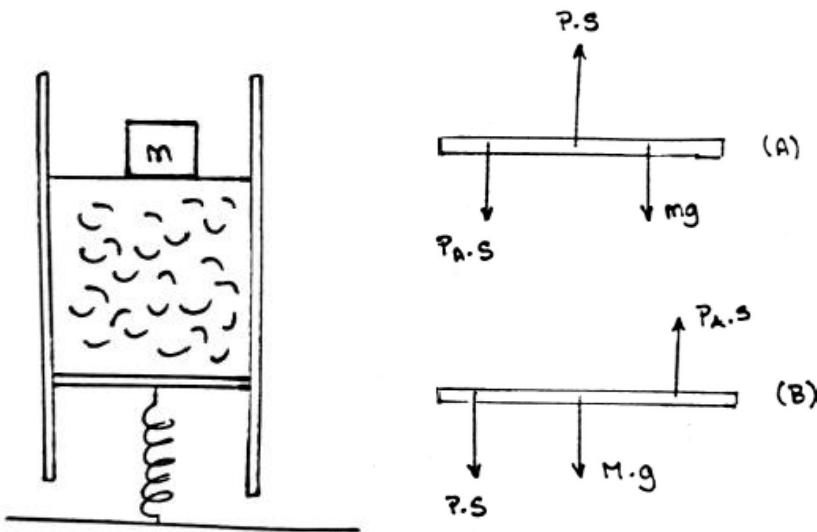
(ITA-1995) A figura mostra um tubo cilíndrico com secção transversal constante de área  $S = 1,0 \cdot 10^{-2} m^2$  aberto nas duas extremidades para a atmosfera cuja pressão é  $P_a = 1,0 \cdot 10^5 Pa$ . Uma certa quantidade de gás ideal está aprisionada entre dois pistões **A** e **B** que se movem sem atrito. A massa do pistão **A** é desprezível e a do pistão **B** é  $M$ . O pistão **B** está apoiado numa mola de constante  $k = 2,5 \cdot 10^3 N/m$  e a aceleração da gravidade  $g = 10 m/s^2$ . Inicialmente, a distância de equilíbrio entre os pistões é de  $0,50 m$ . Uma massa de  $25 kg$  é colocada vagarosamente sobre **A**, mantendo-se constante a temperatura. O deslocamento do pistão **A** para baixo, até a nova posição de equilíbrio, será:



- a) 0,40 m.
- b) 0,10 m.
- c) 0,25 m.
- d) 0,20 m.
- e) 0,50 m.

**Comentários:**

Inicialmente o gás se encontra à pressão de 1 atm. Na situação final de equilíbrio a pressão será:



$$P = P_0 + \frac{F}{S} = 10^5 + \frac{250}{0,01} = 1,25 \text{ atm}$$

O gás sofre uma transformação isotérmica:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_2} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow 1 \cdot S \cdot 50(\text{cm}) = 1,25 \cdot S \cdot h(\text{cm}) \Rightarrow h = 40 \text{ cm}$$

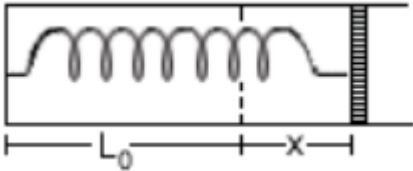
Com a carga de 25 kg o pistão desce 10 cm. Deste modo, o pistão A terá descido 20 cm.

**Gabarito: D**



**Questão 9.**

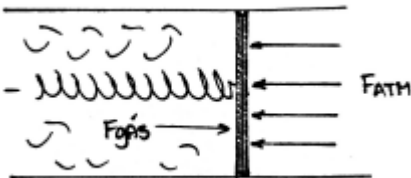
(ITA - 1997) Um mol de gás perfeito está contido em um cilindro de seção  $S$  fechado por um pistão móvel, ligado a uma mola de constante elástica  $k$ . Inicialmente, o gás está na pressão atmosférica  $P_0$ , temperatura  $T_0$ , e o comprimento do trecho do cilindro ocupado pelo gás é  $L_0$ , com a mola não estando deformada. O sistema gás-mola é aquecido e o pistão se desloca de uma distância  $x$ . Denotando a constante de gás por  $R$ , a nova temperatura do gás é:



- a)  $T_0 + \frac{x}{R} (P_0 S + kL_0)$
- b)  $T_0 + \frac{L_0}{R} (P_0 S + kx)$
- c)  $T_0 + \frac{x}{R} (P_0 S + kx)$
- d)  $T_0 + \frac{kx}{R} (L_0 S + x)$
- e)  $T_0 + \frac{x}{R} (P_0 S + kL_0 + kx)$

**Comentários:**

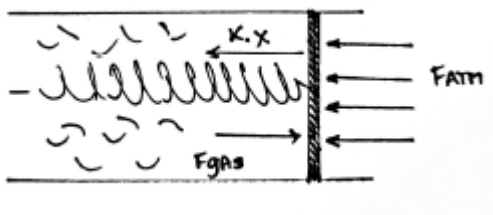
No início só há duas forças atuando sobre o embolo. Veja figura abaixo.



Do equilíbrio das forças:

$$F_{GÁS} = F_{ATM} \Rightarrow P_{GÁS} \cdot S = P_{ATM} \cdot S \Rightarrow P_0 = \frac{RT_0}{S \cdot L_0} \quad (eq. 1)$$

Na situação final temos:



$$Kx + F_{ATM} = F_{GÁS} \Rightarrow Kx + P_0 \cdot S = \frac{R \cdot T \cdot S}{(L_0 + x) \cdot S} \quad (eq. 2)$$

Das equações (1) e (2) temos:





$$T = T_0 + \frac{x}{R} (P_0 \cdot S + K \cdot L_0 + K \cdot x)$$

**Gabarito: E**

**Questão 10.**

(ITA - 2001) Um centímetro cúbico de água passa a ocupar  $1671 \text{ cm}^3$  quando evaporado à pressão de  $1,0 \text{ atm}$ . O calor de vaporização a essa pressão é de  $539 \text{ cal/g}$ . O valor que mais se aproxima do aumento de energia interna da água é:

- a) 498 J.
- b) 2082 cal.
- c) 498 J.
- d) 2082 J.
- e) 2424 J.

**Comentários:**

Temos da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ g\acute{a}s}$ ):

$$Q = \Delta U + \tau \Rightarrow m \cdot L = \Delta U + P \cdot \Delta V$$

$$V_{\acute{A}GUA} \cdot d \cdot L = \Delta U + P_{ATM} \cdot (V_{\acute{A}GUA-F} - V_{\acute{A}GUA-i})$$

$$(10^{-6}) \cdot (1000) \cdot (539 \cdot 4,18 \cdot 10^3) \text{ J} = \Delta U + 10^5 \cdot (1671 - 1) \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$\Delta U \cong 2086 \text{ J} \cong 498 \text{ cal}$$

**Gabarito: A**

**Questão 11.**

(ITA - 2002) Uma máquina térmica reversível opera entre dois reservatórios térmicos e temperaturas  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $127 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, gerando gases aquecidos para acionar uma turbina. A eficiência dessa máquina é melhor representada por:

- a) 68%.
- b) 6,8%.
- c) 0,68%.
- d) 21%.
- e) 2,1%.

**Comentários:**

O rendimento de uma máquina térmica reversível é dado por:

$T_C$  – temperatura do reservatório frio

$T_H$  – temperatura do reservatório quente

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{373}{400} = \frac{400 - 373}{400} \cong 6,8\%$$



$$\eta = 6,8\%$$

**Gabarito: B**

**Questão 12.**

(ITA-2003) Considerando um buraco negro como um sistema termodinâmico, sua energia interna  $U$  varia com a sua massa  $M$  de acordo com a famosa relação de Einstein:

$$\Delta U = \Delta M \cdot c^2$$

Stephen Hawking propôs que a entropia  $S$  de um buraco negro depende apenas de sua massa e de algumas constantes fundamentais da natureza. Desta forma, sabe-se que uma variação de massa acarreta uma variação de entropia dada por:

$$\frac{\Delta S}{\Delta M} = \frac{8\pi G M k_B}{hc}$$

Supondo que não haja realização de trabalho com a variação de massa, assinale a alternativa que melhor representa a temperatura absoluta  $T$  do buraco negro.

- a)  $T = hc^3 / GMk_B$ .
- b)  $T = 8\pi M c^2 / k_B$ .
- c)  $T = M c^2 / 8\pi k_B$ .
- d)  $T = hc^3 / 8\pi G M k_B$ .
- e)  $T = 8\pi hc^3 / GMk_B$ .

**Comentários:**

Para transformações isotérmicas, a variação de entropia é dada por:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \text{ (eq. 1)}$$

Pela primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), temos:

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

Como não há realização de trabalho temos:

$$Q = \Delta U = \Delta M \cdot c^2 \text{ (eq. 2)}$$

Substituindo equação (2) em equação (1):

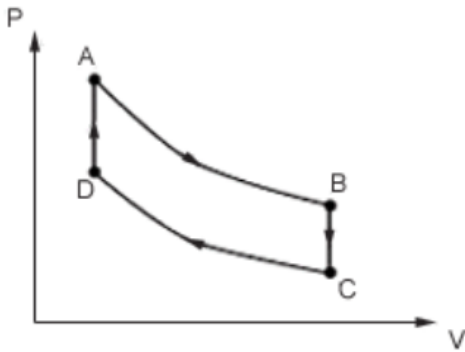
$$T = \frac{c^2}{\frac{\Delta S}{\Delta M}} = hc^3 / 8\pi G M k_B$$

$$\boxed{T = hc^3 / 8\pi G M k_B}$$

**Gabarito: D**

**Questão 13.**

(ITA-2003) Uma certa massa de gás ideal realiza o ciclo ABCD de transformações, como mostrado no diagrama pressão x volume da figura. As curvas AB e CD são isotermas. Pode-se afirmar que:



- a) o ciclo ABCD corresponde a um ciclo de Carnot.
- b) o gás converte trabalho em calor ao realizar o ciclo.
- c) nas transformações AB e CD o gás recebe calor.
- d) nas transformações AB e BC a variação da energia interna do gás é negativa.
- e) na transformação DA o gás recebe calor, cujo valor é igual à variação da energia interna.

**Comentários:**

- a) FALSO. Na transformação de Carnot há duas isotermas e duas adiabáticas.
- b) FALSO. O diagrama representa uma máquina térmica que por definição converte calor em trabalho.
- c) FALSO. Na transformação CD o gás cede calor.
- d) FALSO. Na transformação AB (isotérmica) a variação de energia interna é nula.
- e) CORRETO. O trabalho neste processo é nulo e, portanto, pela primeira lei da termodinâmica, (sendo  $\Delta U > 0$ ) o gás recebe calor.

**Gabarito: E**

**Questão 14.**

(ITA-2003) Calcule a variação de entropia quando, num processo à pressão constante de **1,0 atm**, se transforma integralmente em vapor **3,0 kg** de água que se encontra inicialmente no estado líquido, à temperatura de 100 °C.

Dado: calor de vaporização da água:  $L_v = 5,4 \cdot 10^5 \text{ cal/kg}$ .

**Comentários:**

A vaporização da água se dá a temperatura constante:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

$$Q = m \cdot L_v = 3,0(\text{Kg}) \cdot 5,4 \cdot 10^5 \left(\frac{\text{cal}}{\text{Kg}}\right) \Rightarrow Q = 1,62 \cdot 10^6 \text{ cal}$$

Para a transformação descrita,  $T = 373 \text{ K}$ , então:

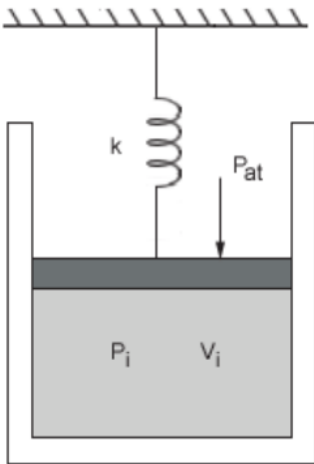
$$\Delta S = \frac{1,62 \cdot 10^6 \text{ cal}}{373 \text{ K}} \Rightarrow \boxed{\Delta S = 4300 \text{ cal/K}}$$



**Gabarito:**  $1,8 \cdot 10^4 \text{ J/K}$  ou  $4,3 \cdot 10^3 \text{ cal/K}$

**Questão 15.**

(ITA-2003) A figura mostra um recipiente, com êmbolo, contendo um volume inicial  $V_i$  de gás ideal, inicialmente sob uma pressão  $P_i$  igual à pressão atmosférica,  $P_{at}$ . Uma mola não deformada é fixada no êmbolo e num anteparo fixo. Em seguida, de algum modo é fornecida ao gás uma certa quantidade de calor  $Q$ . Sabendo que a energia interna do gás é  $U = (3/2) PV$ , a constante da mola é  $k$  e a área da seção transversal do recipiente é  $A$ , determine a variação do comprimento da mola em função dos parâmetros intervenientes. Despreze os atritos e considere o êmbolo sem massa, bem como sendo adiabáticas as paredes que confinam o gás.



**Comentários:**

Da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ):

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

O trabalho do gás é igual ao trabalho da mola acrescido do trabalho da pressão atmosférica.

$$\tau = k \cdot \frac{x^2}{2} + P_{at} \cdot A \cdot x$$

A variação de energia interna é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2}(P \cdot V - P_{at} \cdot V_i) = \frac{3}{2}(P \cdot (V_i + A \cdot x) - P_{at} \cdot V_i)$$

Na situação de equilíbrio para o embolo:

$$P = P_{at} + k \cdot \frac{x}{A}$$

Substituindo “P” na expressão da variação de energia interna e igualando à primeira lei da termodinâmica, temos:

$$4 \cdot k \cdot A \cdot x^2 + x(5 \cdot P_{at} \cdot A^2 + 3 \cdot V_i \cdot k) - 2 \cdot Q \cdot A = 0$$

Considerando a solução positiva:



$$x = \frac{\left( \sqrt{2,5P_{at}A + 1,5\left(\frac{V_i k}{A}\right) + 8kQ} - \left(2,5P_{at}A + 1,5\left(\frac{V_i k}{A}\right)\right) \right)}{4k}$$

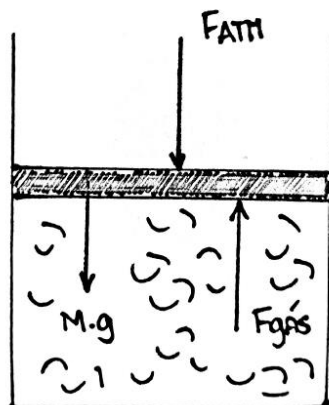
**Gabarito:**  $x = \frac{\left( \sqrt{2,5P_{at}A + 1,5\left(\frac{V_i k}{A}\right) + 8kQ} - \left(2,5P_{at}A + 1,5\left(\frac{V_i k}{A}\right)\right) \right)}{4k}$

**Questão 16.**

(ITA-2004) Um recipiente cilíndrico vertical é fechado por meio de um pistão, com **8,00 kg** de massa e **60,0 cm<sup>2</sup>** de área, que se move sem atrito. Um gás ideal, contido no cilindro, é aquecido de **30 °C** a **100 °C**, fazendo o pistão subir **20,0 cm**. Nesta posição, o pistão é fixado, enquanto o gás é resfriado até sua temperatura inicial. Considere que o pistão e o cilindro se encontram expostos à pressão atmosférica. Sendo **Q<sub>1</sub>** o calor adicionado ao gás durante o processo de aquecimento e **Q<sub>2</sub>**, o calor retirado durante o resfriamento, assinale a opção correta que indica a diferença **Q<sub>1</sub> – Q<sub>2</sub>**.

- a) 136 J.
- b) 120 J.
- c) 100 J.
- d) 16 J.
- e) 0 J.

**Comentários:**



Pela primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ):

$$Q = Q_1 - Q_2 = \Delta U + \tau = 0 + \tau = \tau$$

Do equilíbrio do embolo temos:

$$F_{ATM} + M \cdot g = F_{GÁS} \Rightarrow P_{ATM} \cdot A + M \cdot g = P_{GÁS} \cdot A$$

$$10^5 \cdot 0,006 + 8 \cdot 10 = 0,006 \cdot P_{GÁS}$$

$$P_{GÁS} = \frac{34}{3} \cdot 10^4 \text{ Pa}$$



Assim, a variação de volume é de:

$$\Delta V = \Delta h \cdot A = 0,2 \cdot 0,006 \text{ m}^3$$

O trabalho realizado pelo gás:

$$\tau = P_{GÁS} \cdot \Delta V = \frac{34}{3} \cdot 10^4 \cdot 0,2 \cdot 0,006 = 136 \text{ J}$$

$$\boxed{Q_1 - Q_2 = 136 \text{ J}}$$

**Gabarito: A**

**Questão 17.**

(ITA-2004) A linha das neves eternas encontra-se a uma altura  $h_0$  acima do nível do mar, onde a temperatura do ar é  $0^\circ\text{C}$ . Considere que, ao elevar-se acima do nível do mar, o ar sofre uma expansão adiabática que obedece a relação  $\frac{\Delta p}{p} = \frac{7}{2} \frac{\Delta T}{T}$ , em que  $p$  é a pressão e  $T$ , a temperatura. Considerando o ar um gás ideal de massa molecular igual a  $30u$  (unidade de massa atômica) e a temperatura ao nível do mar igual a  $30^\circ\text{C}$ , assinale a opção que indica aproximadamente a altura  $h_0$  da linha das neves.

- a) 2,5 km.
- b) 3,0 km.
- c) 3,5 km.
- d) 4,0 km.
- e) 4,5 km.

