

**FOLHA 09**

**ÍNDICE**

- GASES IDEAIS p. 1
- TERMODINÂMICA p. 5

**GASES IDEAIS**

Nós vamos estudar a teoria dos gases ideais, na qual devemos levar em conta algumas propriedades e será importante você saber a validade das equações que veremos.

É também importante prestar atenção em palavras chaves, tais como variáveis de estado, energia interna etc.

Irei seguir a sequência do livro texto, apresentando exemplos diferentes e textos complementares, entretanto o livro será complementar, ou seja, será uma ferramenta auxiliar importante. Além disso, o layout desta página foi modificado para facilitar no uso em aula à distância.

**GRANDEZAS IMPORTANTES**

Você já deve ter ouvido falar que para medirmos unidade minúsculas, na escala atômica, é conveniente utilizarmos a chamada **unidade de massa atômica** ou simplesmente  $u$ . Lembremos que esta unidade corresponde à aproximadamente a massa de um próton (ou nêutron). Na verdade, utilizamos o isótopo 12 do carbono ( $^{12}\text{C}$ ) que possui 6 prótons e 6 nêutrons.

Assim, podemos dizer que um átomo de carbono possui massa que corresponde à 12  $u$ .

Podemos também dizer que:


$$1u \approx 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad \text{Eq. (1)}$$

Vamos nomear as equações, bem como os valores de certas constantes para facilitar a organização deste material. Agora continuando, também podemos dizer que:

$$\text{massa do próton} \approx \text{massa do nêutron} \approx u \quad \text{Eq. (2)}$$

Chamemos de **massa atômica** a massa de um átomo em unidades de massa atômica, sendo que o valor apresentado na tabela periódica corresponde ao valor médio da massa atômica do elemento.

# Tabela periódica



1 H hidrogênio (1,0078 - 1,0062)	2 He hélio 4,0026											13 B boro (10,806 - 10,821)	14 C carbono (12,009 - 12,012)	15 N nitrogênio (14,006 - 14,008)	16 O oxigênio (15,999 - 16,000)	17 F flúor 18,998	18 Ne neônio 20,180												
3 Li lítio (6,938 - 6,997)	4 Be berílio 9,0122											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício (28,084 - 28,086)	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre (32,059 - 32,076)	17 Cl cloro (35,446 - 35,457)	18 Ar argônio (39,792 - 39,963)												
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio (24,304 - 24,307)	3 Sc escândio 44,956	4 Ti titânio 47,867	5 V vanádio 50,942	6 Cr cromio 51,996	7 Mn manganês 54,938	8 Fe ferro 55,845(2)	9 Co cobalto 58,933	10 Ni níquel 58,693	11 Cu cobre 63,546(3)	12 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo (79,901 - 79,907)	36 Kr criptônio 83,798(2)												
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromio 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinco 65,38(2)	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29												
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio	44 Ru rutênio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	81 Tl talho (204,38 - 204,39)	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio	85 At astato	86 Rn radônio												
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57 a 71 Lanthanides	72 Hf hafnio 178,486(6)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os ósio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	113 Nh nihônio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio												
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89 a 103 Actinides	104 Rf rutherfordio	105 Db dúbnio	106 Sg seabórgio	107 Bh bóhrio	108 Hs hássio	109 Mt meitnério	110 Ds darmstádio	111 Rg roentgênio	112 Cn copernício	113 Nh nihônio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio												
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm tulio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97	89 Ac actínio	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np neptúnio	94 Pu plutônio	95 Am américio	96 Cm cúrio	97 Bk berquílio	98 Cf califórnia	99 Es einstênio	100 Fm fêrmio	101 Md mendelévio	102 No nobélio	103 Lr laurêncio

www.tabelaperiodica.org

Figura 1: Tabela periódica, versão 2020.

**EXERCÍCIOS DE AQUECIMENTO**

Calcule a massa de um átomo de oxigênio, em kg.

A massa atômica do oxigênio (átomo) é de 16 unidades de massa atômica. Para resolvermos isso, basta fazermos uma regra de três.

$$1u - 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$18u - m$$

$$\Rightarrow m = 18 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \Rightarrow m \approx 3,0 \cdot 10^{-26} \text{ kg.}$$

Um **mol** é definido como a quantidade de unidades de massa atômica necessária para se obter um grama. Vejamos o seu valor:

$$1 \text{ mol} = 6,023 \cdot 10^{23} \quad \text{Eq. (3)}$$

Um outro valor importante é o **número de Avogadro** ( $N_A$ ), que nos será também bastante útil:

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad \text{Eq. (4)}$$

Definimos como massa molar ( $M$ ) a massa de um mol de um certo elemento. Assim, sendo  $n$  o número de mols (*plural* de mol) desse elemento, a massa  $m$  da amostra será:

$$m = n \cdot M \quad \text{Eq. (5)}$$

**Massa molecular** ( $MM$ ) é a massa de uma molécula que, em geral, também é medida em unidade de massa atômica.

**EXERCÍCIO DE AQUECIMENTO**

Consultando a [tabela periódica](#) ao lado, determine a massa molecular e a massa molar da água. Determine qual a massa de 15 mols de água, em grammas.

A massa molecular da água é a soma da massa atômica do oxigênio (16 u) com a massa atômica de dois átomos de hidrogênio (2 u). Portanto, a massa molecular da água é de 18 u. A massa molar da água é de 18 g/mol.

A massa de 15 mols de água é determinada por:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol} &- 18 \text{ g} \\ 15 \text{ mol} &- m \\ \Rightarrow m &= 18 \cdot 15 \Rightarrow m \approx 270 \text{ g.} \end{aligned}$$

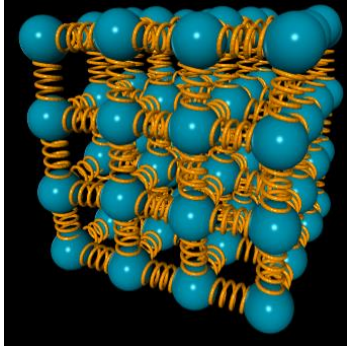


Figura 2: Animação das moléculas se agitando em um cristal. Acesse esta animação em <https://www.glowscript.org/>, clique em *Exemple programs* e clique em *Run* logo abaixo *AtomicSolid-VPython*

Lembremos que a **temperatura** de uma substância está relacionada à vibração das moléculas. Veja uma concepção desta ideia no link abaixo da [figura 2](#). Tome cuidado, no entanto, para não pensar que as moléculas (ou átomos) estão ligadas por molas, pois na verdade estas molas representam apenas a interação à distância (força) entre as moléculas (ou átomos).

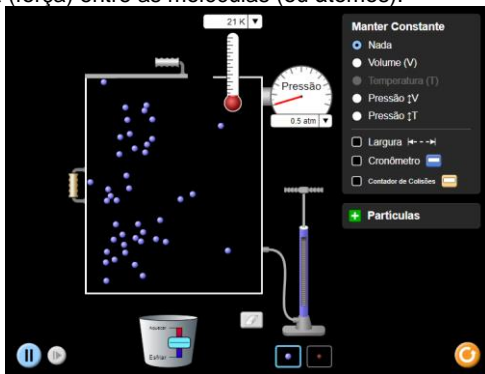


Figura 3: Animação interativa do comportamento clássico de gases ideais. Acesse em [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html)

Porém vamos estudar o comportamento de gases ideais, sendo assim, você pode acessar uma animação com a possibilidade de diversos controles na [figura 3](#), acessando o link logo abaixo. Faça o seguinte teste: coloque moléculas de dois tamanhos distintos e repare qual delas serão mais rápidas! Você irá concluir que as moléculas serão mais rápidas. O conceito de temperatura nos é, até certa medida, intuitivo, assim podemos supor que as moléculas devem possuir a mesma temperatura, logo o que seria igual entre as moléculas não deve ser a velocidade, mas alguma outra grandeza. Respondendo à pergunta: a temperatura das moléculas está relacionada à energia cinética das moléculas. Lembremos que a energia cinética de uma molécula será:

$$E_{cin} = \frac{MM \cdot v^2}{2} \quad \text{Eq. (6)}$$

Veremos isso com mais detalhes em breve. Por hora, vamos à mais uma grandeza importante e mais intuitiva para vocês: a **pressão**. Repare novamente na animação da [figura 3](#) e observe que quanto mais colisões ocorrem nas paredes do reservatório maior será a pressão do gás. Assim, a pressão de um gás está relacionada ao número médio de colisões que ocorrem entre as partículas e a parede.