**Comentários:**

Considerando uma atmosfera isotérmica, a variação infinitesimal de pressão em função da variação infinitesimal da altura é dada pela diferencial da lei de Stevin:

$$dP = -\rho \cdot g \cdot dH$$

$$dP = -\frac{P \cdot M}{R \cdot T} \cdot g \cdot dH$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot dH \Rightarrow \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot \int_0^H dH$$

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot H} \Rightarrow \Delta P = P - P_0 = P_0 \left( 1 - e^{-\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot H} \right)$$

Pelo enunciado temos:

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{7}{2} \cdot \frac{\Delta T}{T_0}$$

Substituindo temos:

$$\frac{7}{2} \cdot \frac{30}{303} \cdot P_0 = P_0 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{M \cdot g}{R \cdot T} \cdot H} \right)$$



$$\frac{198}{303} = -e^{-\frac{M \cdot g}{R \cdot T} H} \Rightarrow H = \frac{R \cdot T}{M \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{198}{303}\right)$$

Para  $T = 303 \text{ K}$  (Limite superior):

$$H = 3600 \text{ m}$$

Para  $T = 273 \text{ K}$  (Limite inferior):

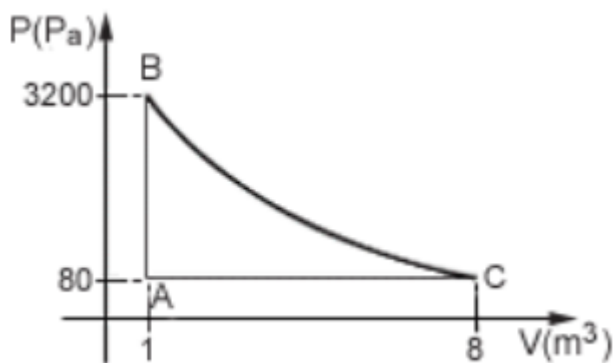
$$H = 3279 \text{ m}$$

Assim, a altura  $h_0$  é de aproximadamente 3,5 km.

**Gabarito: B**

**Questão 18.**

(ITA-2004) Uma máquina térmica opera com um mol de um gás monoatômico ideal. O gás realiza o ciclo ABCA, representado no plano PV, conforme mostra a figura. Considerando que a transformação BC é adiabática, calcule:



- A eficiência da máquina.
- A variação da entropia na transformação BC.

**Comentários:**

a)

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica para o processo CA é isobárico, temos:

$$Q_{CA} = \Delta U_{CA} + \tau_{CA} = \frac{3}{2} p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot 80 \cdot (1 - 8) = -1400 \text{ J}$$

O processo AB é isovolumétrico: não há realização de trabalho.

$$Q_{AB} = Q_H = \Delta U_{AB} + \tau_{AB} = \frac{3}{2} V \cdot \Delta P = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot (3200 - 80) = +4680 \text{ J}$$

O processo BC é adiabático: não há troca de calor.

O trabalho do ciclo é dado pela somatória dos calores envolvidos.

$$\tau_{\text{ciclo}} = \sum Q = Q_{AB} + Q_{CA} + Q_{BC} = 4680 - 1400 + 0 = 3280 \text{ J}$$

Portanto, o rendimento é:



$$\eta = \frac{\tau_{ciclo}}{Q_H} = \frac{3280}{4680} \Rightarrow \boxed{\eta = 70\%}$$

b)

A transformação BC é adiabática, logo não há troca de calor:

$$\boxed{\Delta S = 0}$$

**Gabarito: a) 70 % b) zero**

**Questão 19.**

(ITA-2004) Duas salas idênticas estão separadas por uma divisória de espessura  $L = 5,0 \text{ cm}$ , área  $A = 100 \text{ m}^2$  e condutividade térmica  $k = 2,0 \text{ W/mK}$ . O ar contido em cada sala encontra-se, inicialmente, à temperatura  $T_1 = 47^\circ\text{C}$  e  $T_2 = 27^\circ\text{C}$ , respectivamente. Considerando o ar como um gás ideal e o conjunto das duas salas um sistema isolado,

calcule:

a) O fluxo de calor através da divisória relativo às temperaturas iniciais  $T_1$  e  $T_2$ .

b) A taxa de variação de entropia  $\Delta S/\Delta t$  no sistema no início da troca de calor, explicando o que ocorre com a desordem do sistema.

**Comentários:**

a)

Através da lei de Fourier temos:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{l} = \frac{2 \cdot (100) \cdot (47 - 27)}{0,05} = 80.000 \text{ W}$$

b)

A taxa  $\Delta S/\Delta t$  no sistema pode ser calculada da seguinte forma:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\sum Q}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t \cdot T_1} - \frac{Q}{\Delta t \cdot T_2} = \frac{P}{T_1} - \frac{P}{T_2} = P \left( \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \right)$$

Substituindo valores, temos:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = 80000 \cdot \left( \frac{320 - 300}{320 \cdot 300} \right) \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{50}{3} \text{ W/K}}$$

Como  $\Delta S > 0$ , a entropia (“desordem”) aumenta.

**Gabarito: a) 80 kW b) 16,7 W/K**

**Questão 20.**

(ITA-2006) Um mol de um gás ideal ocupa um volume inicial  $V_0$  à temperatura  $T_0$  e pressão  $P_0$ , sofrendo a seguir uma expansão reversível para um volume  $V_1$ . Indique a relação entre o trabalho que é realizado por:

(i)  $\tau_i$ , num processo em que a pressão é constante.

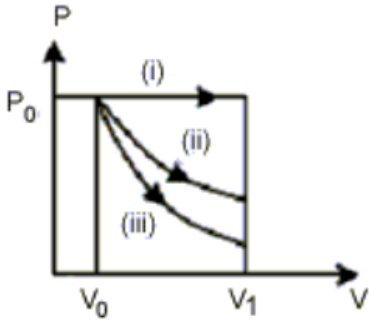




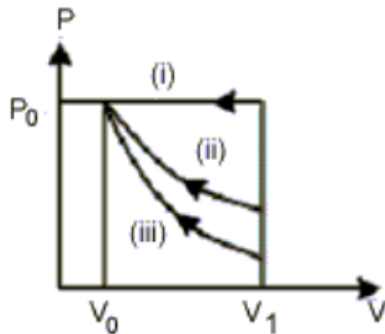
(ii)  $\tau_{ii}$ , num processo em que a temperatura é constante.

(iii)  $\tau_{iii}$ , num processo adiabático.

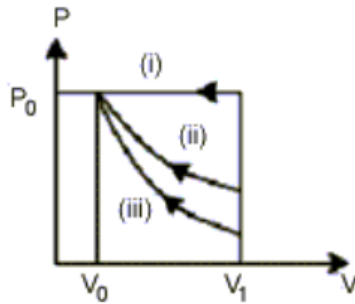
$$\tau_i > \tau_{iii} > \tau_{ii}$$



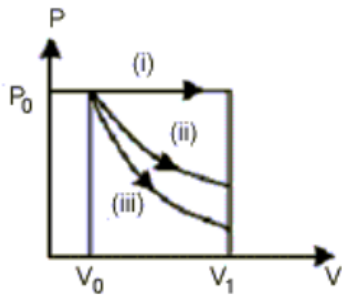
$$\tau_i > \tau_{ii} > \tau_{iii}$$



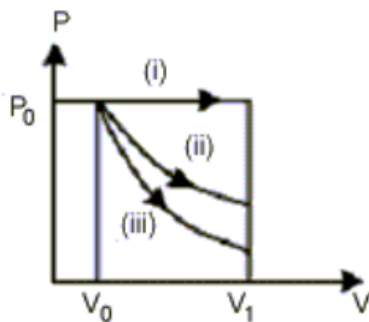
$$\tau_{iii} > \tau_{ii} > \tau_i$$



$$\tau_i > \tau_{ii} > \tau_{iii}$$



$$\tau_{iii} > \tau_{ii} > \tau_i$$



**Comentários:**



Na expansão adiabática o gás realiza trabalho, mas não troca calor com a vizinhança. Da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), temos:

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -\tau$$

Como se trata de uma expansão:

$$V_1 > V_0 \Rightarrow \tau > 0 \Rightarrow \Delta U < 0 \Rightarrow \Delta T < 0$$

O Trabalho é numericamente igual a área abaixo da curva. Portanto, temos a seguinte comparação:

$$\tau_I > \tau_{II} > \tau_{III}$$

A alternativa que contempla todas as análises feitas é a alternativa (D).

**Gabarito: D**

**Questão 21.**

(ITA – 2007) A água de um rio encontra-se a uma velocidade inicial  $V$  constante, quando despenca de uma altura de **80 m**, convertendo toda a sua energia mecânica em calor. Este calor é integralmente absorvido pela água, resultando em um aumento de **1 K** de sua temperatura. Considerando  $1\ cal \cong 4\ J$ , aceleração da gravidade  $g = 10\ m/s^2$  e calor específico da água  $c = 1,0\ cal\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ , calcula-se que a velocidade inicial da água  $V$  é de

- a)  $10\ \sqrt{2}\ m/s$ .
- b)  $20\ m/s$ .
- c)  $50\ m/s$ .
- d)  $10\ \sqrt{32}\ m/s$ .
- e)  $80\ m/s$

**Comentários:**

Toda energia mecânica da água é transformada em calor na queda.

$$E_P + E_C = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow m \cdot g \cdot h + m \frac{v^2}{2} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores temos:

$$10 \cdot 80 + \frac{v^2}{2} = 4000 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{v = 80\ m/s}$$

**Gabarito: E**

**Questão 22.**

(ITA – 2008) Certa quantidade de oxigênio (considerado aqui como gás ideal) ocupa um volume  $V_i$  a uma temperatura  $T_i$  e pressão  $P_i$ . A seguir, toda essa quantidade é comprimida, por meio de um processo adiabático e quase estático, tendo reduzido o seu volume para  $V_f = V_i/2$ . Indique o valor do trabalho realizado sobre esse gás.



- a)  $\tau = \frac{3}{2}(P_i V_i)(2^{0,7} - 1)$   
 b)  $\tau = \frac{5}{2}(P_i V_i)(2^{0,7} - 1)$   
 c)  $\tau = \frac{5}{2}(P_i V_i)(2^{0,4} - 1)$   
 d)  $\tau = \frac{3}{2}(P_i V_i)(2^{1,7} - 1)$   
 e)  $\tau = \frac{5}{2}(P_i V_i)(2^{1,4} - 1)$

**Comentários:**

O oxigênio é um gás diatômico e, portanto, tem coeficiente de Poisson de:

$$\gamma = \frac{f + 2}{f} = \frac{5 + 2}{5} = \frac{7}{5}$$

Para uma transformação adiabática temos:

$$P_i \cdot V_i^\gamma = P_f \cdot V_f^\gamma \Rightarrow P_i \cdot V_i^{7/5} = P_f \cdot \left(\frac{V_i}{2}\right)^{7/5} \Rightarrow P_f = P_i \cdot 2^{7/5}$$

O trabalho para uma transformação adiabática é dado por:

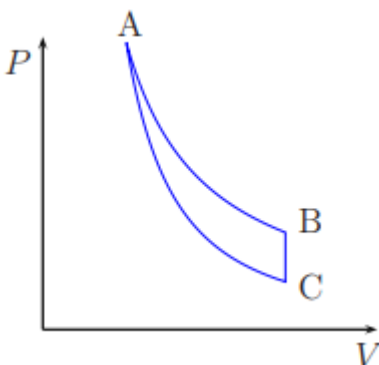
$$\tau = -\frac{(P_i \cdot V_i - P_f \cdot V_f)}{\gamma - 1} \Rightarrow \tau = -\frac{\left(P_i \cdot V_i - P_i \cdot 2^{7/5} \cdot \frac{V_i}{2}\right)}{7/5 - 1}$$

$$\tau = \frac{5}{2}(P_i V_i)(2^{0,4} - 1)$$

**Gabarito: C**

**Questão 23.**

(ITA – 2009) Três processos compõem o ciclo termodinâmico ABCA mostrado no diagrama  $P \times V$  da figura. O processo AB ocorre a temperatura constante. O processo BC ocorre a volume constante com decréscimo de 40 J de energia interna e, no processo CA, adiabático, um trabalho de 40 J é efetuado sobre o sistema. Sabendo-se também que em um ciclo completo o trabalho total realizado pelo sistema é de 30 J, calcule a quantidade de calor trocado durante o processo AB.



**Comentários:**



O processo BC é isovolumétrico e, portanto, não há realização de trabalho:

$$\tau_{BC} = 0$$

O processo CA é adiabático e, portanto, não há troca de calor envolvida. A variação de energia interna é igual ao trabalho realizado.

$$\tau_{CA} = -40 \text{ J}$$

O processo AB é isotérmica, a temperatura se mantém constante e, portanto, não há variação de energia interna.

$$\tau_{AB} = Q_{AB}$$

O Trabalho total é a soma de todos os trabalhos envolvidos:

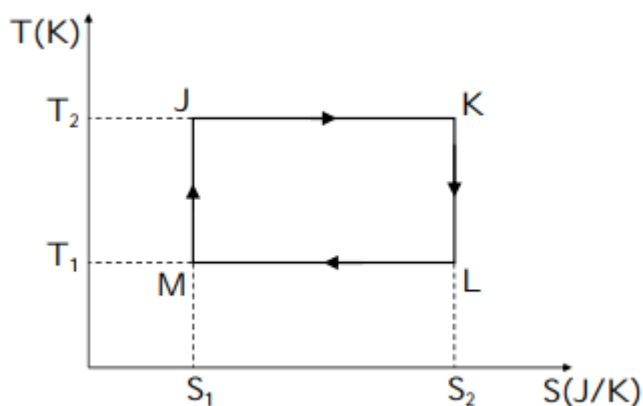
$$\tau_{Total} = \tau_{AB} + \tau_{CA} + \tau_{BC} \Rightarrow 30 = Q_{AB} + 0 + (-40)$$

$$\boxed{Q_{AB} = 70 \text{ J}}$$

**Gabarito: 70 J**

**Questão 24.**

(ITA – 2010)



Uma máquina térmica opera segundo o ciclo **JKLMJ** mostrado no diagrama T-S da figura. Pode-se afirmar que

- a) o processo **JK** corresponde a uma compressão isotérmica.
- b) o trabalho realizado pela máquina em um ciclo é  $\tau = (T_2 - T_1)(S_2 - S_1)$ .
- c) o rendimento da máquina é dado por  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ .
- d) durante o processo **LM** uma quantidade de calor  $Q_{LM} = T_1(S_2 - S_1)$  'e absorvida pelo sistema.
- e) outra máquina térmica que opere entre  $T_2$  e  $T_1$  poderia eventualmente possuir um rendimento maior que a desta.

**Comentários:**

A primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ) em termos diferenciais é:

$$dQ_{entra} = dU + d\tau_{pelo\ gás}$$



Para um ciclo a variação de energia interna é nula:

$$dU = 0 \Rightarrow \frac{dQ}{T} = \frac{d\tau}{T}$$

Mas, temos:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

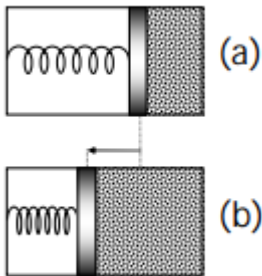
Portanto,

$$dS = \frac{d\tau}{T} \Rightarrow \tau = \oint T \cdot dS = \text{Área} = (T_2 - T_1)(S_2 - S_1)$$

**Gabarito: B**

**Questão 25.**

(ITA -2010) Uma parte de um cilindro está preenchida com um mol de um gás ideal monoatômico a uma pressão  $P_0$  e temperatura  $T_0$ . Um êmbolo de massa desprezível separa o gás da outra seção do cilindro, na qual há vácuo e uma mola em seu comprimento natural presa ao êmbolo e à parede oposta do cilindro, como mostra a figura (a). O sistema está termicamente isolado e o êmbolo, inicialmente fixo, é então solto, deslocando-se vagarosamente até passar pela posição de equilíbrio, em que a sua aceleração é nula e o volume ocupado pelo gás é o dobro do original, conforme mostra a figura (b). Desprezando os atritos, determine a temperatura do gás na posição de equilíbrio em função da sua temperatura inicial.



**Comentários:**

Para uma transformação adiabática, podemos expressar a relação entre volume e temperatura da seguinte maneira.

$$T_0 \cdot V_0^{\gamma-1} = T_1 \cdot V_1^{\gamma-1}$$

O coeficiente de Poisson para gases reais é dado pela seguinte razão: “f” é o grau de liberdade do gás.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f + 2}{f}$$

Para um gás monoatômico  $f = 3$ , o coeficiente de Poisson pode ser escrito como:

$$\gamma = \frac{5}{3}$$

Sabe-se também que após a expansão o volume final é o dobro do inicial:



$$V_1 = 2V_0$$

Substituindo na primeira relação da transformação adiabática:

$$T_0 \cdot V_0^{5/3-1} = T_1 \cdot (2V_0)^{5/3-1} \Rightarrow T_1 = \frac{T_0}{\sqrt[3]{4}}$$

**Gabarito:**  $T_1 = \frac{T_0}{\sqrt[3]{4}}$

**Questão 26.**

(ITA – 2011) A inversão temporal de qual dos processos abaixo NÃO violaria a segunda lei de termodinâmica?

- a) A queda de um objeto de uma altura H e subsequente parada no chão.
- b) O movimento de um satélite ao redor da Terra.
- c) A freada brusca de um carro em alta velocidade.
- d) O esfriamento de um objeto quente num banho de água fria.
- e) A troca de matéria entre as duas estrelas de um sistema binário.