Vamos à última grandeza importante antes de iniciarmos o estudo dos gases: o **volume**.

Aqui é importante que você se lembre de como calcular o volume de alguns objetos tridimensionais, sendo o mais importante deles o cilindro. Vamos relembrar algumas dessas fórmulas.

Cálculo do volume de um cilindro de altura  $h$  e base de raio  $r$ . A área da base deste cilindro será  $A = \pi \cdot r^2$  e o volume será dado por:

$$V = A \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Eq. (7)}$$

O volume de um cone de altura  $h$  e raio da base  $r$ :

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Eq. (8)}$$

Por fim, o volume de uma esfera de raio  $r$  será:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \quad \text{Eq. (9)}$$

Agora vamos entender o que chamaremos de gás ideal:

- A quantidade de molécula no volume estudado é muito grande (da ordem  $10^{15}$  ou mais moléculas);
- Em cada instante, o número de colisões com a parede é imenso;
- As moléculas não interagem entre si à distância e a colisão com as paredes são sempre elásticas.

**LEI DE BOYLE**

Em 1660, Robert Boyle, um físico e químico irlandês, estabeleceu uma relação entre o **volume** e **pressão** para o caso de uma transformação gasosa à **temperatura constante**.

Verifique na [figura 4](#) o verbete em inglês sobre o assunto. Clique ali para ver a animação, ou procure na *internet* por *Lei de Boyle* que você encontrará facilmente.

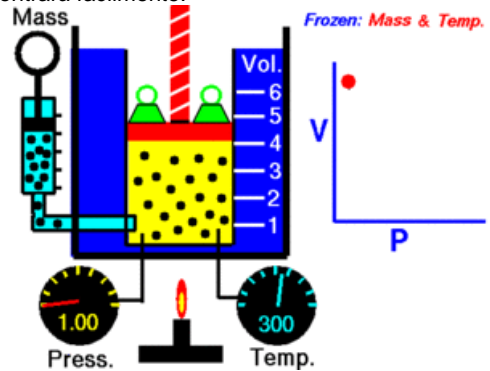
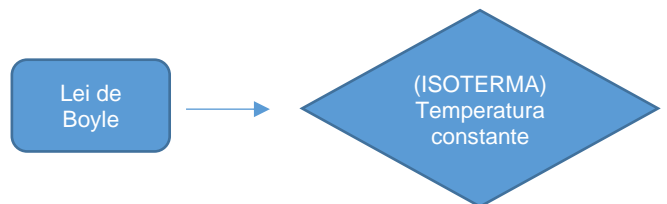


Figura 4: Verifique esta animação da *Wikipedia* sobre a Lei de Boyle: [https://en.wikipedia.org/wiki/Boyle%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Boyle%27s_law)



A relação que Boyle descobriu é que o produto entre pressão e volume é sempre uma constante. Assim:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (10)}$$

Na figura a seguir ([figura 5](#)) está representada graficamente a relação entre a pressão e o volume: a figura apresentada é uma hipérbole.



Figura 5: Representação gráfica da lei de Boyle: **isoterma**. Podemos enunciar a Lei de Boyle da seguinte forma:

Para uma transformação isoterma, o produto entre a pressão e o volume é sempre uma constante.

De forma equivalente, podemos dizer que numa transformação isotérmica, a pressão e o volume são grandezas inversamente proporcionais.

#### LEIS DE CHARLES/GAY LUSSAC

Apenas 127 anos depois de Boyle, o francês Jacques Alexandre César Charles estudou quais seriam as relações entre as grandezas quando matemos o volume e a pressão constante. No entanto, o trabalho de Charles não foi publicado, tendo isso sido feito 15 anos depois por Gay-Lussac, que chegou aos mesmos resultados.

Quando a **pressão** for constante, isto é, quando o processo for **isobárico**, a razão entre o volume e a temperatura do gás será constante.



Figura 6: Uma das leis de Charles/Gay-Lussac: **isobárica**.

ISOBÁRICA:

Razão entre o volume e a temperatura é constante.

Podemos escrever da seguinte forma:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (11)}$$

Na [figura 6](#) vamos representar o gráfico de  $V$  por  $T$ . Quando o **volume** for constante chamamos o processo de **isométrico** ou **isocórico** ou **isovolumétrico**. Neste caso, a razão entre a pressão e a temperatura do gás será constante.



Figura 7: Outra lei de Charles/Gay-Lussac: **isocórica**.

ISOCÓRICA:

Razão entre a pressão e a temperatura é constante.

Podemos escrever da seguinte forma:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots = \text{constante} \quad \text{Eq. (12)}$$

Na [figura 7](#) vamos representar o gráfico de  $V$  por  $T$ .

#### LEI GERAL DOS GASES IDEAIS

Repare que podemos unificar as três relações anteriores em uma só, que chamaremos de Lei Geral dos Gases:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{p \cdot V}{T} = \text{constante} \quad \text{Eq. (12)}$$

Repare que podemos recuperar as relações anteriores impondo alguma grandeza como sendo constante.

$$\text{ISOTÉRMICA: } \left. \begin{array}{l} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } T_1 = T_2 \end{array} \right\} \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$\text{ISOBÁRICA: } \left. \begin{array}{l} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } p_1 = p_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{ISOCÓRICA: } \left. \begin{array}{l} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ \text{se } V_1 = V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

#### EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Falamos até agora que certas relações entre algumas grandezas nos dá uma constante, mas que constante é essa? Vamos agora responder esta pergunta, adicionando uma grandeza: o número de mols  $n$ .

A razão apresentada na [equação 12](#) é função do número de mols, da constante **universal dos gases ideais**  $R$  e da temperatura. Geralmente, escrevemos a equação na forma a seguir:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{Eq. (13)}$$

O valor da constante universal dos gases ideais, que iremos utilizar com frequência, no Sistema Internacional, é:

$$R \approx 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,31 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad \text{Eq. (14)}$$

Em outros sistemas de unidades, temos:

$$R \approx 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \approx 2,0 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

**EXERCÍCIOS – PARTE I**

1. (Fuvest 2018) Uma pessoa que vive numa cidade ao nível do mar pode ter dificuldade para respirar ao viajar para La Paz, na Bolívia (cerca de 3.600 m de altitude).

a) Ao nível do mar, a pressão barométrica é 760 mmHg e a pressão parcial de oxigênio é 159 mmHg. Qual é a pressão parcial de oxigênio em La Paz, onde a pressão barométrica é cerca de 490 mmHg?

b) Qual é o efeito da pressão parcial de oxigênio, em La Paz, sobre a difusão do oxigênio do pulmão para o sangue, em comparação com o que ocorre ao nível do mar? Como o sistema de transporte de oxigênio para os tecidos responde a esse efeito, após uma semana de aclimatação do viajante?

2. (Uem 2018) Sobre a Lei do Gás Ideal, assinale o que for **correto**.

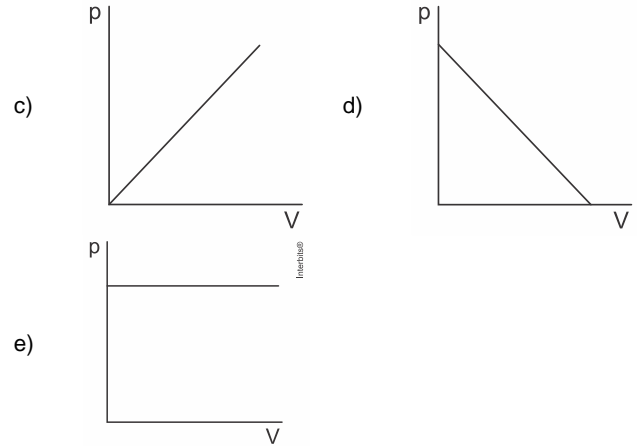
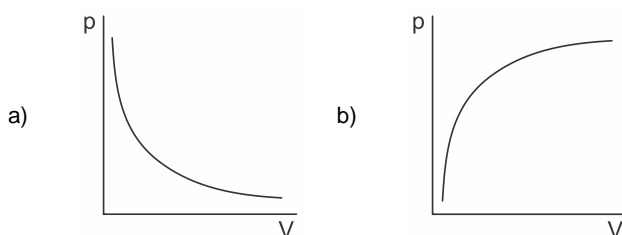
- 01) Em um recipiente de volume constante, a pressão de um gás deve ser diretamente proporcional à sua temperatura em Kelvin.
- 02) Em um recipiente mantido a uma temperatura constante, a pressão de um gás deve se comportar, em função do volume, como uma função quadrática.
- 04) Para um conjunto de amostras de um mesmo gás, todas com mesma pressão e temperatura, a razão entre as massas coincide com a razão entre os volumes.
- 08) Dobrando-se o volume e diminuindo-se pela metade a pressão de uma amostra gasosa, a temperatura final dessa amostra deve ser igual à inicial.
- 16) É possível alterar a pressão de uma amostra gasosa sem modificar sua temperatura, seu volume e sua massa.

3. (Pucrj 2018) Um gás ideal confinado é submetido a um processo tal que seu volume final é maior que seu volume inicial. Considere as afirmações abaixo, referentes ao processo.

- I. Se o processo é isotérmico, a pressão final do gás é menor do que a pressão inicial.
  - II. Se a temperatura final do gás é maior do que a inicial, o processo é isobárico.
  - III. Se a pressão final do gás é maior do que a inicial, a temperatura final do gás é necessariamente maior que a temperatura inicial.
- É correto o que se afirma em:
- a) I, somente.
  - b) I e II, somente.
  - c) I e III, somente.
  - d) II e III, somente.
  - e) I, II e III.

4. (Ufrgs 2017) Considere que certa quantidade de gás ideal, mantida a temperatura constante, está contida em um recipiente cujo volume pode ser variado.

Assinale a alternativa que melhor representa a variação da pressão ( $p$ ) exercida pelo gás, em função da variação do volume ( $V$ ) do recipiente.



5. (Uepg 2017) Sobre os gases ideais pode-se afirmar que:

- 01) Obedecem à lei geral dos gases, ou seja,  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ .
- 02) Dentre suas características temos que as colisões entre as partículas que os constituem são consideradas perfeitamente elásticas.
- 04) Para uma transformação isotérmica desses gases, as grandezas *pressão* e *volume* tornam-se inversamente proporcionais.
- 08) Para uma transformação isobárica o *volume* e a *temperatura*, são inversamente proporcionais, portanto, quando a temperatura aumentar, seu volume também aumentará. Logo, se o volume passar de  $V$  para  $V+4$ , sua temperatura passará de  $T$  para  $T+4$ .

6. (Ufrgs 2019) Considere as afirmações abaixo, sobre o comportamento térmico dos gases ideais.

- I. Volumes iguais de gases diferentes, na mesma temperatura inicial, quando aquecidos sob pressão constante de modo a sofrerem a mesma variação de temperatura, dilatam-se igualmente.
  - II. Volumes iguais de gases diferentes, na mesma temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas.
  - III. Uma dada massa gasosa, quando mantida sob pressão constante, tem temperatura  $T$  e volume  $V$  diretamente proporcionais.
- Quais estão corretas?
- a) Apenas I.
  - b) Apenas II.
  - c) Apenas I e III.
  - d) Apenas II e III.
  - e) I, II e III.

7. (Ufpr 2017) Uma minúscula bolha de ar sobe até a superfície de um lago. O volume dessa bolha, ao atingir a superfície do lago, corresponde a uma variação de 50% do seu volume em relação ao volume que tinha quando do início do movimento de subida. Considerando a pressão atmosférica como sendo de  $10^5$  Pa, a aceleração gravitacional de  $10$  m/s<sup>2</sup> e a densidade da água de  $1$  g/cm<sup>3</sup>,

- assinale a alternativa que apresenta a distância percorrida pela bolha durante esse movimento se não houve variação de temperatura significativa durante a subida da bolha.
- a) 2 m.
  - b) 3,6 m.
  - c) 5 m.
  - d) 6,2 m.
  - e) 8,4 m.

8. (Eear 2019) Um cilindro dotado de um êmbolo contém aprisionado em seu interior  $150$  cm<sup>3</sup> de um gás ideal à temperatura controlada de  $22$  °C e à pressão de  $2$  Pa. Considere que o êmbolo do cilindro pode ser movido por uma força externa, de modo que o gás seja comprimido a um terço de seu volume inicial, sem, contudo, variar a sua temperatura. Nessas condições, determine em Pascal (Pa) a nova pressão à qual o gás estará submetido.

- a) 2
- b) 3
- c) 6
- d) 9

PROFESSOR DANILO

GASES IDEAIS E TERMODINÂMICA – ENGENHARIA – 07/07/2023

9. (Upf 2019) Considerando que o volume de um gás ideal é  $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$  na temperatura  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  e pressão  $P_1$ , podemos afirmar que, na pressão  $P_2 = 0,5 P_1$  e  $T_2 = 10 T_1$ , o volume do gás, em  $\text{m}^3$ , será

a) 1      b) 5      c) 20      d) 10      e) 0,1

10. (Famerp 2020) A oxigenoterapia hiperbárica é uma modalidade terapêutica na qual o paciente respira oxigênio puro (100%), enquanto é submetido a uma pressão cerca de 2 a 3 vezes a pressão atmosférica ao nível do mar, no interior de uma câmara hiperbárica. Essa terapia provoca um aumento espetacular na quantidade de oxigênio transportado pelo sangue, na ordem de 20 vezes o volume que circula em indivíduos que estão respirando ar ao nível do mar, o que produzirá no paciente uma série de efeitos de interesse terapêutico. A câmara hiperbárica consiste em um equipamento médico fechado, resistente à pressão, geralmente de formato cilíndrico, construído de aço ou acrílico e que pode ser pressurizado com ar comprimido ou oxigênio puro.

(https://sbmh.com.br. Adaptado.)

Considere que o ar se comporta como um gás ideal, que o ar no interior da câmara hiperbárica esteja à pressão atmosférica, que o volume da câmara hiperbárica não se altere e que a temperatura no seu interior não varie. O número de mols de ar que devem ser injetados na câmara, em relação à quantidade existente inicialmente ( $n_0$ ), para produzir no interior da câmara uma pressão igual a 2,8 vezes a pressão atmosférica é

a)  $2,8 n_0$ .    b)  $3,8 n_0$ .    c)  $1,4 n_0$ .    d)  $0,9 n_0$ .    e)  $2,4 n_0$ .

11. (Ufjf-pism 2 2019) Homens como Clapeyron, Boyle, Mariotte, Gay Lussac, van der Walls, entre outros, desenvolveram importantes estudos envolvendo as propriedades de gases. O comportamento de gases reais se aproxima de gases ideais em condições de baixas pressões, bem como para gases contidos em um grande volume e gases mantidos a altas temperaturas. Considere que, numa experiência de laboratório, um recipiente de volume  $V$ , totalmente fechado, contendo  $1 \text{ mol}$  de um gás ideal sob uma pressão de  $4,0 \text{ atm}$ , é submetido a uma expansão à temperatura constante e igual a  $127^\circ\text{C}$ , e que o comportamento desse gás seja o de um gás ideal, conforme mostra o gráfico.

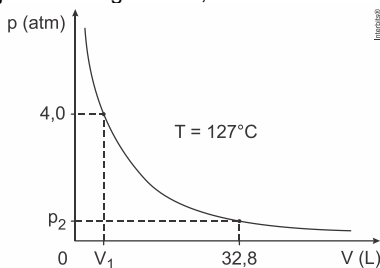


Gráfico da pressão em função do volume para um gás ideal a temperatura constante.