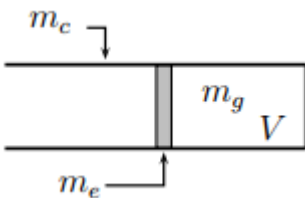
**Comentários:**

Para que a segunda lei da termodinâmica não seja violada, o processo deve ser reversível. A única alternativa em que o processo é reversível é o processo da alternativa (B).

**Gabarito: B**

**Questão 27.**

(ITA – 2013) A figura mostra um sistema, livre de qualquer força externa, com um êmbolo que pode ser deslocado sem atrito em seu interior. Fixando o êmbolo e preenchendo o recipiente de volume  $V$  com um gás ideal a pressão  $P$ , e em seguida liberando o êmbolo, o gás expande-se adiabaticamente. Considerando as respectivas massas  $m_c$ , do cilindro, e  $m_e$ , do êmbolo, muito maiores que a massa  $m_g$  do gás, e sendo  $\gamma$  o expoente de Poisson, a variação da energia interna  $\Delta U$  do gás quando a velocidade do cilindro for  $v_c$  é dada aproximadamente por



- a)  $3PV^\gamma/2$ .
- b)  $3PV/(2(\gamma - 1))$ .
- c)  $-m_c(m_e + m_c)v_c^2/(2m_e)$ .
- d)  $-(m_c + m_e)v_c^2/2$ .
- e)  $-m_e(m_e + m_c)v_c^2/(2m_c)$ .

**Comentários:**



Nos processos adiabáticos o calor trocado com o meio é nulo. Da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), temos:

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

Não há resultante externas de força no sistema. Dessa forma, podemos conservar a quantidade de movimento. Desprezamos a quantidade de movimento do gás (massa muito pequena).

$$\vec{p}_{inicial} = \vec{p}_{final}$$

$$0 = m_c \cdot v_c - m_e \cdot v_e \Rightarrow v_e = v_c \cdot \frac{m_c}{m_e} \quad (eq. 1)$$

Utilizando o conceito de trabalho resultante temos:

$$\tau = \Delta E_c \Rightarrow \tau = m_c \cdot \frac{v_c^2}{2} + m_e \cdot \frac{v_e^2}{2}$$

Utilizando o valor de  $v_e$  encontrado em 1, temos:

$$\tau = m_c \cdot \frac{v_c^2}{2} + \frac{m_e}{2} \cdot v_c^2 \cdot \left(\frac{m_c}{m_e}\right)^2 = \frac{m_c \cdot v_c^2}{2} \left(1 + \frac{m_c}{m_e}\right)$$

Substituindo a expressão do trabalho na primeira lei da termodinâmica:

$$\tau = -\frac{m_c(m_e + m_c)v_c^2}{2m_e}$$

**Gabarito: C**

**Questão 28.**

(ITA – 2013) Diferentemente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia a dia. Assim, por exemplo, ao aquecer a parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é

- a) a segunda lei de Newton.
- b) a lei de conservação de energia.
- c) a segunda lei da termodinâmica.
- d) a lei zero da termodinâmica.
- e) a lei de conservação da quantidade de movimento.

**Comentários:**

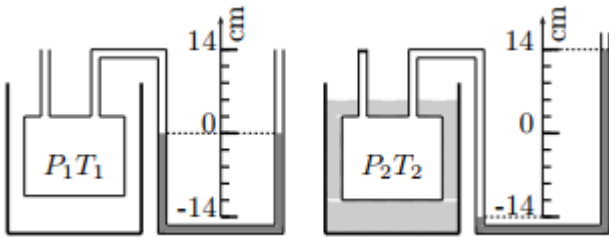
O texto refere-se a segundo lei da termodinâmica. A segunda lei afirma que a entropia do universo sempre aumenta. O cosmólogo relaciona esse aumento com a progressão do tempo, que nunca para ou retrocede. Assim, conclui-se que processos irreversíveis nunca voltam ao seu estado inicial.

**Gabarito: C**



**Questão 29.**

(ITA – 2013) Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico  $P \times T$  para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura  $T_0$  quando a pressão  $P = 0$ , interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



**Comentários:**

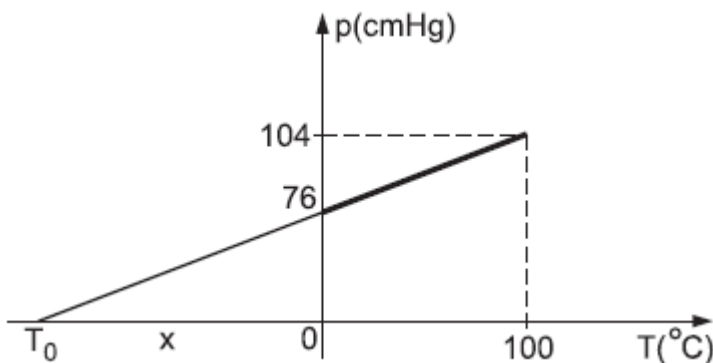
Através da Lei de Stevin, e observando o desnível das colunas do manômetro temos:

$$p_1 = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$$

$$p_2 = p_1 + p_{\text{desnível}} \Rightarrow p_2 = 76 + 28 = 104 \text{ cm Hg}$$

Considerando que o volume permaneça constante, a pressão varia linearmente com a temperatura.

Podemos observar o seguinte gráfico.



Podemos calcular a distância  $x$  da seguinte maneira: Semelhança de triângulos.

$$\frac{x}{76} = \frac{x + 100}{104} \Rightarrow \boxed{x = -271,43\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

De acordo com a teoria cinética dos gases, essa temperatura deveria corresponder à menor temperatura possível para um sistema. Essa é a temperatura em que todas as moléculas cessam seu movimento. O zero absoluto teórico corresponde a  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Assim, o experimento realizou com erro relativamente baixo o cálculo desta temperatura.

**Gabarito:  $-271,4\text{ }^{\circ}\text{C}$**

**Questão 30.**





(ITA -2013) Um mol de um gás ideal sofre uma expansão adiabática reversível de um estado inicial cuja pressão é  $P_i$  e o volume é  $V_i$  para um estado final em que a pressão é  $P_f$  e o volume é  $V_f$ . Sabe-se que  $\gamma = C_p/C_v$  é o expoente de Poisson, em que  $C_p$  e  $C_v$  são os respectivos calores molares a pressão e a volume constantes. Obtenha a expressão do trabalho realizado pelo gás em função de,  $P_i, V_i, P_f, V_f$  e  $\gamma$ .

**Comentários:**

Da primeira lei da termodinâmica, temos:

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

Para uma transformação adiabática:

$$Q = 0 \Rightarrow \tau = -\Delta U = -\left(\frac{f}{2}n \cdot R \cdot T_f - \frac{f}{2}n \cdot R \cdot T_i\right) = \frac{f}{2}(P_i \cdot V_i - P_f \cdot V_f)$$

Em que  $f$  é o número de graus de liberdade da molécula.

$$C_p = R\left(\frac{f}{2} + 1\right) \Rightarrow C_v = R\left(\frac{f}{2}\right) \Rightarrow \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f + 2}{f}$$

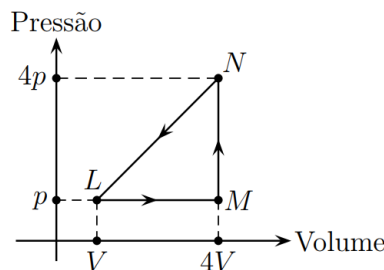
Isolando “ $f$ ” e substituindo na expressão do trabalho:

$$\tau = \frac{(P_i \cdot V_i - P_f \cdot V_f)}{\gamma - 1}$$

**Gabarito:**  $W = \frac{1}{\gamma - 1}(P_i V_i - P_f V_f)$

**Questão 31.**

(ITA – 2014) Um recipiente contém um gás monoatômico ideal inicialmente no estado L, com pressão  $p$  e volume  $V$ . O gás é submetido a uma transformação cíclica  $LMNL$ , absorvendo de uma fonte quente uma quantidade de calor  $Q_1$  e cedendo a uma fonte fria uma quantidade de calor  $Q_2$ . Pode-se afirmar que  $Q_1$  é igual a



- a)  $30pV$ .
- b)  $51pV/2$ .
- c)  $8pV$ .
- d)  $15pV/2$ .
- e)  $9pV/2$ .

**Comentários:**



Baseando-se no gráfico a transformação absorve calor nos processos LM e MN.

$$Q_H = Q_{LM} + Q_{MN}$$

Processo LM:

$$\tau_{LM} = p \cdot (4V - V) = 3p \cdot V$$

$$\Delta U_{LM} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R(T_M - T_L) = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \left( \frac{4p \cdot V}{n \cdot R} - \frac{p \cdot V}{n \cdot R} \right) = \frac{9}{2} p \cdot V$$

Assim,

$$Q_{LM} = \tau_{LM} + \Delta U_{LM} = \frac{15}{2} \cdot p \cdot V = Q_1$$

Processo MN:

$$\tau_{MN} = 0$$

$$\Delta U_{MN} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R(T_N - T_M) = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \left( \frac{16 \cdot p \cdot V}{n \cdot R} - \frac{4 \cdot p \cdot V}{n \cdot R} \right) = 18 \cdot p \cdot V$$

Assim,

$$Q_1 = 18 \cdot p \cdot V + \frac{15}{2} \cdot p \cdot V = \frac{51}{2} \cdot p \cdot V$$

Portanto, temos duas respostas para a mesma situação. Dados e diagrama inconsistentes.

**Gabarito: sem alternativa (enunciado inconsistente)**

**Questão 32.**

(ITA – 2014) Pode-se associar a segunda lei da Termodinâmica a um princípio de degradação da energia.

Assinale a alternativa que melhor justifica esta associação.

- a) A energia se conserva sempre.
- b) O calor não flui espontaneamente de um corpo quente para outro frio.
- c) Uma máquina térmica operando em ciclo converte integralmente trabalho em calor.
- d) Todo sistema tende naturalmente para o estado de equilíbrio.
- e) E impossível converter calor totalmente em trabalho.

**Comentários:**

Em um sistema, para processos não ideais, uma parte da energia é gasta, sem conversão de trabalho. Esse fenômeno é chamado de “custo da irreversibilidade”. Assim, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, entropia do universo sempre aumenta em processos irreversíveis, ocorre a degradação da energia.

**Gabarito: E**

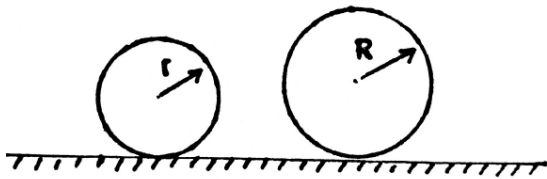
**Questão 33.**



(ITA – 2014) Considere uma esfera maciça de raio  $r$ , massa  $m$ , coeficiente de dilatação volumétrica  $\alpha$ , feita de um material com calor específico a volume constante  $c_V$ . A esfera, sujeita à pressão atmosférica  $p$ , repousa sobre uma superfície horizontal isolante térmica e está inicialmente a uma temperatura  $T$  alta o suficiente para garantir que a sua energia interna não se altera em processos isotérmicos. Determine a temperatura final da esfera após receber uma quantidade de calor  $Q$ , sem perdas para o ambiente. Dê sua resposta em função de  $g$  e dos outros parâmetros explicitados.

**Comentários:**

Com o aquecimento da esfera ela dilatará e, portanto, elevará seu centro de massa, aumento sua energia potencial.



Considerando a dilatação:

$$V = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4\pi r^3}{3} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow R^3 = r^3 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Utilizando a aproximação:

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx, \quad \text{para } |x| \ll 1$$

$$R = r \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T\right) \Rightarrow R - r = r \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T$$

Dessa forma, a variação de energia potencial é dada por:

$$\Delta E_p = m \cdot g(R - r) = m \cdot g \cdot r \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T$$

A esfera realiza um trabalho sobre a atmosfera ao dilatar-se:

$$\tau = P \cdot \Delta V = P \cdot 4\pi r^2(R - r) = 4\pi r^3 \cdot P \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T$$

Da primeira lei da termodinâmica temos:

$$Q = \Delta U + (\tau + \Delta E_p)$$

$$Q = m \cdot c_V \cdot \Delta T + \left(4\pi r^3 \cdot P \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T + m \cdot g \cdot r \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \Delta T\right)$$

$\Delta T = T_f - T = \frac{3Q}{3mc_V + mgr\alpha + 4\pi r^3 p\alpha}$
--

**Gabarito:**  $T_f = T + \frac{3Q}{3m \cdot c_V + m \cdot r \cdot g \cdot \alpha + 4\pi \cdot r^3 \cdot p \cdot \alpha}$

**Questão 34.**



(ITA – 2015) Numa expansão muito lenta, o trabalho efetuado por um gás num processo adiabático é

$$\tau_{12} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1 - \gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

Em que  $P, V, T$  são, respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura do gás, e  $\gamma$  uma constante, sendo os subscritos 1 e 2 representativos, respectivamente, do estado inicial e final do sistema. Lembrando que  $PV^\gamma$  é constante no processo adiabático, esta fórmula pode ser reescrita deste modo:

a) 
$$\frac{P_1 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{V_1}{V_2}}}$$

b) 
$$\frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

c) 
$$\frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{V_1}{V_2}}}$$

d) 
$$\frac{P_1 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

e) 
$$\frac{P_2 \left[ V_1 - V_2 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{V_2}{V_1}}}$$

**Comentários:**

O trabalho de um processo adiabático é dado por:

$$\tau_{12} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{\gamma - 1}$$

Para uma transformação adiabática temos:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma \Leftrightarrow T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

Substituindo as relações acima na expressão do trabalho:



$$\tau_{12} = \frac{P_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1 - \gamma} = \frac{P_1}{1 - \gamma} \cdot \left( V_1 - V_2 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \right)$$

Temos também:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \gamma - 1 = \frac{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

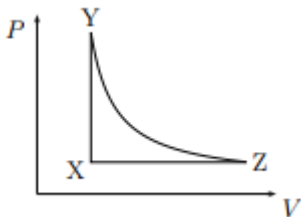
Substituindo na expressão do trabalho:

$$\tau_{12} = \frac{P_1 \left[ V_1 - V_2 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}{\frac{\ln\frac{T_2}{T_1}}{\ln\frac{V_1}{V_2}}}$$

**Gabarito: A**

**Questão 35.**

(ITA – 2017) Uma transformação cíclica  $XYZX$  de um gás ideal indicada no gráfico  $P \times V$  opera entre dois extremos de temperatura, em que  $YZ$  é um processo de expansão adiabática reversível. Considere  $R = 2,0 \text{ cal/mol.K} = 0,082 \text{ atm. l/mol.K}$ ,  $P_Y = 20 \text{ atm}$ ,  $V_Z = 4,0 \text{ l}$ ,  $V_Y = 2,0 \text{ l}$  e a razão entre as capacidades térmicas molar, a pressão e a volume constante, dada por  $C_P/C_V = 2,0$ . Assinale a razão entre o rendimento deste ciclo e o de uma máquina térmica ideal operando entre os mesmos extremos de temperatura.



- a) 0,38
- b) 0,44
- c) 0,55
- d) 0,75
- e) 2,25

**Comentários:**

O processo YZ é um processo adiabático, então:

$$P_Y \cdot V_Y^\gamma = P_Z \cdot V_Z^\gamma \Rightarrow 20 \cdot 2^2 = P_Z \cdot 4^2 \Rightarrow P_Z = 5 \text{ atm}$$

O calor perdido durante o ciclo é dado por:



$$Q_C = Q_{ZX} = n \cdot C_P \cdot \Delta T_{ZX} \Rightarrow Q_{ZX} = n \cdot C_P \cdot \left( \frac{10}{n \cdot R} - \frac{20}{n \cdot R} \right) = - \frac{10 \cdot C_P}{R}$$

O calor ganho durante o ciclo é dado por:

$$Q_H = Q_{YX} = n \cdot C_V \cdot \Delta T_{XY} \Rightarrow Q_{XY} = n \cdot C_V \cdot \left( \frac{40}{n \cdot R} - \frac{10}{n \cdot R} \right) = + \frac{30 \cdot C_V}{R}$$

Temos o rendimento:

$$\eta = 1 + \frac{-\frac{10 \cdot C_P}{R}}{+\frac{30 \cdot C_V}{R}} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{C_P}{C_V} = 1 - \frac{1}{3} \cdot 2 = \frac{1}{3}$$

O rendimento de uma máquina térmica ideal (Carnot), é dado por:

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_X}{T_Y} = 1 - \frac{\frac{10}{n \cdot R}}{\frac{40}{n \cdot R}} = \frac{3}{4}$$

Assim, a razão entre o real e o de Carnot é:

$\frac{\eta}{\eta_{carnot}} = \frac{4}{9} \cong 0,44$
---

**Gabarito: B**

**Questão 36.**

(ITA – 2017) Deseja-se aquecer uma sala usando uma máquina térmica de potência  $P$  operando conforme o ciclo de Carnot, tendo como fonte de calor o ambiente externo à temperatura  $T_1$ . A troca de calor através das paredes se dá a uma taxa  $\kappa(T_2 - T_1)$ , em que  $T_2$  é a temperatura da sala num dado instante e  $\kappa$ , uma constante com unidade em  $J/s \cdot K$ . Pedem-se: a) A temperatura final de equilíbrio da sala. b) A nova temperatura de equilíbrio caso se troque a máquina térmica por um resistor dissipando a mesma potência  $P$ . c) Entre tais equipamentos, indique qual o mais adequado em termos de consumo de energia. Justifique.