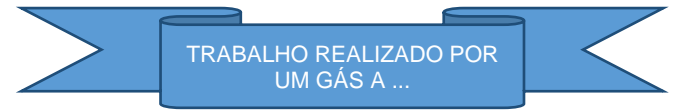
Neste caso, quando o gás estiver ocupando um volume igual a  $32,8 \text{ L}$ , a pressão exercida por ele será: (dado: a constante universal dos gases perfeitos é  $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{litro/mol} \cdot \text{K}$ )

a)  $0,32 \text{ atm}$       b)  $0,40 \text{ atm}$       c)  $1,0 \text{ atm}$   
d)  $2,0 \text{ atm}$       e)  $2,6 \text{ atm}$

**RESPOSTAS – PARTE I**

1. a)  $P = 102,5 \text{ mmHg}$ .  
b) De acordo com o item anterior, há uma menor pressão parcial de oxigênio em La Paz, o que dificulta a difusão deste gás na corrente sanguínea. A aclimação do viajante permite que haja uma aceleração na produção de hemácias pela medula óssea

vermelha, o que auxilia no fornecimento de oxigênio às células do corpo.  
2.  $01 + 04 + 08 = 13$ .      3. C      4. A  
5.  $01 + 02 + 04 = 07$ .      6. E      7. C      8. C  
9. D      10. A\*      11. C  
\* Questão sem resposta, pois a resposta correta é  $1,8 n_0$ .



**PRESSÃO CONSTANTE**

Para vermos como calcular o trabalho de um gás a pressão constante, vamos primeiramente supor um gás dentro de um cilindro com êmbolo de área  $A$ .

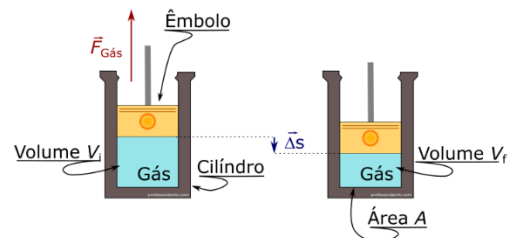


Figura 1: Cilindro de área  $A$ , gás com volume inicial  $V_i$ , êmbolo, força do gás e deslocamento do êmbolo.

Observe a figura 1 na qual apresentamos um gás que é comprimido. Vamos supor que a temperatura do gás é controlada de tal forma que a pressão do gás se mantenha constante. Com isso podemos determinar o trabalho que o gás realiza. Primeiramente, suponhamos que o ângulo entre a força que o gás faz e o deslocamento do êmbolo seja  $\theta$ . Observe que se o gás sofre expansão, então  $\theta = 0^\circ$  e, portanto,  $\cos \theta = 1$ ; quando o gás sofre compressão, então  $\theta = 180^\circ$  e  $\cos \theta = -1$ .

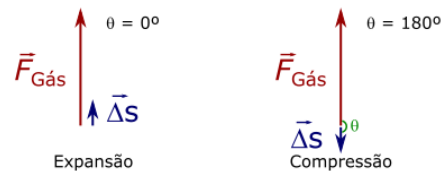


Figura 2: Se o gás sofre uma expansão, o cálculo do trabalho retorna um valor positivo; se o gás sofre uma compressão, o trabalho retorna um valor negativo.

Calculemos o trabalho:

$$\tau = F \cdot \Delta s \cdot \cos \theta \Rightarrow \begin{cases} \tau = F \cdot \Delta s & \text{se } \theta = 0^\circ \\ \tau = -F \cdot \Delta s & \text{se } \theta = 180^\circ \end{cases} \quad \text{Eq. (01).}$$

Lembremos que a força que o gás faz é o produto da pressão do gás pela área  $A$  do cilindro/êmbolo:

$$F_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot A \quad \text{Eq. (02).}$$

Assim, substituindo na equação do trabalho, obtemos de forma genérica sem considerar os sinais, que:

$$\tau_{\text{gás}} = F_{\text{gás}} \cdot \Delta s \Rightarrow \tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \underbrace{(A \cdot \Delta s)}_{\text{variação do volume do gás}} \Rightarrow \tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \Delta V \quad \text{Eq. (03).}$$

Sendo  $\Delta V$  a variação do volume do gás. Note que a variação do volume do gás pode ser positiva ou negativa:

$$\Delta V = V_f - V_i \Rightarrow \begin{cases} \Delta V > 0 \text{ se } V_f > V_i & (\cos \theta = 1) \\ \Delta V < 0 \text{ se } V_f < V_i & (\cos \theta = -1), \end{cases}$$

com isso podemos ver que a equação 03 é geral, pois se o gás expandir,  $\Delta V > 0$ , o trabalho também será positivo; se, por outro

lado, o gás sofrer compressão,  $\Delta V < 0$ , então o trabalho também será negativo.

Podemos então resumir nosso resultado da seguinte maneira:

Em um processo isobárico, o trabalho de um gás é determinado por

$$\tau_{\text{gás}} = p_{\text{gás}} \cdot \Delta V.$$

### VOLUME CONSTANTE

Se o volume do gás não varia então não há deslocamento, portanto pela equação (01) o trabalho do gás é nulo.

Em um processo isocórico (ou isométrico ou isovolumétrico), o trabalho de um gás é NULO

$$\tau_{\text{gás}} = 0.$$

### CASO GERAL

O trabalho é calculado pela equação (03), caso a pressão for constante, no entanto se a pressão variar, temos que calcular a área da figura plana definida entre o eixo horizontal até a função que representa a pressão *versus* volume. Como uma imagem vale mais que mil palavras, abaixo representamos esta figura:

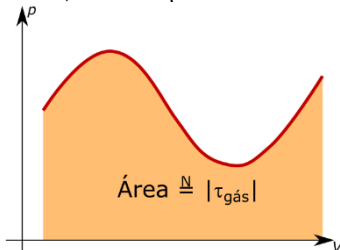


Figura 3: Caso a pressão não seja constante, o trabalho é definido pela área da figura abaixo da curva definida pelo diagrama  $p$  versus  $V$ .

Temos, no entanto, que orientar este processo, pois como vimos anteriormente se o gás sofre uma expansão então o trabalho é positivo e se o gás sofre compressão então o trabalho realizado pelo gás é negativo<sup>1</sup>.

Veja nas figuras 4 e 5 a seguir os diagramas de pressão versus volume no caso do gás sofrendo expansão e no caso do gás sofrendo compressão. Você pode simplificar dizendo que o trabalho é positivo se o diagrama é da esquerda para a direita e negativo se o diagrama é da direita para a esquerda.

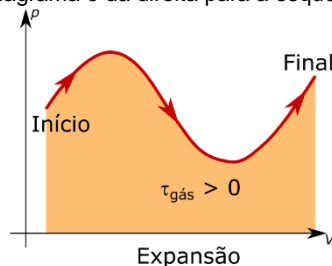


Figura 4: Na expansão, o volume do gás aumenta, portanto o trabalho do gás é positivo.

<sup>1</sup> É comum utilizar os termos “trabalho realizado pelo gás” e “trabalho realizado sobre o gás”. Para evitar qualquer tipo de confusão, sempre que falarmos de trabalho sempre estaremos nos referindo ao gás, nunca à algum operador que realiza trabalho sobre o gás.

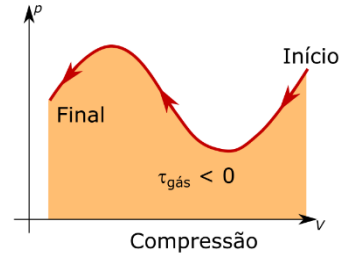


Figura 5: Na compressão, o volume do gás diminui, portanto o trabalho do gás é negativo.

### TEMPERATURA CONSTANTE

No caso de uma transformação isotérmica a curva obtida é tal que não sabemos como calcular a sua área (pelo menos não aprendemos como fazer isso no ensino médio). Por esta razão, normalmente não se vê a fórmula de se determinar o trabalho, mas como o céu é o limite, vamos ver isso aqui!

Veja a figura a seguir, onde apresentamos a pressão em função do volume no caso de uma transformação isotérmica:

$$p = \frac{nRT}{V}.$$

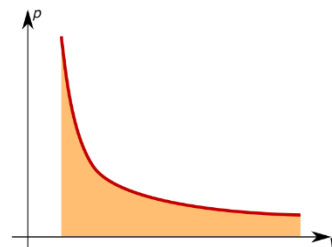


Figura 6: Uma transformação isotérmica. Não indicamos a direção do processo (compressão ou expansão) pois isso é determinado numericamente pelos valores dos volumes final e inicial.

Utilizando-se cálculo integral (vocês terão uma noção sobre isso no final do ano) pode-se demonstrar que o trabalho do gás é dado por:

$$\tau_{\text{gás}} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad \text{Eq. (04).}$$

Em um processo isotérmico, o trabalho de um gás é determinado por

$$\tau_{\text{gás}} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right).$$

Note aqui que  $\ln$  é o logaritmo neperiano, isto é, é o logaritmo na base  $e$ , que é o número neperiano:

$$\ln k = \log_e k.$$

Lembre-se também de como mudar a base:

$$\ln k = \log_e k = \frac{\log k}{\log e}.$$

Lembre-se também de como trabalhamos com funções logarítmicas:

$$\log_{10} k = a \Leftrightarrow 10^a = k.$$

Lembremos também que

$$e = 2,718281828\dots$$

Em todo nosso material, se quiser saber sobre o trabalho realizado sobre o gás, basta substituir o trabalho do gás em todas as equações que ele aparecer por menos trabalho sobre o gás:

$$\tau_{\text{gás}} = \tau_{\text{PELO gás}} = -\tau_{\text{sobre o gás}}$$

ENERGIA INTERNA DE UM GÁS

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

Energia cinética: A energia cinética está associada ao movimento das moléculas de gás. Em um gás, as moléculas estão constantemente em movimento aleatório e possuem energia cinética devido a essa movimentação. A temperatura do gás está relacionada à energia cinética média das moléculas.

Energia potencial: A energia potencial em um gás está relacionada às interações entre as moléculas. No caso de gás ideal ela é desprezada/desprezível.

Energia interna ( $U$ ): A energia interna de um gás é a soma das energias cinética e potencial de todas as moléculas do gás. Ela é uma medida da energia total contida no sistema de partículas.

Trocadas de energia: Em um gás, as trocas de energia ocorrem principalmente por meio de processos de transferência de calor ( $Q$ ) e trabalho  $\tau$ .

**Q. 2 – ENERGIA INTERNA  $U$  DE UM GÁS IDEAL**

Na teoria cinética dos gases ideais, os graus de liberdade referem-se ao número de maneiras independentes pelas quais uma partícula de um gás pode armazenar energia. Cada grau de liberdade corresponde a uma direção de movimento ou a um modo vibracional ou rotacional da partícula.

O teorema da equipartição de energia é uma relação fundamental na teoria cinética dos gases que descreve como a energia é distribuída entre os diferentes graus de liberdade de uma partícula. De acordo com esse teorema, em equilíbrio térmico, cada grau de liberdade de uma partícula contribui igualmente para a energia média total, sendo que cada contribuição é igual a  $kT/2$ , onde  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é a temperatura absoluta. Essa relação implica que a energia térmica de um sistema é igualmente distribuída entre as diferentes formas de energia que as partículas podem ter.

Se considerarmos a contribuição de todas as moléculas de um gás, a energia associada a cada grau de liberdade é dada por  $nRT/2$ , uma vez que a constante de Boltzmann é o produto da constante  $R$  dos gases ideais pelo número de Avogadro ( $k = R / N_A$ ).

A energia interna de um gás ideal monoatômico consiste principalmente na energia cinética translacional das partículas. Nesse caso, as partículas têm três graus de liberdade translacionais, correspondentes aos três eixos espaciais.

Já a energia interna de um gás ideal diatômico inclui não apenas a energia cinética translacional das partículas, mas também a energia associada aos modos de rotação e vibração. As partículas diatômicas têm dois graus de liberdade adicionais: um grau de liberdade rotacional correspondente à rotação em torno de seu eixo de centro de massa e um grau de liberdade vibracional relacionado à vibração das ligações químicas entre os átomos.

**Q. 3 – ENERGIA INTERNA TOTAL DE UM GÁS IDEAL MONOATÔMICO**

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

**Q. 4 – FORMAS DE ENERGIAS E SUAS TROCAS EM UM GÁS**

Energia cinética: A energia cinética está associada ao movimento das moléculas de gás. Em um gás, as moléculas

estão constantemente em movimento aleatório e possuem energia cinética devido a essa movimentação. A temperatura do gás está relacionada à energia cinética média das moléculas.

Energia potencial: A energia potencial em um gás está relacionada às interações entre as moléculas. No caso de gás ideal ela é desprezada/desprezível.

Energia interna ( $U$ ): A energia interna de um gás é a soma das energias cinética e potencial de todas as moléculas do gás. Ela é uma medida da energia total contida no sistema de partículas.

Trocadas de energia: Em um gás, as trocas de energia ocorrem principalmente por meio de processos de transferência de calor ( $Q$ ) e trabalho  $\tau$ .

Basicamente aí se encontra a primeira lei da termodinâmica:

**Q. 5 – PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA**

Eq. (01)

Vamos agora aplicar estes conceitos nas diversas transformações que vimos.

**Q. 6 – TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA**

**Q. 7 – TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA**

**Q. 8 – TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA**

Q. 9 – RELAÇÃO ENTRE O  $c_p$  E O  $c_v$

Q. 10 – TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Q. 11 – VARIÁVEIS DE ESTADOS

As variáveis de estado em um gás ideal monoatômico são aquelas que descrevem o estado termodinâmico do gás e são independentes do caminho pelo qual o gás atingiu esse estado. As principais variáveis de estado em um gás ideal monoatômico são:

1. Pressão (P): É a medida da força por unidade de área exercida pelas partículas do gás nas paredes do recipiente que as contém. A pressão está relacionada à colisão das partículas com as paredes e é medida em unidades como Pascal (Pa) ou atmosfera (atm).
2. Volume (V): É o espaço ocupado pelo gás. O volume pode ser medido em unidades como metros cúbicos (m<sup>3</sup>) ou litros (L).
3. Temperatura (T): É uma medida da energia cinética média das partículas do gás. A temperatura é uma medida da intensidade do movimento molecular e é geralmente expressa em Kelvin (K) ou Celsius (°C).
4. Quantidade de substância (n): Refere-se à quantidade de partículas presentes no gás. É geralmente expressa em unidades como mol (mol).

Essas quatro variáveis de estado - pressão, volume, temperatura e quantidade de substância - são independentes entre si e são usadas para descrever completamente o estado termodinâmico de um gás ideal monoatômico. Quando as condições de um sistema de gás ideal monoatômico são especificadas em relação a essas variáveis, é possível calcular e prever outras propriedades, como energia interna, entalpia, entropia e muito mais, utilizando as equações e relações adequadas da termodinâmica.

**EXERCÍCIOS – PARTE II**

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

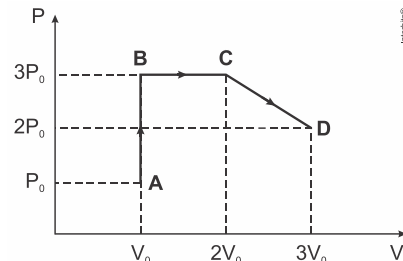
Sabendo-se que o trabalho do agente externo é de 600 J, então a variação de energia interna do gás é

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

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

- a)  $P/\Delta V$ . b)  $\Delta V/P$ . c)  $P\Delta V$ . d)  $-P\Delta V$ .