**Comentários:**

a)  
Para que o sistema se mantenha em equilíbrio, a taxa de perda de calor deve ser a mesma taxa de ganho.

$$\text{Taxa de perda} = k \cdot (T_2 - T_1)$$

Para a máquina térmica realizando o ciclo de Carnot, temos:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau}{Q_H} = \frac{P \cdot t}{Q_H}$$

$$\text{Taxa de ganho} = \frac{Q_H}{t} = \frac{T_2 \cdot P}{T_2 - T_1}$$

Igualando as taxas e ganho e perda:



$$\frac{T_2 \cdot P}{T_2 - T_1} = k \cdot (T_2 - T_1)$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot k \cdot T_1 + P + (4 \cdot k \cdot T_1 \cdot P + P^2)^{\frac{1}{2}}}{2k}$$

b)

Para um resistor a potência gerada é igual à potência perdida:

$$k \cdot (T_2 - T_1) = P$$

$$T_2 = \frac{P + k \cdot T_1}{k}$$

c)

Para o caso do resistor a potência dissipada é advinha diretamente da rede elétrica. Já no caso do aquecedor a potência é acrescida pela potência de retirada da fonte fria. Desse modo, o mais adequado é o aquecedor.

**Gabarito:** a)  $T_2 = \frac{2 \cdot k \cdot T_1 + P + (4 \cdot k \cdot T_1 \cdot P + P^2)^{\frac{1}{2}}}{2k}$  b)  $T_2 = \frac{P + k \cdot T_1}{k}$  c) aquecedor de Carnot

### Questão 37.

(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) a primeira lei da termodinâmica.
- b) a segunda lei da termodinâmica.
- c) a lei zero da termodinâmica.
- d) o teorema da energia cinética.
- e) o conceito de temperatura.

### Comentários:

O texto se refere a segunda lei da termodinâmica. Mais precisamente ao demônio de Maxwell, que é um experimento projetado e que foi enunciado acima, para sugerir que segunda lei seria verdadeira apenas estatisticamente. Caso contrário, conseguiríamos controlar o fluxo de calor e transferir espontaneamente calor do corpo “frio” para o corpo “quente”.

**Gabarito: B**



**Questão 38.**

(ITA – 2019) Uma empresa planeja instalar um sistema de refrigeração para manter uma sala de dimensões  $4,0\text{ m} \times 5,0\text{ m} \times 3,0\text{ m}$  a uma temperatura controlada em torno de  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . A temperatura média do ambiente não controlado é de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  e a sala é revestida com um material de  $20\text{ cm}$  de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,60\text{ W/m }^\circ\text{C}$ . Sabendo que a eficiência do sistema de refrigeração escolhido é igual a  $2,0$  e que o custo de  $1\text{ kWh}$  é de  $\text{R\$ }0,50$ , estime o custo diário de refrigeração da sala.

**Comentários:**

Consideraremos uma sala de dimensões  $a = 3\text{ m}$ ,  $b = 4\text{ m}$  e  $c = 5\text{ m}$ .

A área total da sala é o dobro soma das áreas de três retângulos distintos (a,b), (a,c) e (b,c).

$$A = 2(a \cdot b + b \cdot c + a \cdot c) = 2 \cdot (12 + 20 + 15) = 94\text{ m}^2$$

A sala absorve do meio uma certa quantidade de energia. Podemos estabelecer o fluxo dessa energia como:

$$\varphi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{l} = \frac{0,6 \cdot 94 \cdot (20 - 10)}{0,2} = 2820\text{ W}$$

A máquina de refrigeração realiza um trabalho para que a temperatura da sala seja mantida constante:

$$e = \frac{|Q_R|}{|\tau|} = 2 \Rightarrow |\tau| = \frac{|Q_R|}{2}, \text{ em que } |Q_R| \text{ é o calor retirado da sala pela máquina de refrigeração.}$$

Para que ocorra equilíbrio, o fluxo de perda de calor deve o mesmo que o fluxo de entrada de calor:

$$\frac{|\tau|}{\Delta t} = \left| \frac{|Q_R|}{2 \cdot \Delta t} \right| = \frac{\varphi}{2} = \frac{2820}{2}$$

O custo para um dia de funcionamento será:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= \frac{|\tau|}{\Delta t} \cdot (24\text{Hrs}) \cdot (\text{Valor Kwh}) \\ \text{Custo} &= \text{R\$ }16,92 \end{aligned}$$

**Gabarito: R\$ 16,92**

**Questão 39.**

(OBF – 2005) Para a resolução do problema a seguir considere as seguintes afirmações:

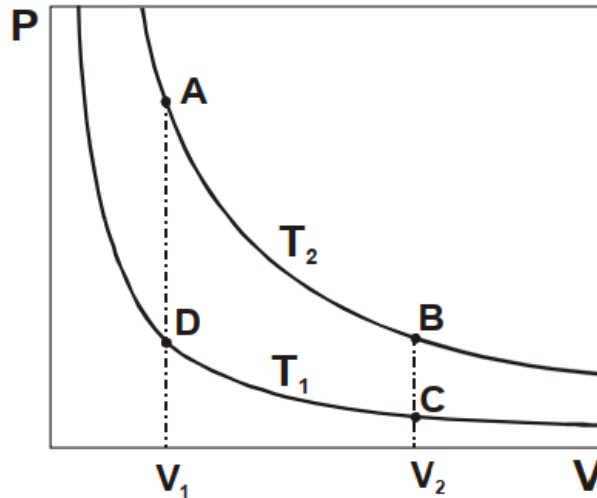
- A energia interna  $U$  de um gás ideal depende apenas de sua temperatura  $T$ .
- Para um gás ideal, o trabalho realizado (ou recebido), em uma expansão (ou contração) isotérmica, ao passar de um volume  $V_i$  para  $V_f$  é dado por  $\tau_{if} = 2,3 \cdot n \cdot R \cdot T \cdot \log\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ , em que  $n$  é o número de mols e  $R$  é a constante dos gases ideais.

O diagrama  $PV$  a seguir mostra duas isotermas à temperatura  $T_1 = 300\text{ K}$  e  $T_2 = 600\text{ K}$ . Se há uma expansão isotérmica entre  $A$  e  $B$ , o calor trocado é  $Q_{AB}$ . Se o gás sofre uma contração





isotérmica entre  $C$  e  $D$  o calor trocado é  $Q_{CD}$ . Calcule a razão  $Q_{AB}/Q_{CD}$ , explicitando se em cada processo o calor é fornecido ao gás ou retirado do mesmo.



**Comentários:**

Da equação dos gases ideais temos:

$$P_A = \frac{n \cdot R \cdot 600}{V_1}, \quad P_B = \frac{n \cdot R \cdot 600}{V_2}, \quad P_C = \frac{n \cdot R \cdot 300}{V_2}, \quad P_D = \frac{n \cdot R \cdot 300}{V_1}$$

A partir da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ) para o processo AB:

$$Q_{AB} = \Delta U_{AB} + \tau_{AB} = 0 + \tau_{AB} = \tau_{AB} = 2,3 \cdot n \cdot R \cdot 600 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Como  $V_2 > V_1$ , então  $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) > 0$  e, portanto,  $Q_{AB} > 0 \Rightarrow$  **calor fornecido**

Aplicando novamente a primeira lei da termodinâmica para o processo CD:

$$Q_{CD} = \Delta U_{CD} + \tau_{CD} = 0 + \tau_{CD} = \tau_{CD} = 2,3 \cdot n \cdot R \cdot 300 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Como  $V_2 > V_1$ , então  $\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) < 0$  e, portanto,  $Q_{CD} < 0 \Rightarrow$  **calor retirado**.

Realizando a razão:

$$\frac{Q_{AB}}{Q_{CD}} = \frac{2,3 \cdot n \cdot R \cdot 600 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}{2,3 \cdot n \cdot R \cdot 300 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} \Rightarrow \boxed{\frac{Q_{AB}}{Q_{CD}} = -2}$$

**Gabarito:**  $\frac{Q_{AB}}{Q_{CD}} = -2$

**Questão 40.**

(OBF – 2005) Um sistema termodinâmico pode ir de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$  por dois caminhos distintos, onde a diferença de energia interna entre estes estados é  $U_f - U_i = 50\text{ J}$ . No primeiro caminho, o sistema sofre uma expansão isobárica, indo de um volume  $V_i$  para  $V_f$ , e em seguida há uma transformação isocórica, onde a pressão passa de um valor  $P_i$  para  $P_f$ .

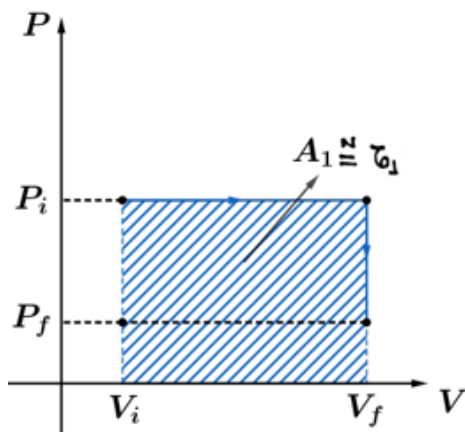


O trabalho realizado pelo sistema neste caminho foi de **100 J**. No segundo caminho, mantendo-se o volume constante, a pressão do sistema passa de  $P_i$  para  $P_f$ . Em seguida, há uma expansão isobárica e o sistema atinge o estado  $f$ . Sabe-se que, se o sistema descreve um ciclo indo pelo segundo caminho e retornando pelo primeiro, o trabalho realizado pelo sistema é de **200 J**.

- Faça um desenho destas transformações em um diagrama  $(P, V)$ .
- Calcule o trabalho associado ao segundo caminho, determinando se é realizado sobre ou pelo sistema.
- Calcule a quantidade de calor  $Q$  envolvido nos dois caminhos e determine se ele é fornecido ou retirado do sistema.

**Comentários:**

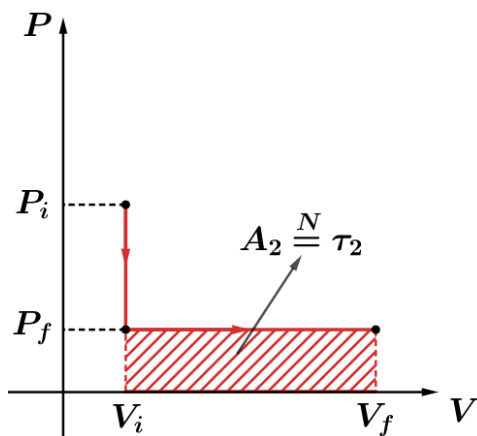
No primeiro caminho temos as seguintes transformações:



O Trabalho deste processo é dado pela área hachurada acima.

$$\tau_1 = (V_f - V_i) \cdot P_i = 100 \text{ J}$$

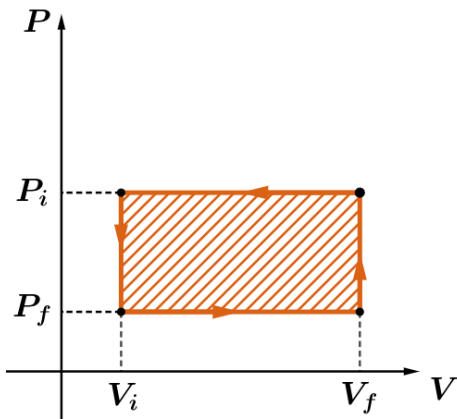
No segundo caminho temos as seguintes transformações:



O trabalho deste processo é dado pela área hachurada acima.

$$\tau_2 = (V_f - V_i) \cdot P_f$$

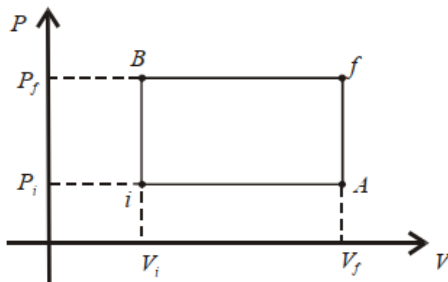
O caminho proposto pelo enunciado é percorrer um ciclo no sentido anti-horário:



$$-200 = (V_F - V_i) \cdot (P_i - P_F) = \tau_1 - \tau_2 = 100 - \tau_2 \Rightarrow \tau_2 = 300 \text{ J}$$

Para o primeiro caminho:  $Q_1 = \Delta U + \tau = 50 + 100 = + 150 \text{ J}$

Para o segundo caminho:  $Q_2 = \Delta U + \tau = 50 + 300 = + 350 \text{ J}$



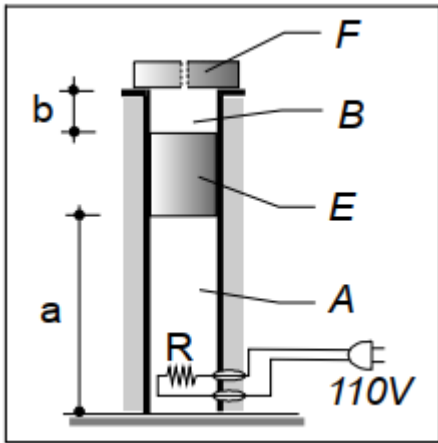
**Gabarito:** a) **300 J** (realiza) c)  $iAf \Rightarrow Q = 150 \text{ J}$  calor fornecido e  $iBf \Rightarrow Q = 350 \text{ J}$  calor fornecido

**Questão 41.**

(OBF – 2006) O dispositivo representado mostra um recipiente cilíndrico que contém em seu interior um êmbolo “E”. Ambos são isolados termicamente e apresentam capacidade térmica irrelevante. O êmbolo tem massa  $m_E = 300 \text{ kg}$ , desliza sem atrito e tem uma base circular de área  $S = 100 \text{ cm}^2$ . No ambiente representado pela letra “A” existe  $1 \text{ mol}$  ( $4,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ) de gás hélio na temperatura  $T_o = 300 \text{ K}$  capaz de equilibrar a pressão exercida pelo peso  $P_E$  do êmbolo superposta à pressão atmosférica  $p_{atm} = 1,00 \text{ atm}$ , mantendo, assim, a medida “a” igual a  $0,600 \text{ m}$ . Num dado instante a tomada é conectada a uma fonte de tensão constante e igual a  $110 \text{ V}$  para, por meio do resistor  $R$ , aquecer o gás citado. O resistor é mantido ligado até o instante em que o êmbolo, graças à expansão gasosa, sofra um deslocamento total igual a  $2b$ . A peça “F”, de massa  $m_F = 100 \text{ kg}$ , está simplesmente apoiada na parte superior do recipiente e será deslocada com a subida do êmbolo. Esta peça é dotada de um orifício para manter o ar, no ambiente “B”, sob pressão igual à pressão atmosférica. Admitindo que  $c_p$  seja o calor específico do gás hélio para as evoluções isobáricas, que  $c_v = 3125 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$  seja o calor específico para as evoluções isométricas, que a relação  $\gamma = c_p/c_v$  seja igual a  $1,664$ , que a medida de “b” seja



igual a  $0,200\text{ m}$  e que a resistência elétrica do resistor  $R$  seja igual  $1210\ \Omega$ , calcule:



- a) a quantidade de calor  $Q_1$  absorvida pela massa gasosa para que o êmbolo  $E$  apenas encoste na peça  $F$ .
- b) o intervalo de tempo  $\Delta t$  que deve permanecer ligado o resistor.
- c) o rendimento  $\eta$  do dispositivo considerando o trabalho realizado e o consumo de energia elétrica.

**Comentários:**

a)

A pressão do gás é tal que:

$$P_{ATM} + \frac{m \cdot g}{A} = P_{GÁS-0} \Rightarrow 10^5 + \frac{300 \cdot 10}{0,01} = P_{GÁS-0} = 4 \cdot 10^5\text{ Pa}$$

O trabalho realizado pelo gás é dado por:

$$\tau = P \cdot \Delta V = P \cdot A \cdot \Delta h = P \cdot A \cdot 2 \cdot b = 4 \cdot 10^5 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 0,2 = 1600\text{ J}$$

A variação de energia interna do gás é dada por:

$$\Delta U = \frac{1}{\gamma - 1} \cdot P \cdot \Delta V = \frac{1600}{1,664 - 1} = 2410\text{ J}$$

Da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), temos:

$$Q = \Delta U + \tau \Rightarrow \boxed{Q = 4010\text{ J}}$$

b)

Utilizando o conceito de potência, podemos determinar o tempo que o resistor permaneceu ligado:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{U^2}{R} \Rightarrow \Delta t = \frac{Q \cdot R}{U^2} = \frac{4010 \cdot 1210}{110 \cdot 110} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 401\text{ s}}$$

c)

Assim, o rendimento é de:

$$\eta = \frac{\tau}{Q} = \frac{2410}{4010} \approx 60\%$$



**Gabarito: a) 4010 J b) 401 s c) 60%**

**Questão 42.**

(OBF – 2007) Uma máquina térmica tem rendimento **20%** menor do que uma máquina de Carnot que opera entre as temperaturas  $T_1 = 300\text{ K}$  e  $T_2 = 600\text{ K}$ . A quantidade de calor por unidade de tempo recebida pela máquina é igual à que ocorre quando uma parede de **10 cm** de espessura, área de **2 m<sup>2</sup>** e condutividade térmica de **50 W/(m K)** é submetida a uma diferença de temperatura de **500 K**.

a) Determine a potência desta máquina.

b) Que quantidade de gelo a **-200C** seria possível derreter usando a quantidade de calor descartada pela máquina, durante um tempo de 10 minutos?

**Comentários:**

a)

Para o rendimento de Carnot temos:

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{300}{600} = 0,5$$

O rendimento real da máquina é calculado como:

$$\eta = 0,8 \cdot \eta_{carnot} = 0,4$$

Fluxo de calor através da parede proposta:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{l} = \frac{50 \cdot 2 \cdot 500}{0,1} = 5 \cdot 10^5 \text{ J/s}$$

Esse fluxo de calor corresponde ao “calor quente”. Para um segundo temos:

$$Q_H = 5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{P}{Q_H} = 0,4 = \frac{P}{5 \cdot 10^5} \Rightarrow \boxed{P = 200 \text{ KW}}$$

b)

O calor rejeitado pela máquina é o “calor frio”. Então:

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 0,4 = 1 - \frac{Q_C}{5 \cdot 10^5} \Rightarrow Q_C = 3 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$Q_C \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot L$$

$$3 \cdot 10^5 \cdot 10 \cdot 60 = m \cdot 2090 \cdot 200 + m \cdot 3,344 \cdot 10^5$$

$$\boxed{m = 478,46 \text{ kg}}$$

**Gabarito: a) 200 kW b) 478,46 kg**

**Questão 43.**



(OBF – 2007) Certa quantidade de gás Hélio, inicialmente no estado  $A$ , em que a pressão e o volume valem  $P_A = 32 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $V_A = 1 \text{ m}^3$ , sofre o processo  $A \rightarrow B \rightarrow C$ . O processo  $A \rightarrow B$  é isobárico e  $B \rightarrow C$  é adiabático. Considere o gás ideal e que para o Hélio,  $c_V = 3R/2$  e  $c_P = 5R/2$ , são os calores específicos molares a volume e a pressão constante, respectivamente.

a) Construa o diagrama  $PV$ , sabendo que o volume do gás no estado  $B$  é  $V_B = 2 \text{ m}^3$  e a pressão no estado  $C$  é  $P_C = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ .

b) Quanto trabalho foi realizado pelo gás na expansão  $A \rightarrow C$ ?

c) Qual a variação na energia interna do gás de  $A \rightarrow C$ ?

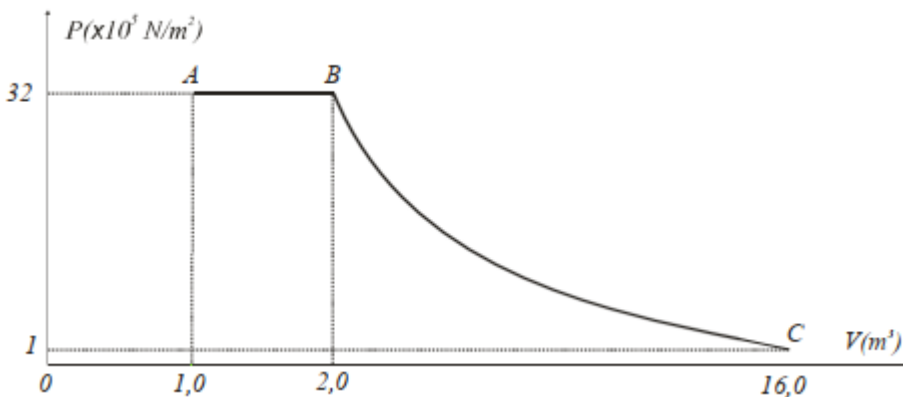
Observação: Num processo adiabático, o trabalho realizado (ou recebido)

pelos gás entre os estados  $1 \rightarrow 2$  é dado por:  $\Delta\tau = \frac{1}{1-\gamma} (P_2V_2 - P_1V_1)$ , em que  $\gamma = \frac{c_P}{c_V}$  é o fator de Poisson.

**Comentários:**

a)

De acordo com o enunciado, temos o seguinte gráfico de pressão por volume.



b)

O trabalho realizado pelo gás na transformação  $A \rightarrow C$  é a soma dos trabalhos da transformação isocórica  $A \rightarrow B$  e da transformação adiabática  $B \rightarrow C$ . Logo:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{AB} + \tau_{BC} = P \cdot (V_B - V_A) + \frac{(P_B \cdot V_B - P_C \cdot V_C)}{\gamma - 1} \\ &= 32 \cdot 10^5 \cdot 1 + \frac{32 \cdot 2 \cdot 10^5 - 1 \cdot 16 \cdot 10^5}{\frac{5}{3} - 1} \end{aligned}$$

$$\boxed{\tau = 104 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

c)

Calor absorvido pelo processo AB:

$$Q_{AB} = \Delta U_{AB} + \tau_{AB} = \frac{3}{2} \cdot 32 \cdot 10^5 (2 - 1) + 32 \cdot 10^5 \cdot 1 = 80 \cdot 10^5 \text{ J}$$

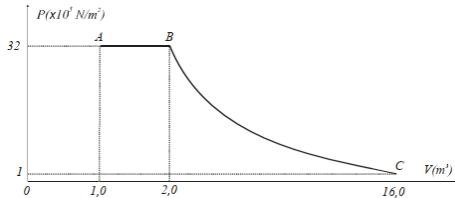


Da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ):

$$Q = Q_{AB} = \Delta U_{AC} + \tau$$

$$80 \cdot 10^5 \text{ J} = \Delta U_{AC} + 104 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\boxed{\Delta U_{AC} = -24 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

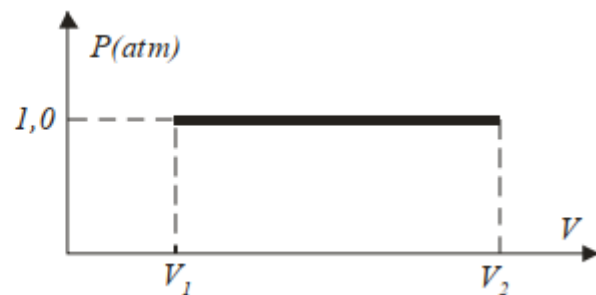


Gabarito: a) b)  $104 \cdot 10^5 \text{ J}$  c)  $-24 \cdot 10^5 \text{ J}$

**Questão 44.**

(OBF – 2008) Um recipiente cilíndrico, de área de secção reta de  $300 \text{ cm}^2$  contém 3 moles de gás ideal diatômico ( $C_V = 5R/2$ ) que está à mesma pressão externa. Este recipiente contém um pistão que pode se mover sem atrito e todas as paredes são adiabáticas, exceto uma que pode ser retirada para que o gás fique em contato com uma fonte que fornece calor a uma taxa constante (veja figura 4). Num determinado instante o gás sofre um processo termodinâmico ilustrado no diagrama  $PV$  abaixo e o pistão se move com velocidade constante de  $16,6 \text{ mm/s}$ .

- a) Qual foi a variação de temperatura do gás depois de decorridos  $50 \text{ s}$ ?
- b) Obtenha a quantidade de calor transferida ao gás durante esse intervalo de tempo.



**Comentários:**

a)  
Em  $50 \text{ s}$  de deslocamento o embolo percorre certa distância:

$$d = 50 \cdot 16,6 \cdot 10^{-3} = 83 \text{ cm}$$

A variação de volume pode ser encontrada:

$$\Delta V = A \cdot d = 300 \cdot 10^{-4} \cdot 0,83 = 0,0249 \text{ m}^3$$

Da lei dos gases ideais temos:

$$p \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow 10^5 \cdot 0,0249 = 3 \cdot 8,3 \cdot \Delta T$$

$$\boxed{\Delta T = 100 \text{ K}}$$

b)



Pela primeira lei ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), o calor transferido ao gás é dado por:

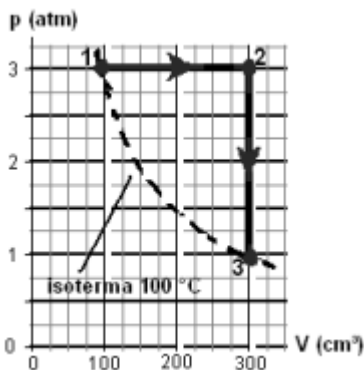
$$Q = \Delta U + \tau = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V = \frac{7}{2} \cdot p \cdot \Delta V = \frac{7}{2} \cdot 10^5 \cdot 0,0249$$

$$\boxed{Q = 8715\text{ J}}$$

**Gabarito: a) 100 K b) 8715 J**

**Questão 45.**

(OBF – 2009) Durante uma transformação termodinâmica um gás ideal monoatômico segue o seguinte processo  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , conforme mostra abaixo.



a) Quanto calor é necessário durante o processo  $1 \rightarrow 2$ ?

b) E durante o processo  $2 \rightarrow 3$ .

**Comentários:**

a)

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo\ gás}$ ), para o processo 1-2 temos uma isobárica:

$$Q = \Delta U + \tau = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 200 \cdot 10^{-6}$$

$$\boxed{Q = 150\text{ J}}$$

b)

Para o processo 2-3, temos uma isocórica:

$$Q = \Delta U + \tau = \Delta U = \frac{3}{2} \cdot V \cdot \Delta p = -\frac{3}{2} \cdot 300 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$\boxed{Q = -90\text{ J}}$$

**Gabarito: a) 150 J b) -90 J**

**Questão 46.**

(OBF – 2010) Certo fabricante de freezers indica que um dado modelo tem um consumo anual de **730 kWh**.

a) Assumindo que o freezer opere 5 horas durante 24 horas, qual a potência que ele consome quando em operação?





b) Se o freezer mantém a temperatura no seu interior em  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  num ambiente a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  qual é a máxima performance teórica deste modelo?

c) Qual é a máxima quantidade de gelo que este freezer consegue produzir em 1 hora, a partir de água a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ?

**Comentários:**

a)

O consume em 5 horas pode ser calculado através da seguinte proporção:

$$\frac{730\text{ KWh}}{1\text{ ano}} = \frac{E \cdot (5)\text{ horas}}{1\text{ dia}} \Rightarrow \frac{730\text{ KWh}}{365\text{ dias}} = \frac{E \cdot (5)\text{ horas}}{1\text{ dia}} \Rightarrow \boxed{P = 0,4\text{ kW}}$$

b)

O rendimento para um ciclo de Carnot é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{268}{293} \cong 8,5\% \Rightarrow \boxed{\eta \cong 8,5\%}$$

c)

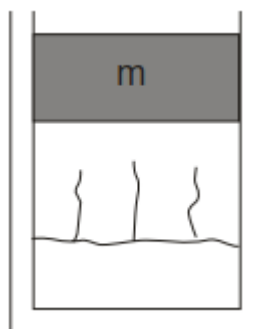
A energia total é dada por:

$$P \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot L \Rightarrow 400 \cdot 60 \cdot 60 = m(4200 \cdot 20 + 334400) \Rightarrow \boxed{m = 3,44\text{ kg}}$$

**Gabarito: a) 0,4 kW b) 8,5% c) 3,44 kg**

**Questão 47.**

(OBF – 2011) Um cilindro de paredes condutoras térmicas possui um embolo de massa  $m$  bem ajustado (mas sem atritos), cuja secção de área transversal é  $S$ . O cilindro contém água e vapor à temperatura  $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ , ou seja, estão na temperatura de condensação.



Observa-se que o embolo cai vagarosamente à velocidade constante  $v$ , porque alguma quantidade de calor flui através das paredes do cilindro e fazendo que um pouco de vapor se condense continuamente. A densidade de vapor no interior do recipiente é  $\rho$ .

a) Calcule a taxa de condensação do vapor, variação de massa de vapor por unidade de tempo, em termos dos parâmetros dados no problema.

b) A que taxa o calor flui para fora do cilindro? Dê o resultado em função do calor de condensação  $L$  da água e dos outros dados do problema.



c) Qual a taxa de variação da energia interna do vapor? O calor específico molar a volume constante da água é  $C_V$  e sua massa molar é  $M$ .

d) E qual a taxa de variação da energia interna da água líquida?

**Comentários:**

a)

Considere a equação dos gases perfeitos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Em termos diferenciais temos, enquanto coexistem vapor e água, a temperatura se mantém constante:

$$\frac{dP}{dt} \cdot V + \frac{dV}{dt} \cdot P = \frac{dn}{dt} R \cdot T$$

Como a velocidade de descida do embolo é constante, não há variação da pressão no tempo:

$$\frac{dP}{dt} = 0$$

$$\frac{dV}{dt} \cdot P = \frac{dn}{dt} R \cdot T \Rightarrow -S \cdot v \cdot P = \frac{dn}{dt} \cdot R \cdot T$$

A densidade do vapor é:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \Rightarrow \boxed{\frac{dn}{dt} = \frac{-S \cdot v \cdot \rho}{M}}$$

b)

A taxa de calor que flui para o cilindro é expressa por:

$$\frac{dQ}{dt} = L \cdot M \cdot \frac{dn}{dt} = -S \cdot v \cdot \rho \cdot L \Rightarrow \boxed{\frac{dQ}{dt} = -S \cdot v \cdot \rho \cdot L}$$

c)

A primeira lei da termodinâmica com variação temporal:

$$U = n \cdot C_V \cdot T \Rightarrow \frac{dU}{dt} = \frac{dn}{dt} \cdot C_V \cdot T = \frac{-S \cdot v \cdot \rho \cdot C_V \cdot T}{M}$$

$$\therefore \boxed{\frac{dU}{dt} = -\frac{373 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot C_V}{M}}$$

d)

É a mesma, em módulo, que a do vapor:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{373 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot C_V}{M}$$



**Gabarito:** a)  $\frac{dn}{dt} = \frac{-S \cdot v \cdot \rho}{M}$       b)  $\frac{dQ}{dt} = -S \cdot v \cdot \rho \cdot L$       c)  $\frac{dU}{dt} = -\frac{373 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot C_V}{M}$       d)  $\frac{dU}{dt} = \frac{373 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot C_V}{M}$

**Questão 48.**

(OBF – 2011) Há um copo de água em contato com o ambiente, e ambos se encontram a uma temperatura

$T_0$ .

a) Mostre, usando o conceito de entropia (e a segunda lei da termodinâmica), que não é natural ver a água do copo variar sua temperatura e resolver se manter em equilíbrio a uma temperatura diferente de  $T_0$ .

Dicas: A variação de entropia associada à variação de temperatura de uma massa  $m$  de um corpo com calor específico  $c$ , que vai de uma temperatura  $T_0$  até  $T$  é:

$$\Delta S = m \cdot c \cdot \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

Onde  $\ln$  é o logaritmo natural.

Você pode usar também a desigualdade  $\ln(1 + x) < x$ , para todo  $x > 1$  e diferente de 0.

b) Dois corpos em contato térmico se encontram isolados do resto do universo. Eles possuem massas e calores específicos  $m_1, c_1$  e  $m_2, c_2$ , com os índices (1, 2) se referindo a cada corpo. Se ambos estão na mesma temperatura  $T_0$ , mostre que não é esperado que eles troquem calor e se equilibrem (termicamente) em temperaturas diferentes.

Dica: use que  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$ , se  $x \ll 1$ .

**Comentários:**

a)

Se considerarmos temperaturas ligeiramente diferentes temos:

$$\Delta S = m \cdot c \cdot \ln\left(\frac{T_0 + \Delta T}{T_0}\right) < m \cdot c \frac{\Delta T}{T_0}$$

Deste modo, não há tendência de aumento nem decréscimo da entropia do sistema. Em termos práticos, o sistema tende a se manter em equilíbrio.

b)

Para dois corpos em contato, a entropia total é dada por:

$$\Delta S = m_1 \cdot c_1 \cdot \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + m_2 \cdot c_2 \cdot \ln\left(\frac{T'}{T_0}\right)$$

Para temperaturas finais de equilíbrio diferentes:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + m_2 \cdot c_2 \cdot \ln\left(\frac{T'}{T_0}\right) > (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

Assim, o ganho de entropia é maior para temperaturas diferentes. Não é termodinamicamente favorável.



**Gabarito: a) demonstração b) demonstração**

**Questão 49.**

(OBF – 2012) A temperatura na superfície do Sol é de aproximadamente **6.000 K**. Num dia normal a superfície da Terra recebe do Sol cerca de **1.000 W/m<sup>2</sup>**. Durante **10** horas recebendo a radiação solar a temperatura numa superfície de **1 m<sup>2</sup>** mantém-se em **300 K**. Qual a variação de entropia desta área da Terra considerando esta quantidade de energia transferida do Sol?

**Comentários:**

Considere a variação de entropia:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{P \cdot \Delta t}{T} = \frac{I \cdot A \cdot \Delta t}{T} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot (10 \cdot 60 \cdot 60)}{300}$$

Em que:

I – Intensidade

A – Área

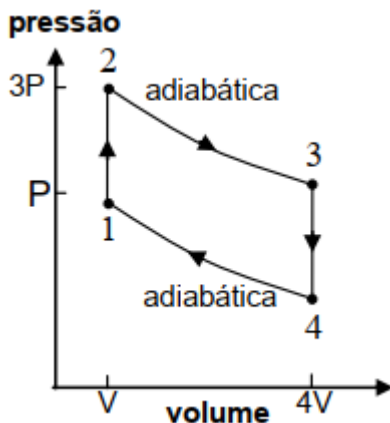
P – Potência

$\Delta S = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J/K}$

**Gabarito: 1,2 · 10<sup>4</sup> J/K**

**Questão 50.**

(OBF – 2013) Numa situação termodinâmica ideal, consideremos um motor de combustão interna chamado de Motor de Ciclo Otto e representado na figura ao lado. Este ciclo é formado por duas curvas adiabáticas e duas isocóricas. Qual é a eficiência do motor se a mistura gasolina-ar for considerada um gás ideal diatômico ( $\gamma = 1,4$ )? Sabe-se que cada quilograma de gasolina fornece **4,4x10<sup>4</sup> kJ** de energia e a sua densidade é **0,7 kg/litro**. Qual é o consumo de gasolina por hora para de um motor de **67 HP (5,0x10<sup>4</sup> W)** sujeito ao ciclo de Otto ideal?