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



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

1. O processo  $A \rightarrow B$  é isométrico.
2. Os pontos C e D estão à mesma temperatura.
3. O trabalho realizado pelo gás no processo  $B \rightarrow C$  é nulo.
4. O processo  $C \rightarrow D$  é isobárico.

Assinale a alternativa correta.

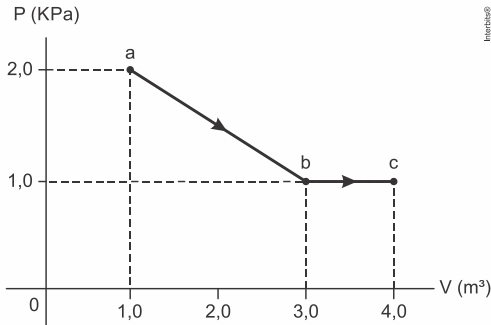


PROFESSOR DANILO

GASES IDEAIS E TERMODINÂMICA – ENGENHARIA – 07/07/2023

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

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

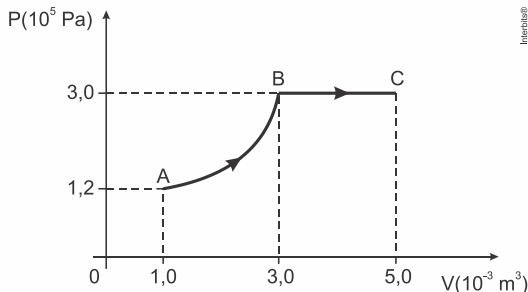


- a) 4.000 J      b) 5.000 J      c) 6.000 J  
d) 7.000 J      e) 8.000 J

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

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

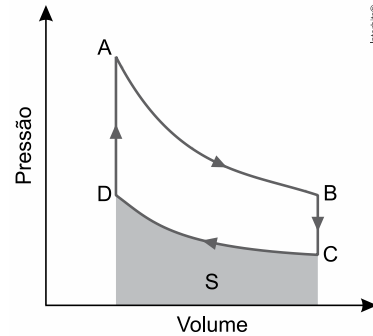
6. (Fac. Albert Einstein - Medicina 2019) Para provocar a transformação gasosa *ABC*, representada no diagrama  $P \times V$ , em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1.400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido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



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

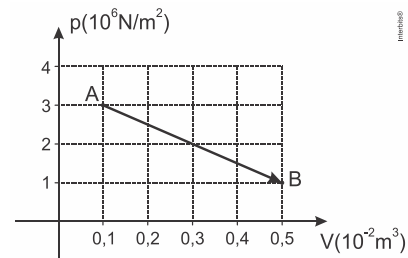
- a) 600 J.    b) 400 J.    c) 500 J.    d) 1.100 J.    e) 800 J.

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



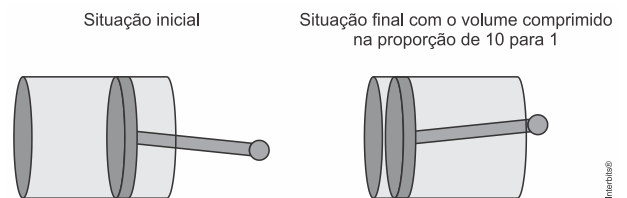
- a) Sabendo que a temperatura do gás na transformação *AB* é 327 °C e que a pressão nos pontos *B* e *C* valem  $8,0 \times 10^5 \text{ Pa}$  e  $4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , respectivamente, calcule a temperatura do gás, em kelvins, durante a transformação *CD*.  
b) Sabendo que a área *S* sob a curva da transformação *CD*, destacada na figura, corresponde a uma quantidade de energia igual a 3.700 J, calcule a quantidade de calor, em joules, que o gás libera nessa transformação.

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



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

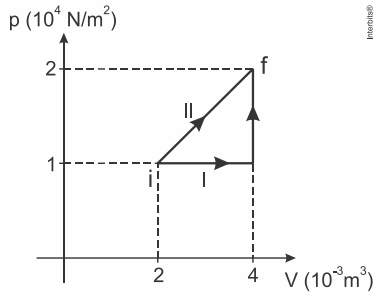
9. (Ufu 2019) Em um motor de automóvel, a mistura de combustível com ar é comprimida pelo pistão antes da ignição a uma taxa de 10,0 para 1,0, ou seja, o volume final do cilindro é 10 vezes menor que o volume inicial, como mostrado na figura abaixo (figura fora de escala).



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

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

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



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

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

MÁQUINAS TÉRMICAS

Exemplos:

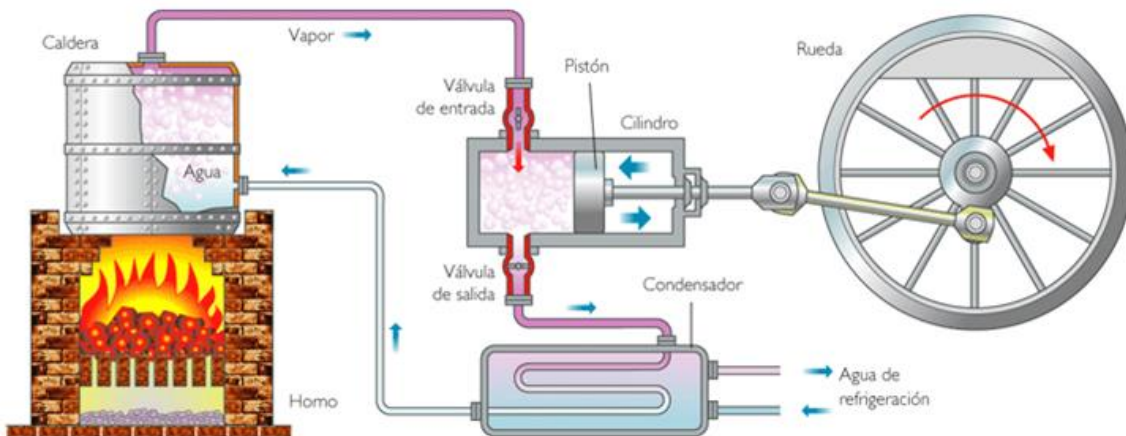


Figura 7: Máquina a vapor

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

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

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

Normalmente, os veículos possuem 4 cilindros dispostos em linha. Alguns veículos, com o UP, Onix, Argo, Kwid, possuem três cilindros dispostos em linha. Existem também alguns veículos com os cilindros dispostos em V ("vê"), chamados de V seguido de um número que corresponde ao número de cilindros. Por exemplo, o Azeera V6 com 6 cilindros, ou o Mustang V8, com 8 cilindro. Existem motores usados em locomotivas ou navios com muitos cilindros, tendo motores V12, V16, V24 entre muitos outros. Se você quiser ver alguns outros tipos de motores, com inúmeras animações, o professor recomenda a wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_V6](https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_V6). Neste link você pode seguir para inúmeros outros tipos de motores.

Outro conceito importante é a cilindrada: os veículos são caracterizados sempre por um número, onde é comum dizermos que tal veículo é 1.0, ou 2.0, 1.4 e outros. Isso corresponde à soma dos volumes de todos os cilindros onde ocorre a queima do combustível, em litros. Por exemplo, um veículo 1.6 tem como soma de todos os volumes dos cilindros igual à 1,6 litro.

Os motores de combustão interna usados em veículos automotores são chamados de motores 4 tempo, como podemos ver na Figura 8: o cilindro descendo e recebendo combustível corresponde ao

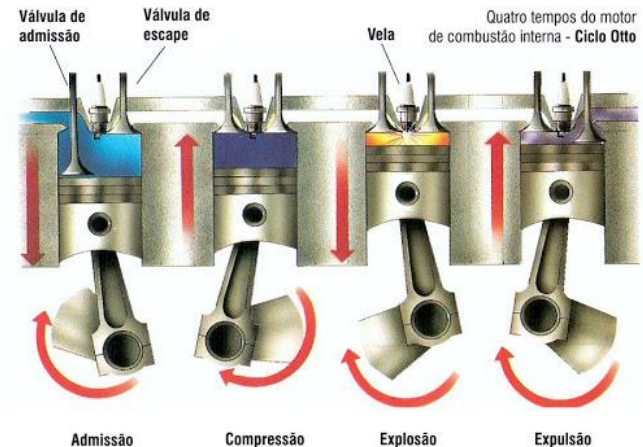


Figura 8: Motor de combustão interna.