**Comentários:**

Processos adiabáticos:



$$T_2 \cdot V^{\gamma-1} = T_3 \cdot (4V)^{\gamma-1}$$

$$T_4 \cdot (4V)^{\gamma-1} = T_1 \cdot V^{\gamma-1}$$

Efetuando a multiplicação e a divisão das expressões acima temos:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\frac{T_2}{T_3} = (4)^{\gamma-1} \quad (\text{eq. 2})$$

Calores absorvidos e rejeitados:

$$Q_H = n \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_C = n \cdot C_V \cdot (T_4 - T_3)$$

O rendimento do ciclo é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{n \cdot C_V \cdot (T_4 - T_3)}{n \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)}$$

Substituindo as equações (1) e (2):

$$\eta = 1 - \left(\frac{V}{4V}\right)^{\gamma-1} = 1 - \left(\frac{1}{4}\right)^{1,4-1} \cong 42\%$$

Podemos fazer:

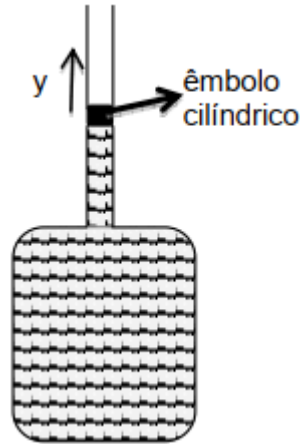
$$\eta = \frac{\tau}{Q_H} = \frac{5 \cdot 10^4(W) \cdot 1(s)}{4,4 \cdot 10^4(J) \cdot 700 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \cdot V} = 42\%$$

$$\boxed{C = 140 L/h}$$

**Gabarito: 140 L/h**

### Questão 51.

(OBF – 2014) Eduard Rüchardt propôs um método simples para se medir a razão  $\gamma = C_P/C_V$  de um gás ideal, onde  $C_P$  é a capacidade calorífica a pressão constante e  $C_V$  a capacidade calorífica a volume constante. A figura ao lado mostra esquematicamente o arranjo usado. O recipiente contém um gás, considerado ideal, inicialmente com volume  $V_0$ , pressão  $P_0$  e está em equilíbrio térmico. O êmbolo cilíndrico tem massa  $m$ , área da base  $A$ , altura  $L$  e é livre para se mover ao longo do recipiente. Na posição de equilíbrio o peso do êmbolo equivale à força exercida pelo gás. O êmbolo é tirado da posição de equilíbrio por um pequeno deslocamento  $y$  alterando o estado do gás. O gás exercerá sobre o êmbolo uma força restauradora fazendo-o oscilar com uma frequência característica que depende de  $\gamma$ . Supondo que a transformação seja adiabática e desprezando-se o atrito entre o êmbolo e o recipiente,



- a) encontre a variação de pressão  $\Delta P$ . Para isso use a aproximação  $\left(1 \pm \frac{\Delta V}{V}\right)^\gamma \approx 1 \pm \frac{\gamma \Delta V}{V}$ , já que a variação relativa do volume é pequena,
- b) encontre a força restauradora atuando no êmbolo mantendo apenas termos de ordem linear em  $y$ ,
- c) determine  $\gamma$  em função período de movimento do êmbolo e dos dados fornecidos no problema.

**Comentários:**

a)

A variação de volume em função da altura  $y$  é dada por:

$$\Delta V = A \cdot y = V - V_0 \Rightarrow V_0 = V + A \cdot y$$

Da transformação adiabática:

$$P_0 \cdot V_0^\gamma = P' \cdot V^\gamma \Rightarrow P_0 \cdot V_0^\gamma = P' \cdot (V_0 - A \cdot y)^\gamma = P' \cdot V_0^\gamma \left(1 - A \cdot \frac{y}{V_0}\right)^\gamma$$

$$P' = \frac{P_0}{\left(1 - A \cdot \frac{y}{V_0}\right)^\gamma}$$

Utilizando a aproximação dada:

$$P' = P_0 \cdot \left(1 + \gamma A \cdot \frac{y}{V_0}\right) \Rightarrow \Delta P = P_0 \cdot \gamma \cdot A \cdot \frac{y}{V_0}$$

b)

A força restauradora é dada por:

$$F_R = -P' A = P_0 \cdot A \cdot \left(1 + \gamma A \cdot \frac{y}{V_0}\right)$$

c)

Da posição inicial do embolo temos:

$$P_0 \cdot A = m \cdot g$$

A força resultante sobre o embolo é dada por:



$$F = -A \left( P_0 \cdot \left( 1 + \gamma A \cdot \frac{y}{V_0} \right) - P_0 \right) = -A^2 \cdot P_0 \cdot \gamma \cdot \frac{y}{V_0} = A^2 \cdot P_0 \cdot \frac{\gamma}{V_0} \cdot y$$

Em que a constante de movimento “k” é:

$$k = A^2 \cdot P_0 \cdot \frac{\gamma}{V_0}$$

O período de um MHS é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m \cdot V_0}{A^2 \cdot P_0}} \Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{4\pi^2 V_0 m}{T^2 P_0 A^2}}$$

**Gabarito:** a)  $\Delta P = P_0 \cdot \gamma \cdot A \cdot \frac{y}{V_0}$  b)  $F_R = P_0 \cdot A \cdot \left( 1 + \gamma A \cdot \frac{y}{V_0} \right)$  c)  $\gamma = \frac{4\pi^2 V_0 m}{T^2 P_0 A^2}$

### Questão 52.

(IME – 2020 – 2ª Fase) Um produtor rural constata que suas despesas mensais de eletricidade estão altas e decide contratar um pesquisador para que ele especifique formas alternativas de acionamento simultâneo de duas bombas empregadas para irrigação de suas lavouras. O pesquisador constata que, na fazenda, existe uma máquina refrigeradora que opera em um ciclo termodinâmico, bem como outro dispositivo que atua como um ciclo motor e propõe a solução descrita a seguir:

“A potência disponibilizada pelo ciclo motor deverá ser integralmente utilizada para o acionamento da máquina refrigeradora e a energia rejeitada para o ambiente de ambos os dispositivos – de acordo com os seus cálculos – é mais do que suficiente para o acionamento simultâneo das duas bombas.”

De acordo com os dados abaixo, determine se a solução encaminhada pelo pesquisador é viável, com base em uma análise termodinâmica da proposição.

Dados:

Temperatura do ambiente: 27 °C;

Temperatura no interior da máquina refrigeradora: – 19/3 °C;

Temperatura da fonte térmica referente ao ciclo motor: 927 °C;

Potência de cada bomba empregada na irrigação: 5 HP;

Estimativa da taxa de energia recebida pelo motor térmico: 80 kJ/min;

1 HP = ¾ kW

### Comentários:

Considerando o motor e o refrigerador atuando com eficiência máxima possível:

$$\eta_{motor} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{266,7}{1200} = \frac{7}{9}$$

$$\eta_{refrigerador} = 1 - \frac{T_f}{T_a} = \frac{1}{9}$$



$$Q_{total} = Q_{F,motor} + Q_{Q,ref} = (1 - \eta_{motor})Q_{Q,motor} + \frac{W}{\eta_{ref}}$$

$$Q_{total} = (1 - \eta_{motor})Q_{Q,motor} + \frac{Q_{Q,motor} \eta_{motor}}{\eta_{ref}}$$

$$Q_{total} = Q_{Q,motor} \left( 1 - \eta_{motor} + \frac{\eta_{motor}}{\eta_{ref}} \right) = 80 \left( 1 - \frac{7}{9} + 7 \right) = 80 \cdot \frac{65}{9} = \frac{5200}{9} \frac{kJ}{min}$$

$$= 9,63 \text{ kW} = 12,84 \text{ HP}$$

Logo o fazendeiro está certo.

**Gabarito: Viável**

**Questão 53.**

(IME – 2020 – 1ª Fase) Um escritório de patentes analisa as afirmativas de um inventor que deseja obter os direitos sobre três máquinas térmicas reais que trabalham em um ciclo termodinâmico. Os dados sobre o calor rejeitado para a fonte fria e o trabalho produzido pela máquina térmica – ambos expressos em Joules – encontram-se na tabela abaixo.

Máquina Térmica	Calor Rejeitado (J)	Trabalho Produzido (J)
A	40	60
B	15	30
C	8	12

As afirmativas do inventor são:

Afirmativa 1: O rendimento das máquinas A e C são os mesmos para quaisquer temperaturas de fonte quente e de fonte fria.

Afirmativa 2: As máquinas A, B e C obedecem à Segunda Lei da Termodinâmica.

Afirmativa 3: Se o calor rejeitado nas três situações acima for dobrado e se for mantida a mesma produção de trabalho, a máquina B apresentará rendimento superior aos das máquinas A e C, supondo atendidos os princípios da termodinâmica.

Tomando sempre as temperaturas dos reservatórios das fontes quente e fria das máquinas como 900 K e 300 K, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) 1, apenas.
- b) 2, apenas.
- c) 1, 2 e 3.
- d) 1 e 3, apenas.
- e) 2 e 3, apenas.

**Comentários:**





I. Correta. O rendimento é dado por  $\eta = \frac{W}{Q_Q} = \frac{W}{W+Q_f}$

II. Correta.

$$\eta_{max} = 1 - \frac{300}{900} = 67\%$$

$$\eta_A = \frac{60}{100} = 60\%$$

$$\eta_B = \frac{30}{45} = 67.\%$$

$$\eta_C = \frac{12}{20} = 60\%$$

III. Correta

$$\eta_A' = \frac{60}{140} = 43\%$$

$$\eta_B' = \frac{30}{60} = 60\%$$

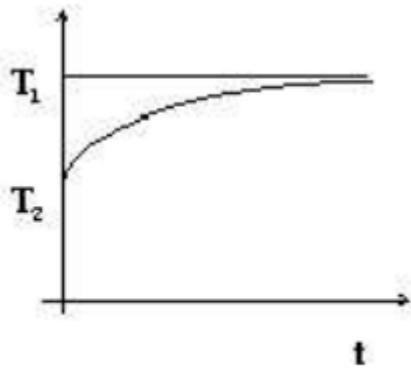
$$\eta_C' = \frac{12}{28} = 43\%$$

**Gabarito: C**

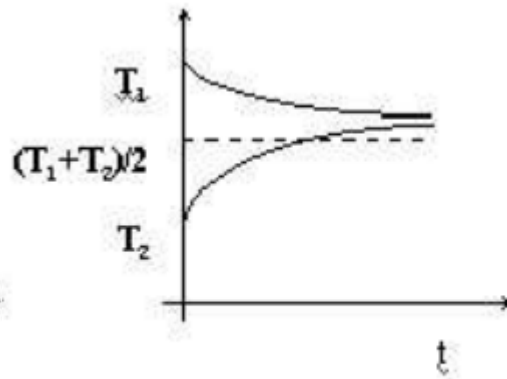
---

**Questão 54.**

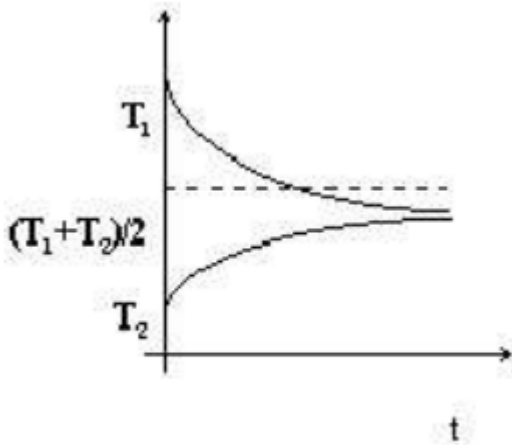
(IME – 1997) Dois corpos, cujas temperaturas iniciais valem  $T_1$  e  $T_2$ , interagem termicamente ao longo do tempo e algumas das possíveis evoluções são mostradas nos gráficos abaixo. Analise cada uma das situações e discorra a respeito da situação física apresentada, procurando, caso procedente, tecer comentários acerca dos conceitos de reservatório térmico e capacidade térmica. Fundamente, sempre que possível, suas afirmações na Primeira Lei da Termodinâmica.



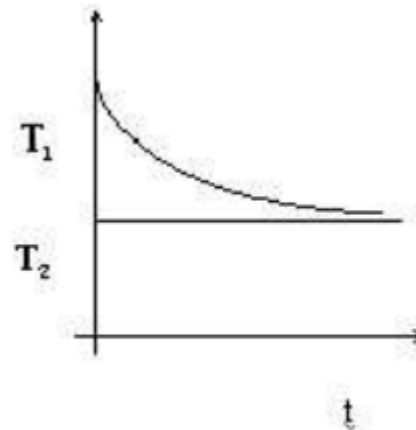
(a)



(b)



(c)



(d)

**Comentários:**

(a)

Na situação retratada no gráfico o reservatório (1) comporta-se como um reservatório térmico com temperatura superior ao corpo (2). O conceito de reservatório térmico designa a situação em que um corpo mantém sua temperatura constante independente de qualquer troca de calor com outros corpos. Se jogarmos um bloco de gelo em uma piscina, a piscina será um reservatório térmico (O gelo derreterá e a piscina praticamente não mudará sua temperatura).

(b) e (c)

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$C_1(T - T_1) + C_2(T - T_2) = 0$$

$$T = \frac{C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2}{C_1 + C_2} = \frac{T_1 + \frac{C_2}{C_1} \cdot T_2}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$$

(b)

Primeira situação



$$T > \frac{T_1 + T_2}{2} \Rightarrow \frac{T_1 + \frac{C_2}{C_1} \cdot T_2}{1 + \frac{C_2}{C_1}} > \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$(T_1 - T_2) > \frac{C_2}{C_1} \cdot (T_1 - T_2) \Rightarrow C_1 > C_2$$

(c)

Segunda situação

$$T < \frac{T_1 + T_2}{2} \Rightarrow \frac{T_1 + \frac{C_2}{C_1} \cdot T_2}{1 + \frac{C_2}{C_1}} < \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$(T_1 - T_2) < \frac{C_2}{C_1} \cdot (T_1 - T_2) \Rightarrow C_1 < C_2$$

(d)

Temos o inverso da letra (a). Agora o corpo (2) se comporta como reservatório térmico.

**Gabarito: Ver comentários**

**Questão 55.**

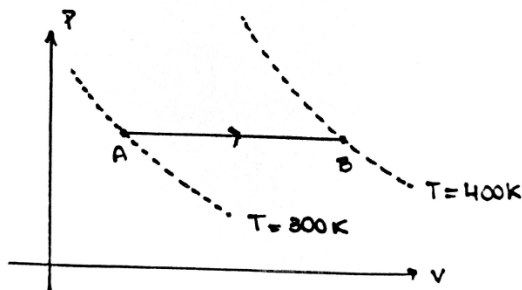
(IME – 1998) Um cilindro com um êmbolo móvel contém 1 mol de um gás ideal que é aquecido isobaricamente de 300 K até 400 K. Ilustre o processo em um diagrama pressão versus volume e determine o trabalho realizado pelo gás, em joules.

Dados:

- Constante universal dos gases ideais: **0,082 (atm.l)/(mol.K)**;

- **1 atm = 10<sup>5</sup> Pa.**

**Comentários:**



O trabalho para uma transformação isobárica é dado por:

$$\tau = P \cdot \Delta V$$

Como o embolo é móvel a pressão no interior do gás é mantida constante e igual a pressão atmosférica a todo instante.



$$\tau = P_{ATM} \cdot \left( n \cdot R \cdot \frac{400}{P_{ATM}} - n \cdot R \cdot \frac{300}{P_{ATM}} \right) = 100 \cdot n \cdot R \cong 830 \text{ J}$$

$$\boxed{\tau \cong 830 \text{ J}}$$

**Gabarito: 830 J**

**Questão 56.**

(IME – 1999) Um cilindro contém oxigênio à pressão de 2 atmosferas e ocupa um volume de 3 litros à temperatura de **300 K**. O gás, cujo comportamento é considerado ideal, executa um ciclo termodinâmico através dos seguintes processos:

Processo 1-2: aquecimento à pressão constante até **500 K**.

Processo 2-3: resfriamento à volume constante até **250 K**.

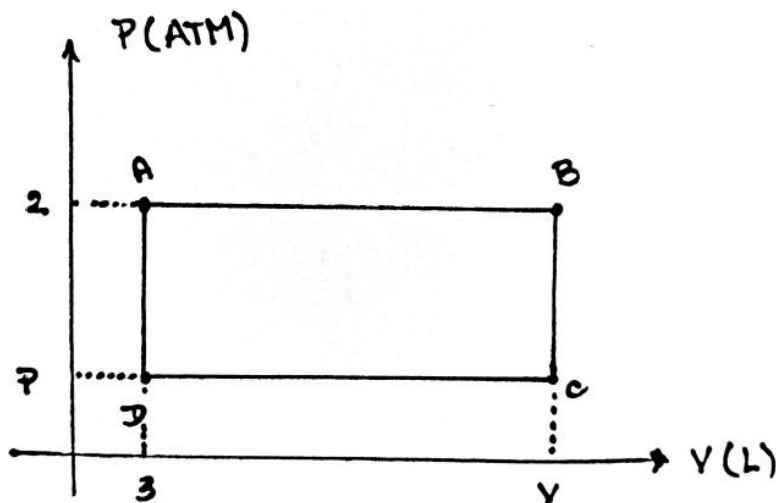
Processo 3-4: resfriamento à pressão constante até **150 K**.

Processo 4-1: aquecimento à volume constante até **300 K**.

Ilustre os processos em um diagrama pressão-volume e determine o trabalho executado pelo gás, em Joules, durante o ciclo descrito acima. Determine, ainda, o calor líquido produzido ao longo deste ciclo.

Dado: **1 atm = 10<sup>5</sup> Pa**.

**Comentários:**



Para o processo AB:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{2 \cdot 3}{300} = \frac{2 \cdot V}{500} \Rightarrow V = 5 \text{ L}$$

Para o processo BC:

$$\frac{P_C \cdot V_C}{T_C} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{P \cdot 5}{250} = \frac{2 \cdot 5}{500} \Rightarrow P = 1 \text{ atm}$$

O trabalho é numericamente igual a área do ciclo:



$$\tau = (5 - 3) \cdot 10^{-3} (2 - 1) 10^5 = 200 \text{ J}$$

Como é um ciclo  $\Delta U = 0$ ,

$$\boxed{Q = \tau = 200 \text{ J}}$$

**Gabarito:**  $Q = \tau = 200 \text{ J}$

**Questão 57.**

(IME – 2000) Uma máquina térmica operando em um ciclo de Carnot recebe calor de um reservatório térmico cuja temperatura é  $T_H$  e cede calor a um segundo reservatório com temperatura desconhecida. Uma segunda máquina térmica, também operando em um ciclo de Carnot, recebe calor deste último reservatório e cede calor a um terceiro reservatório com temperatura  $T_C$ . Determine uma expressão termodinamicamente admissível para a temperatura  $T$  do segundo reservatório, que envolva apenas  $T_H$  e  $T_C$ , supondo que:

- a) o rendimento dos dois ciclos de Carnot seja o mesmo.
- b) o trabalho desenvolvido em cada um dos ciclos seja o mesmo.

**Comentários:**

a)

Para o primeiro reservatório o rendimento é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{T}{T_H}$$

Para o segundo reservatório o rendimento é dado por:

$$\eta' = 1 - \frac{T_C}{T} = 1 - \frac{T_C}{T}$$

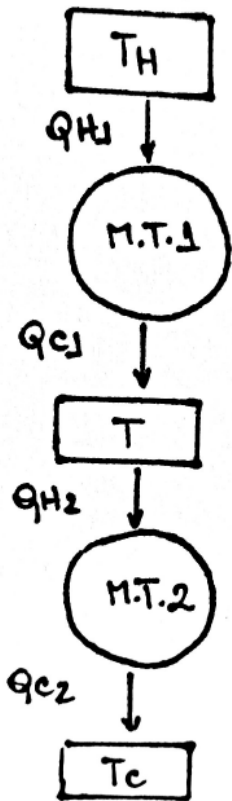
Para que os rendimentos sejam os mesmos:

$$\eta = \eta' = 1 - \frac{T_C}{T} = 1 - \frac{T}{T_H}$$

$$\boxed{T = \sqrt{T_H \cdot T_C}}$$

b)

Do diagrama das máquinas temos:



$$Q_{C1} = Q_{H2}$$

Para a primeira máquina:

$$\frac{\tau_1}{Q_{H1}} = \frac{\tau_1}{\tau_1 + Q_{C1}} = 1 - \frac{T'}{T_H}$$

Para a segunda máquina:

$$\frac{\tau_2}{Q_{H2}} = \frac{\tau_2}{Q_{C1}} = 1 - \frac{T_C}{T'}$$

Como  $\tau_1 = \tau_2$ :

$$\frac{T_H}{T_H - T'} = 1 + \frac{T'}{T' - T_C}$$

$$\boxed{T' = \frac{T_H + T_C}{2}}$$

Gabarito: a)  $T = \sqrt{T_H \cdot T_C}$  b)  $T' = \frac{T_H + T_C}{2}$

### Questão 58.

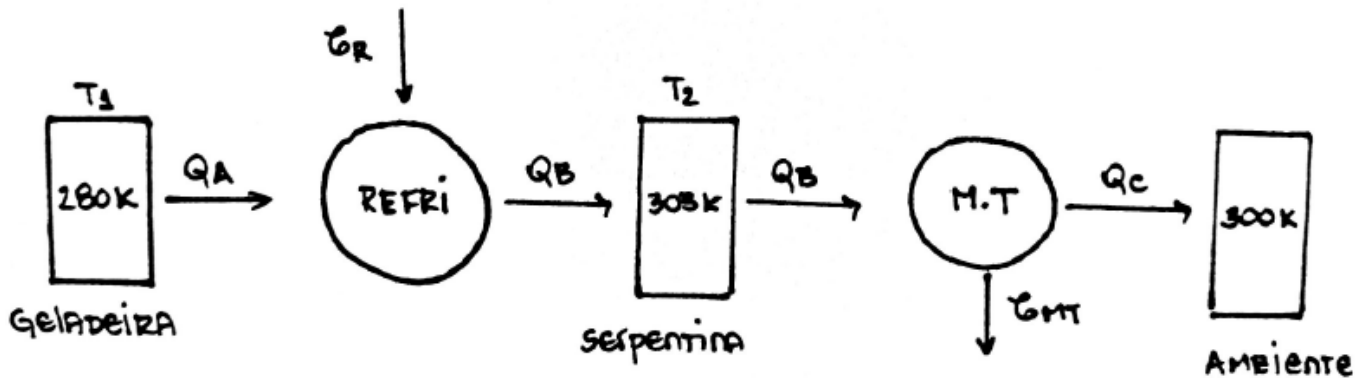
(IME – 2002) Ao analisar o funcionamento de uma geladeira de **200 W**, um inventor percebe que a serpentina de refrigeração se encontra a uma temperatura maior que a ambiente e decide utilizar este fato para gerar energia. Ele afirma ser possível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e que produza **0,1 hp**. Baseado nas Leis da Termodinâmica, discuta a validade da afirmação do inventor.



Considere que as temperaturas da serpentina e do ambiente valem, respectivamente,  $30^{\circ}\text{C}$  e  $27^{\circ}\text{C}$ . Suponha também que a temperatura no interior da geladeira seja igual a  $7^{\circ}\text{C}$ .

Dado:  $1 \text{ hp} = 0,75 \text{ kW}$ .

Comentários:



Para um determinado intervalo de tempo  $\Delta t$  o trabalho recebido pelo refrigerador é:

$$\tau_R = 200 \cdot \Delta t$$

Para um refrigerador temos a seguinte conservação de energia:

$$\tau_R + Q_A = Q_B \Rightarrow 200 \cdot \Delta t = Q_B - Q_A \quad (\text{eq. 1})$$

Em um ciclo termodinâmico a variação de entropia total é nula. Assim, segue:

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{303}{280} \Rightarrow Q_B = \frac{303}{280} \cdot Q_A \quad (\text{eq. 2})$$

Manipulando as equações (1) e (2) temos:

$$Q_B = 2635 \text{ J}$$

Também temos a igualdade: (Variação total nula de entropia)

$$\frac{Q_C}{Q_B} = \frac{T_C}{T_B} = \frac{300}{303} \Rightarrow Q_C = \frac{300}{303} \cdot Q_B = 2609 \text{ J}$$

O trabalho da máquina térmica pode ser calculado como:

$$\tau_{MT} = 2635 - 2609 = 26 \text{ J} = 0,035 \text{ HP}$$

Portanto, a fala do inventor é falsa.

**Gabarito: Afirmação do inventor é incorreta.**

### Questão 59.

(IME – 2004) Uma certa usina termoelétrica tem por objetivo produzir eletricidade para consumo residencial a partir da queima de carvão. São consumidas  $7,2$  toneladas de carvão por hora e a combustão de cada quilo gera  $2 \cdot 10^7 \text{ J}$  de energia. A temperatura de queima é de  $907^{\circ}\text{C}$  e existe uma rejeição de energia para um riacho cuja temperatura é de  $22^{\circ}\text{C}$ . Estimativas indicam que o rendimento da termoelétrica é  $75\%$  do máximo admissível teoricamente. No discurso de inauguração desta usina, o palestrante afirmou que ela poderia atender, no mínimo, à demanda



de **100.000** residências. Admitindo que cada unidade habitacional consome mensalmente **400 kWh** e que a termoelétrica opera durante **29,63** dias em cada mês, o que equivale a aproximadamente  **$2,56 \cdot 10^6$**  segundos, determine a veracidade daquela afirmação e justifique sua conclusão através de uma análise termodinâmica do problema.

**Comentários:**

Considerando o rendimento de Carnot

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \left( \frac{22 + 273}{907 + 273} \right) = 75\%$$

O rendimento da usina termoelétrica é 75% do rendimento de Carnot:

$$\eta = 75\% \cdot \eta_{carnot} = 56,25\%$$

A potência fornecida pela usina é dada por:

$$P = \frac{7200(Kg)}{3600(s)} \cdot \frac{20000000(J)}{1(Kg)} \cdot \frac{56,25}{100} = 2,25 \cdot 10^7 W$$

O palestrante declarou a potência de:

$$P_{palestrante} = \frac{400(KWh) \cdot 10^6}{2,56 \cdot 10^6(s)} = \frac{400 \cdot 10^3(W) \cdot 3600(s) \cdot 100000}{2,56 \cdot 10^6(s)} = 5,625 \cdot 10^7 W$$

Como  $P_{palestrante} > P$ , não é verdadeira a declaração!

**Gabarito: A potência declarada pelo palestrante não atende à demanda das 100.000 residências.**

**Questão 60.**

(IME – 2007) Uma massa  $m$  de ar, inicialmente a uma pressão de **3 atm**, ocupa  **$0,1 m^3$**  em um balão. Este gás é expandido isobaricamente até um volume de  **$0,2 m^3$**  e, em seguida, ocorre uma nova expansão através de um processo isotérmico, sendo o trabalho realizado pelo gás durante esta última expansão igual a **66000 J**. Determine:

- a. o trabalho total realizado em joules pelo gás durante todo o processo de expansão;
- b. o calor total associado às duas expansões, interpretando fisicamente o sinal desta grandeza.

Dados:  **$1 \text{ atm} = 1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$** ,  **$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$**  e  **$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$** .

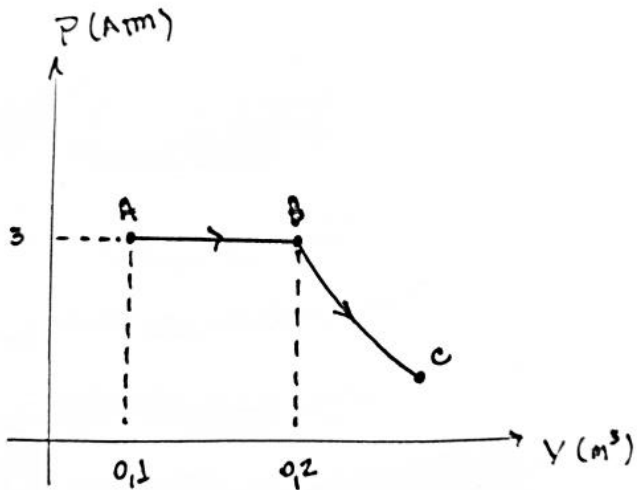
Obs.: suponha que o ar nestas condições possa ser considerado como gás ideal.

**Comentários:**

a)

Com as informações do enunciado podemos montar o seguinte diagrama:





O Trabalho total é a somatória de todos os trabalhos dos processos:

$$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC}$$

$$\tau = (3) \cdot (0,1 \cdot 10^5) + 660000$$

$$\boxed{\tau = 96.000 \text{ J}}$$

b)

A partir da primeira lei da termodinâmica ( $Q_{entra} = \Delta U + \tau_{pelo \text{ gás}}$ ):

$$Q = \Delta U + \tau = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + 96000$$

Da relação entre as capacidades caloríficas temos:

$$\frac{C_P}{C_V} = 1,4 ; C_P - C_V = R \text{ (Relação de Mayer)}$$

Desta maneira:

$$C_V = \frac{5}{2} R$$

$$\Delta U_{AB} = n \cdot C_V \cdot \Delta T = \frac{5}{2} \cdot R \cdot n \cdot \Delta T = 0,4 \cdot P \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot 300000 \cdot 0,1 = 75.000 \text{ J}$$

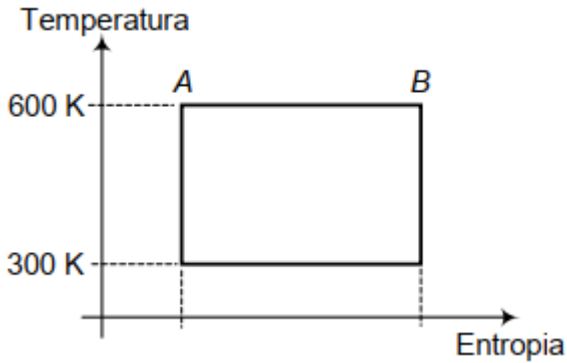
$$\Delta U_{BC} = 0 \text{ (Transformação isotérmica)}$$

Portanto, o calor é dado por:

$$Q = 75.000 + 96.000 = 171.000 \text{ J}$$

**Gabarito: a) 96.000 J b) 171.000 J**

**Questão 61.**



(IME – 2008) Uma máquina térmica opera a **6000** ciclos termodinâmicos por minuto, executando o ciclo de Carnot, mostrado na figura abaixo. O trabalho desta máquina térmica é utilizado para elevar verticalmente uma carga de **1000 kg** com velocidade constante de **10 m/s**. Determine a variação da entropia no processo AB, representado na figura. Considere a aceleração da gravidade igual a **10 m/s<sup>2</sup>** e os processos termodinâmicos reversíveis.

**Comentários:**

No diagrama acima temos que o trabalho realizado é numericamente igual a área do ciclo. A primeira lei em termos diferenciais é:

$$dQ = dU + d\tau$$

Para um ciclo a variação de energia interna é nula:

$$dU = 0 \Rightarrow \frac{dQ}{T} = \frac{d\tau}{T}$$

Mas temos:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Portanto,

$$dS = \frac{d\tau}{T} \Rightarrow \tau = \oint T \cdot dS = \text{Área}$$

Assim, para um ciclo acima:

$$\tau = \text{Área} = (600 - 300) \cdot \Delta S$$

Para 6000 ciclos por minuto, temos uma potência de:

$$P = \frac{6000 \cdot \Delta S}{60} = 30000 \cdot \Delta S$$

Para a elevação da carga proposta e, como a força é constante temos:

$$P = F \cdot v = m \cdot g \cdot v = 1000 \cdot 10 \cdot 10 = 30000 \cdot \Delta S$$

$$\Delta S = \frac{10}{3} \text{ J/K}$$

**Gabarito:**  $\frac{10}{3} \frac{J}{K}$

**Questão 62.**

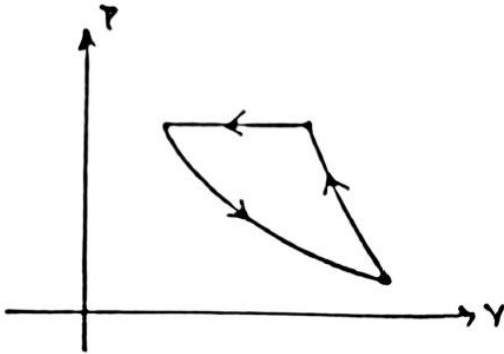


(IME -2008) Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, seguida de uma compressão adiabática. A variação total da energia interna do gás poderá ser nula se, dentre as opções abaixo, a transformação seguinte for uma:

- a) compressão isotérmica.
- b) expansão isobárica.
- c) compressão isobárica.
- d) expansão isocórica.
- e) compressão isocórica.

**Comentários:**

A variação de energia interna será nula se houver um ciclo fechado. Considerando os dados fornecidos, a única opção viável será uma compressão isobárica.



**Gabarito: C**

**Questão 63.**

(IME – 2009) Um industrial possui uma máquina térmica operando em um ciclo termodinâmico, cuja fonte de alimentação advém da queima de óleo combustível a 800 K. Preocupado com os elevados

custos do petróleo, ele contrata os serviços de um inventor. Após estudo, o inventor afirma que o uso do óleo combustível pode ser minimizado através do esquema descrito a seguir: um quarto do calor necessário para acionar a máquina seria originado da queima de bagaço de cana a 400 K, enquanto o restante seria proveniente da queima de óleo combustível aos mesmos 800 K. Ao ser inquirido sobre o desempenho da máquina nesta nova configuração, o inventor argumenta que a queda no rendimento será inferior a 5%. Você julga esta afirmação procedente? Justifique estabelecendo uma análise termodinâmica do problema para corroborar seu ponto de vista. Considere que, em ambas as situações, a máquina rejeita parte da energia para o ar atmosférico, cuja temperatura é 300 K.

**Comentários:**

Em uma máquina térmica reversível de Carnot a variação de entropia total do ciclo é nula. Isso porque, a entropia é uma função de estado.