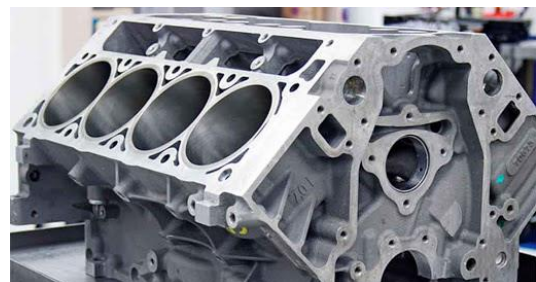


Figura 9: Fotografia que mostra o bloco de um motor V8

PROFESSOR DANILO

GASES IDEAIS E TERMODINÂMICA – ENGENHARIA – 07/07/2023

primeiro tempo (**admissão**); a mistura de combustível com oxigênio é comprimida, correspondendo ao segundo tempo (**compressão**); quando o ar está comprimido, ocorre uma faísca elétrica quando o veículo é movido à álcool ou gasolina, e corresponde ao terceiro tempo (**explosão**); posteriormente, o resultado da reação de combustão ocorre a expulsão do combustível, chegando finalmente ao quarto tempo (**exaustão** ou **expulsão**).

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

Muitos países, incluindo o Brasil, usam usinas termoeletricas como fontes geradoras de energia elétrica. A parte envolvendo transformação de calor em energia mecânica, para mover os geradores, funcionam de forma muito similar às máquinas a vapor, como representado na figura Figura 10.

Como podemos ver na Figura 11, o princípio de funcionamento de uma usina termonuclear é também similar ao de uma máquina a vapor: reações nucleares aquecem a água em um circuito primário; esta água do circuito primário se transforma em vapor e aquece a água de uma caldeira em um circuito secundário; a água do circuito secundário, por sua vez, vira vapor e move uma turbina, que gera energia elétrica.

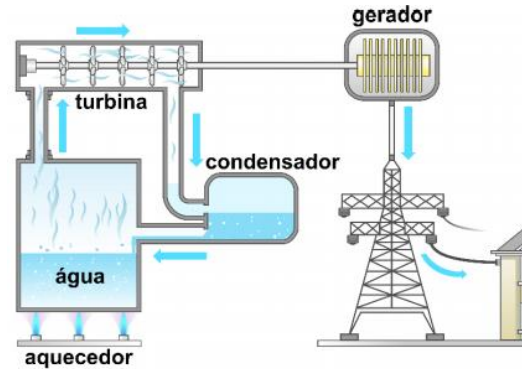


Figura 10: Usinas termoeletricas

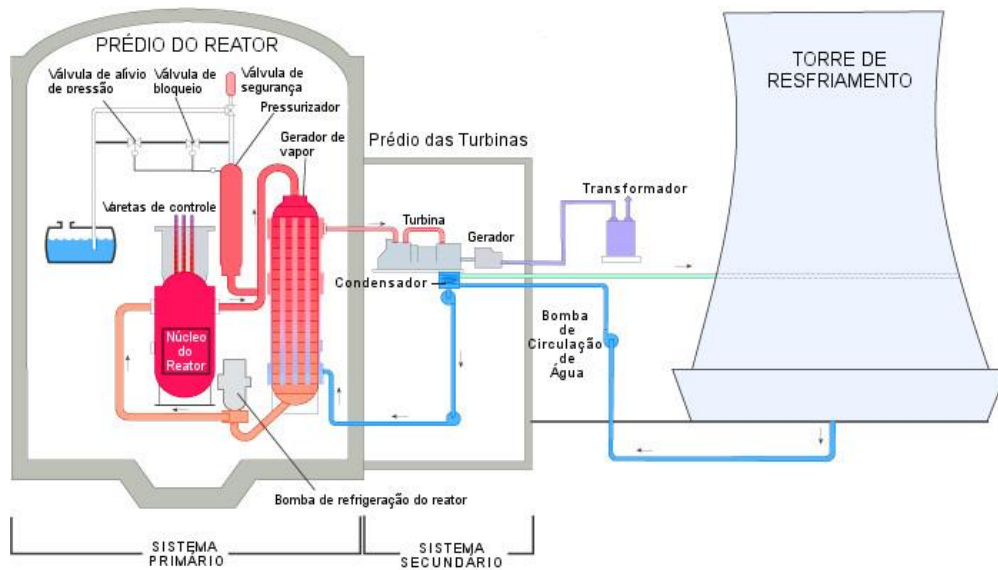


Figura 11: Usina termonuclear

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

Representação geral:

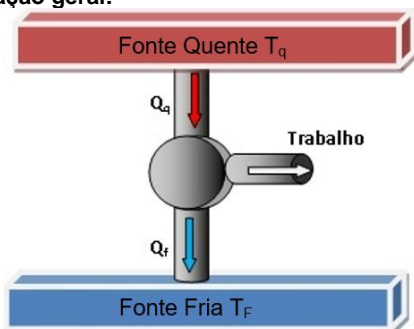
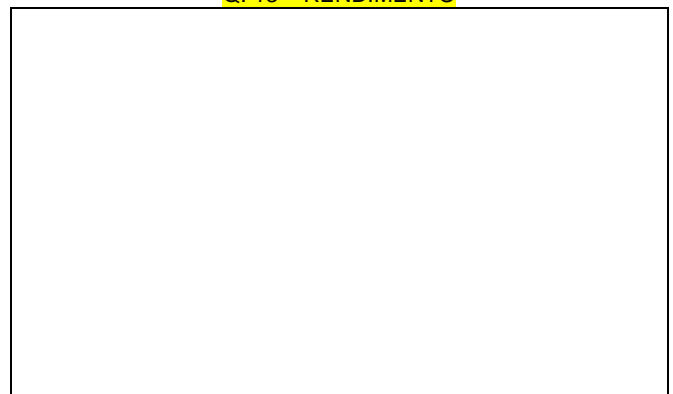


Figura 12: Representação de uma máquina térmica com uma fonte quente (quem fornece calor) e uma fonte fria (usada para refrigerar o motor). É uma representação um tanto quanto abstrata e genérica de máquinas térmicas

**Q. 12 – COMPONENTES BÁSICOS DE UMA MÁQUINA TÉRMICA**

- Fonte quente:** É a fonte de alta temperatura com a qual a máquina térmica interage para receber energia térmica.
- Fonte fria:** É a fonte de baixa temperatura para a qual a máquina térmica rejeita o calor residual.
- Fluidos de trabalho:** São utilizados para transferir e converter energia térmica. Podem ser gases, líquidos ou até mesmo vapor de água.
- Ciclo termodinâmico:** A máquina térmica opera ciclos.

**Q. 13 – RENDIMENTO**



**Q. 14 – CICLO DE CARNOT**

**Q. 15 – RENDIMENTO MÁXIMO POSSÍVEL**

**SEGUNDA LEI DA  
TERMODINÂMICA**

**ENUNCIADO DE CLAUSIUS**  
(Rudolf Emanuel Clausius - 1850)

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

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

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

**ENTROPIA**

**Q. 16 – ENTROPIA**

Entropia é uma grandeza física que está associada à medida de desordem, aleatoriedade ou incerteza em um sistema. Ela é uma propriedade fundamental da termodinâmica e está relacionada à distribuição de energia dentro de um sistema. A entropia também está relacionada à dispersão da energia em um sistema. Em um sistema altamente ordenado, com poucas configurações possíveis, a entropia é baixa. Já em um sistema desordenado, com muitas configurações possíveis, a entropia é alta.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia de um sistema isolado tende a aumentar ao longo do tempo, ou no máximo permanecer constante em processos reversíveis. Isso implica que, em processos naturais, a tendência é que a energia se disperse e a desordem aumente.