Assim, a somatória de todas as entropias envolvidas deve ser nula:

Para uma única fonte térmica:



$$\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \Rightarrow \frac{Q_H}{800} + \frac{Q_C}{300} = 0 \Rightarrow |Q_C| = \frac{3}{8} \cdot |Q_H|$$

O rendimento de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{3}{8} = 62,5\%$$

Para duas fontes térmicas:

$$\frac{Q_{H1}}{T_{H1}} + \frac{Q_{H2}}{T_{H2}} + \frac{Q'_C}{T_C} = 0 \Rightarrow \frac{Q_{H1}}{400} + \frac{Q_{H2}}{800} + \frac{Q'_C}{300} = 0$$

Do enunciado:

$$Q_{H1} = \frac{1}{4} \cdot Q_H ; Q_{H2} = \frac{3}{4} \cdot Q_H$$

Substituindo os valores:

$$Q'_C = \frac{15}{32} \cdot Q_H$$

Assim, o rendimento é:

$$\eta' = 1 - \frac{Q'_C}{Q_H} = 1 - \frac{15}{32} \Rightarrow \boxed{\eta' = 53,1\%}$$

**Gabarito: O rendimento cai 9,4 %, mais que os 5% alegados pelo inventor erroneamente.**

#### Questão 64.

(IME – 2010) Atendendo a um edital do governo, um fabricante deseja certificar junto aos órgãos competentes uma geladeira de baixos custo e consumo. Esta geladeira apresenta um coeficiente de desempenho igual a **2** e rejeita **9/8 kW** para o ambiente externo. De acordo com o fabricante, estes dados foram medidos em uma situação típica de operação, na qual o compressor da geladeira se manteve funcionando durante **1/8** do tempo à temperatura ambiente de **27 °C**. O edital preconiza que, para obter a certificação, é necessário que o custo mensal de operação da geladeira seja, no máximo, igual a **R\$ 5,00** e que a temperatura interna do aparelho seja inferior a **8 °C**. O fabricante afirma que os dois critérios são atendidos, pois o desempenho da geladeira é **1/7** do máximo possível. Verifique, baseado nos princípios da termodinâmica, se esta assertiva do fabricante está tecnicamente correta. Considere que a tarifa referente ao consumo de **1 kWh** é **R\$ 0,20**.

#### Comentários:

Considerando o coeficiente de desempenho como a razão entre o calor retirado dos alimentos e o trabalho elétrico temos:

$$k_{real} = \frac{1}{7} \cdot k_{max} = 2 \Rightarrow k_{max} = 14$$

$$k_{max} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{T_C}{300 - T_C} = 14$$

$$T_C = 280 K$$



Dessa forma, qualquer outro coeficiente de performance levará a uma temperatura interna do refrigerador, menor que 280 K.

Para o desempenho real da geladeira:

$$k' = k_{real} + 1 = 2 + 1 = 3$$

Através de  $K'$ , conseguimos calcular a potência elétrica consumida pela geladeira.

$$k' = \frac{Q_H}{\tau} \Rightarrow 3 = \frac{9}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{3}{8} \text{ kW}$$

O gasto em um mês:

$$C = \tau \cdot \Delta t \cdot \text{Tarifa} = \frac{3}{8} \cdot \frac{1}{8} \cdot 30 \cdot 24 \cdot 0,2$$

$$C = R\$ 6,75$$

Portanto, excede:

$$\boxed{R\$ 1,75}$$

**Gabarito: A geladeira, nas condições reais, excede em R\$ 1,75 o custo máximo anunciado.**

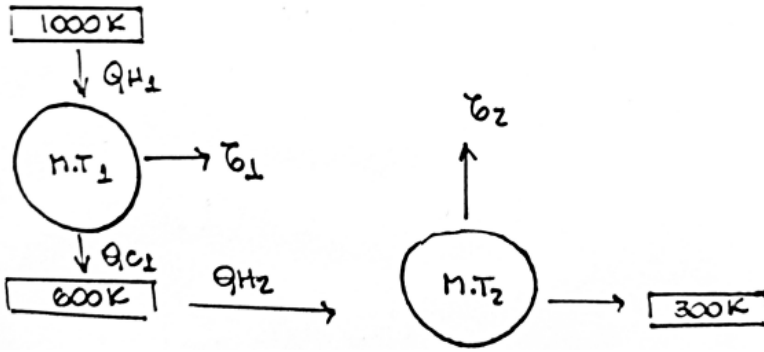
### Questão 65.

(IME – 2012) Em visita a uma instalação fabril, um engenheiro observa o funcionamento de uma máquina térmica que produz trabalho e opera em um ciclo termodinâmico, extraíndo energia de um reservatório térmico a **1000 K** e rejeitando calor para um segundo reservatório a **600 K**. Os dados de operação da máquina indicam que seu índice de desempenho é **80%**. Ele afirma que é possível racionalizar a operação acoplado uma segunda máquina térmica ao reservatório de menor temperatura e fazendo com que esta rejeite calor para o ambiente, que se encontra a **300 K**. Ao ser informado de que apenas **60%** do calor rejeitado pela primeira máquina pode ser efetivamente aproveitado, o engenheiro argumenta que, sob estas condições, a segunda máquina pode disponibilizar uma quantidade de trabalho igual a **30%** da primeira máquina. Admite-se que o índice de desempenho de segunda máquina, que também opera em um ciclo termodinâmico, é metade do da primeira máquina. Por meio de uma análise termodinâmica do problema, verifique se o valor de **30%** está correto.

Observação: o índice de desempenho de uma máquina térmica é a razão entre o seu rendimento real e o rendimento máximo teoricamente admissível.

### Comentários:

Para a primeira máquina térmica temos:



O primeiro índice de desempenho é dado por:

$$I_1 = \frac{\eta_{real-1}}{\eta_{max-1}} = 0,8$$

O rendimento máximo (Carnot) é dado por:

$$\eta_{max-1} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{600}{1000} = 40\%$$

Portanto, para a primeira máquina:

$$0,8 = \frac{\eta_{real-1}}{40\%}$$

$$\eta_{real-1} \cong 32\%$$

Para a segunda máquina térmica, o segundo índice de desempenho é dado por:

$$I_2 = \frac{I_1}{2} = 0,4$$

O rendimento máximo (Carnot) é dado por:

$$\eta_{max-2} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$$

Portanto, para a primeira máquina:

$$0,4 = \frac{\eta_{real-2}}{50\%}$$

$$\eta_{real-2} \cong 20\%$$

O trabalho realizado pelas máquinas 1 e 2 são:

$$\tau_1 = \eta_{real-1} \cdot Q_{1H} \Rightarrow \tau_1 = 32\% \cdot (\tau_1 + Q_{1C}) \Rightarrow \tau_1 = 0,47 \cdot Q_{1C}$$

$$\tau_2 = \eta_{real-2} \cdot Q_{2H} \Rightarrow \tau_2 = 20\% \cdot 60\% \cdot Q_{1C} \Rightarrow \tau_2 = 0,12 \cdot Q_{1C}$$

A razão verdadeira entre os trabalhos é dada por:

$$\boxed{\frac{\tau_2}{\tau_1} = 25,5\%}$$

Portanto, o valor está incorreto.

**Gabarito: 30 % está incorreto, valor verdadeiro é de 25,5 %.**



**Questão 66.**

(IME – 2017) Um gás ideal e monoatômico contido em garrafa fechada com  $0,1 \text{ m}^3$  está inicialmente a  $300 \text{ K}$  e a  $100 \text{ kPa}$ . Em seguida, esse gás é aquecido, atingindo  $600 \text{ K}$ . Nessas condições, o calor fornecido ao gás, em **kJ**, foi:

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 30
- e) 45

**Comentários:**

Como se trata de um gás ideal, temos a equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 100 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = n \cdot R \cdot 300 \Rightarrow n \cdot R = \frac{100}{3}$$

Como a garrafa é fechada e indeformável (por simplificação), o trabalho realizado/recebido pelo gás é nulo. Através da primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + \tau = n \cdot C_V \cdot \Delta T + 0 = n \cdot \frac{3R}{2} \cdot \Delta T \Rightarrow Q = \frac{100}{3} \cdot \frac{3}{2} \cdot 300$$

$$\boxed{Q = 15 \text{ kJ}}$$

**Gabarito: C**

**Questão 67.**

(IME – 2017) Um pesquisador recebeu a incumbência de projetar um sistema alternativo para o fornecimento de energia elétrica visando ao acionamento de compressores de geladeiras a serem empregadas no estoque de vacinas. De acordo com os dados de projeto, a temperatura ideal de funcionamento da geladeira deve ser  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 10 horas de operação contínua, sendo que a mesma possui as seguintes dimensões:  $40 \text{ cm}$  de altura,  $30 \text{ cm}$  de largura e  $80 \text{ cm}$  de profundidade. Após estudo, o pesquisador recomenda que, inicialmente, todas as faces da geladeira sejam recobertas por uma camada de  $1,36 \text{ cm}$  de espessura de um material isolante, de modo a se ter um melhor funcionamento do dispositivo. Considerando que este projeto visa a atender comunidades remotas localizadas em regiões com alto índice de radiação solar, o pesquisador sugere empregar um painel fotovoltaico que converta a energia solar em energia elétrica. Estudos de viabilidade técnica apontam que a eficiência térmica da geladeira deve ser, no mínimo, igual a  $50\%$  do máximo teoricamente admissível. Baseado em uma análise termodinâmica e levando em conta os dados abaixo, verifique se a solução proposta pelo pesquisador é adequada.

Dados:

- Condutividade térmica do material isolante:  $0,05 \text{ W/m }^\circ\text{C}$ ;
- Temperatura ambiente da localidade:  $34 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- Insolação solar média na localidade:  $18 \text{ MJ/m}^2$ , em 10 horas de operação contínua;





- Rendimento do painel fotovoltaico: **10%**;
- Área do painel fotovoltaico: **2 m<sup>2</sup>**.

**Comentários:**

Para um refrigerador o coeficiente de desempenho é dado pela seguinte razão:

$$k = \frac{Q_c}{\tau} = \frac{Q_c}{Q_H - Q_c}$$

Para um refrigerador de Carnot a igualdade torna-se:

$$k_{\text{máx}} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{277}{307 - 277} = 9,23$$

Assim, a viabilidade térmica (v) desse refrigerador é:

$$v = 0,5 \cdot 9,23 = 4,62$$

O fluxo de calor através desse refrigerador pode ser moldado pela Lei de Fourier:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{e} = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{0,05 \cdot 1,36 \text{ (m}^2\text{)} \cdot (34 - 4)\text{ (}^\circ\text{C)}}{0,0136 \text{ (m)}} = \frac{Q}{10 \cdot 60 \cdot 60}$$

$$Q = 5,4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Esse calor Q é o calor que flui de fora para dentro.

A potência gerada pelo painel fotovoltaico é:

$$\tau = (\text{rendimento}) \cdot A \cdot I = (0,1) \cdot (2) \cdot (18 \cdot 10^6) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Para calcular o calor rejeitado utilizamos o conceito de viabilidade térmica:

$$v = \frac{Q_F}{\tau} = \frac{Q_F}{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}} \Rightarrow Q_F = 16,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Note que o calor rejeitado pela fonte é maior que o calor fornecido. Assim, o processo não é viável.

**Gabarito: O coeficiente de desempenho corresponde a 16 % do máximo possível. Logo, a solução não é adequada.**

**Questão 68.**

(IME – 2018) Considere as afirmações abaixo, relativas a uma máquina térmica que executa um ciclo termodinâmico durante o qual há realização de trabalho.

Afirmiação I. se as temperaturas das fontes forem 27 °C e 427 °C, a máquina térmica poderá apresentar um rendimento de 40 %.

Afirmiação II. Se o rendimento da máquina for 40 % do rendimento ideal para temperaturas das fontes iguais a 27 °C e 327 °C e se o calor rejeitado pela máquina for 0,8 kJ, o trabalho realizado será **1,8 kJ**.





Afirmção III. Se a temperatura de uma das fontes for 727 °C e se a razão entre o calor rejeitado pela máquina e o calor recebido for 0,4 a outra fonte apresentará uma temperatura de **-23 °C** no caso de o rendimento da máquina ser 80% do rendimento ideal.

Está(ão) correta(s) a(s) seguinte(s) afirmação(ões):

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) III, apenas.

**Comentários:**

I) CORRETA.

Para o rendimento de uma máquina térmica de Carnot temos:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{300}{700} = 57,1\%$$

Como o rendimento de Carnot é o máximo atingido, 40% é um valor válido.

II) FALSA.

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{300}{600} = 1/2$$

O rendimento real é dado por:

$$\eta = 0,4 \cdot \eta_{m\acute{a}x} = 0,2$$

Para o rendimento real temos:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} \Rightarrow 0,2 = 1 - \frac{0,8 \text{ kJ}}{|Q_H|} \Rightarrow |Q_H| = 1 \text{ kJ}$$

Da conservação da energia nas máquinas térmica:

$$|Q_H| = |Q_C| + \tau$$

$$\boxed{\tau = 0,2 \text{ kJ}}$$

Portanto, a afirmação é falsa.

III) CORRETA.

Do enunciado  $\frac{|Q_C|}{|Q_H|} = 0,4$  e, portanto:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = 1 - 0,4 = 0,6$$

O rendimento de Carnot é dado por:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{\eta}{0,8} = \frac{0,6}{0,8} \Rightarrow \boxed{\frac{T_C}{T_H} = 0,25}$$



**Gabarito: D**

**Questão 69.**

(IME – 2018) Durante um turno de 8 horas, uma fábrica armazena **200 kg** de um rejeito na fase vapor para que posteriormente seja liquefeito e estocado para descarte seguro. De modo a promover uma melhor eficiência energética da empresa, um inventor propõe o seguinte esquema: a energia proveniente do processo de liquefação pode ser empregada em uma máquina térmica que opera em um ciclo termodinâmico de tal forma que uma bomba industrial de potência **6,4 HP** seja acionada continuamente 8 horas por dia. Por meio de uma análise termodinâmica, determine se a proposta do inventor é viável, tomando como base os dados abaixo.

Dados:

- calor latente do rejeito: **2 · 160 kJ/kg**;
- temperatura do rejeito antes de ser liquefeito: **127 °C**;
- temperatura do ambiente onde a máquina térmica opera: **27 °C**;
- rendimento da máquina térmica: **80%** do máximo teórico;
- perdas associadas ao processo de acionamento da bomba: **20%**; e
- **1 HP = 3/4 kW**.

**Comentários:**

Primeiramente, encontra-se a quantidade de calor que pode ser gerada a partir de 200 Kg de vapor:

$$Q = m \cdot L = 200 \cdot (-2160) = -432000 \text{ kJ}$$

A máquina térmica apresenta um rendimento:

$$\eta = 0,8 \cdot \eta_{carnot}$$

$$\eta = 0,8 \cdot \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) = 0,8 \cdot \left(1 - \frac{300}{400}\right) = 20\%$$

Em uma máquina térmica, sabemos que:

$$\tau = \eta \cdot Q_H = 0,2 \cdot 432000 = 86400 \text{ kJ}$$

O enunciado diz que há perde de 20 % dessa energia:

$$E = 0,8 \cdot \tau = 69120 \text{ kJ}$$

Após 8 horas de uso:

$$Potência = \frac{E}{\Delta t} = \frac{69120000 \text{ J}}{8 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 2400 \text{ W}$$

A potência em HP será:

$$Pot_{HP} = \frac{2400}{750} = \boxed{3,2 \text{ HP}}$$

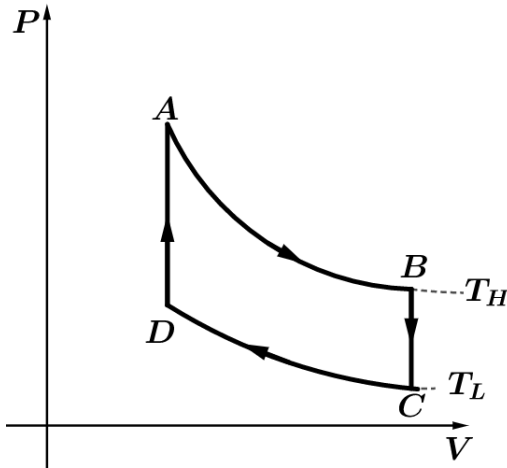
Desta maneira a proposta não é válida! Isso porque, apenas 50 % da potência será entregue.



**Gabarito: Proposta inviável.**

**Questão 70.**

Considere o ciclo de Sterling mostrado na figura abaixo, que é composto por duas isocóricas e duas isotérmicas. Para esse ciclo, calcule o rendimento do ciclo em função do rendimento de Carnot, do calor específico a volume constante, e dos volumes máximos e mínimos.



Comentários:

Trabalho dos processos isotérmicos:

$$\tau_1 = n \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right)$$

$$\tau_2 = n \cdot R \cdot T_L \cdot \ln \left( \frac{V_D}{V_C} \right)$$

O trabalho total é a soma dos trabalhos:

$$\tau = n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) (T_H - T_L)$$

O calor absorvido (“calor quente”) é dado por:

$$Q_H = n \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) + n \cdot C_V \cdot (T_H - T_L)$$

O rendimento é dado pela razão:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_H} = \frac{n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) (T_H - T_L)}{n \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) + n \cdot C_V \cdot (T_H - T_L)} = \frac{n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) \left( 1 - \frac{T_L}{T_H} \right)}{n \cdot R \cdot \ln \left( \frac{V_C}{V_D} \right) + n \cdot C_V \cdot \left( 1 - \frac{T_L}{T_H} \right)}$$

$$\eta = \frac{\eta_C}{\frac{C_V \cdot \eta_C}{R \cdot \ln \frac{V_C}{V_D}} + 1}$$



Gabarito:  $\eta = \frac{\eta_C}{\frac{c_V \cdot \eta_C}{R \cdot \ln \frac{V_C}{V_D}} + 1}$

## Considerações finais

Querido aluno(a),

Se você está com certo receio em algum tópico, reveja toda a teoria e depois refaça os exercícios propostos. Uma valiosa dica é fazer a lista inteira e só depois olhar o gabarito com a resolução. Com isso, você se forçará a ter uma maior atenção na feitura de questões e, portanto, aumentará sua concentração no momento de prova.

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

**Conte comigo,  
Vinícius Fulconi**



**@viniciusfulconi**



**vinicius.fulconi**