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

**Q. 17 – VIAGEM NO TEMPO**

Se a viagem no tempo fosse possível, algumas questões intrigantes surgiriam em relação à entropia. Por exemplo, se alguém pudesse voltar no tempo e interferir em eventos passados, isso poderia levar a paradoxos ou contradições lógicas. Essas ações poderiam, teoricamente, interferir no aumento da entropia que ocorreria naturalmente ao longo do tempo.

**Q. 18 – MORTE TÉRMICA**

A morte térmica do universo está relacionada à entropia e às leis da termodinâmica. Segundo essa ideia, o universo está caminhando em direção a um estado de equilíbrio termodinâmico máximo, onde a entropia será máxima e não haverá mais energia disponível para ser utilizada.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia de um sistema isolado tende a aumentar ou, no máximo, permanecer constante em processos reversíveis. Isso significa que, ao longo do tempo, a energia dentro do universo tende a se dispersar e se distribuir de forma cada vez mais uniforme.

A morte térmica do universo é um possível destino para o universo, em que todas as fontes de energia serão esgotadas e a entropia será máxima. Nesse estado, não haverá mais gradientes de temperatura ou energia disponíveis para realizar trabalho. Todas as estrelas se extinguirão, os processos nucleares cessarão e o universo se tornará um lugar frio, estático e homogêneo.

Esse estado de alta entropia e equilíbrio térmico é conhecido como "morte térmica" porque não haverá mais possibilidade de realizar trabalho ou de ocorrerem interações significativas entre partículas ou sistemas. A entropia máxima implica em uma distribuição uniforme da energia e uma ausência de gradientes ou diferenças significativas.

Assim, a morte térmica do universo está intimamente ligada ao aumento da entropia e à tendência do universo em caminhar em direção a um estado de maior desordem e equilíbrio termodinâmico. É um conceito fundamental na cosmologia e nas teorias sobre o destino último do universo.

**EXERCÍCIOS – PARTE II – CONTINUAÇÃO**

11. (Eфомm 2020) Uma máquina de Carnot é projetada para operar com 200 W de potência entre fontes de calor de 200 °C e 100 °C. Com base nas características descritas, a quantidade de calor absorvida por essa máquina, a cada segundo, é de aproximadamente
- a) 400 J    b) 550 J    c) 670 J    d) 800 J    e) 950 J

PROFESSOR DANILO

GASES IDEAIS E TERMODINÂMICA – ENGENHARIA – 07/07/2023

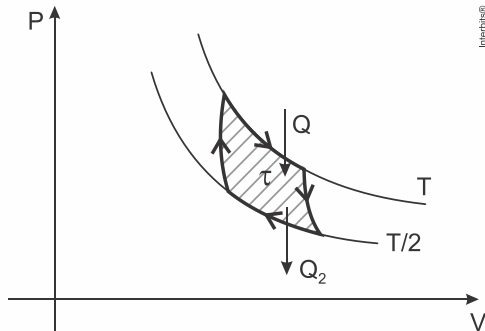
12. (Ufrgs 2020) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40%, e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo.

Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- a) 200 K – 42 J.                      b) 200 K – 420 J.  
c) 200 K – 42.000 J.                d) 300 K – 42 J.  
e) 300 K – 420 J.

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

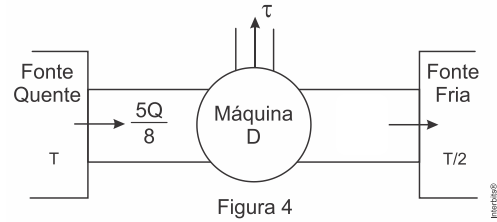
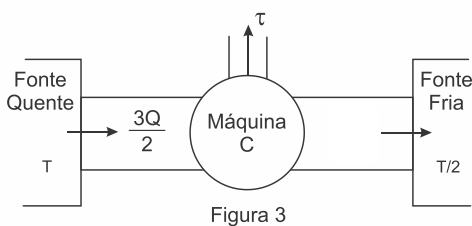
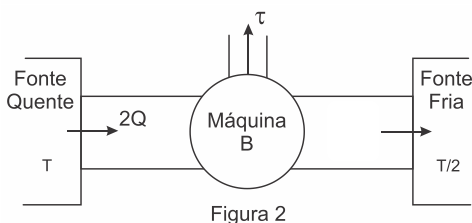
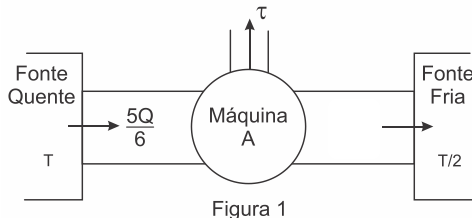
13. (Epcar (Afa) 2020 – MODIFICADA) Considere uma máquina térmica ideal *M* que funciona realizando o ciclo de Carnot, como mostra a figura abaixo.



Essa máquina retira uma quantidade de calor *Q* de um reservatório térmico à temperatura constante *T*, realiza um trabalho total  $\tau$  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*.

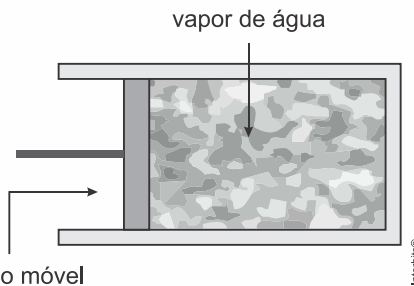


Nessas condições, as máquinas térmicas que poderiam ser construídas, a partir dos projetos apresentados, seriam

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

14. (Uffj-pism 2 2019) Uma máquina a vapor é uma máquina térmica que utiliza a pressão do vapor d'água. Considerando que o calor é uma forma de energia, este pode produzir trabalho. Conforme as leis da Termodinâmica, as máquinas a vapor operam em ciclos. James Watt (1736-1819) contribuiu de forma decisiva para a Revolução Industrial (entre a 2ª metade do séc. XVIII e a 1ª metade do séc. XIX) nos processos de melhoria no motor a vapor. Mesmo após a invenção do motor a combustão no final do séc. XIX, ainda hoje são utilizados motores térmicos – por exemplo, nas usinas nucleares – para a geração de eletricidade.

Analise as afirmações a seguir a respeito de máquinas a vapor, respondendo se são verdadeiras ou falsas, **JUSTIFICANDO SUA RESPOSTA DA MANEIRA MAIS OBJETIVA POSSÍVEL.**



êmbolo móvel

a) Considere que, em determinado momento, o volume do vapor permanece constante, porque o êmbolo que pressiona o vapor travou devido a uma falha mecânica. Nesse caso, conforme a 1ª lei da Termodinâmica, toda a energia obtida na forma de calor é transformada em energia interna.

b) De acordo com a 2ª lei da Termodinâmica, as máquinas a vapor, no decorrer de um ciclo, transformam em trabalho todo calor recebido da fonte quente, e a energia interna do vapor se mantém constante.

15. (Espcex (Aman) 2019) Considere uma máquina térmica *X* que executa um ciclo termodinâmico com a realização de trabalho. O rendimento dessa máquina é de 40% do rendimento de uma máquina *Y* que funciona segundo o ciclo de Carnot, operando entre duas fontes de calor com temperaturas de 27 °C e 327 °C.

Durante um ciclo, o calor rejeitado pela máquina *X* para a fonte fria é de 500 J, então o trabalho realizado neste ciclo é de

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

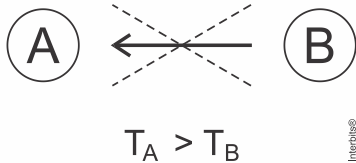
16. (Uffj-pism 2 2020) Recipientes fechados que contêm gases podem ser expostos a grandes variações de temperatura. Eles sempre devem ter uma válvula de segurança que se abre de modo a evitar que a pressão interna se aproxime da pressão máxima a que eles resistem. Considere uma panela de pressão, tampada,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

PROFESSOR DANILO

GASES IDEAIS E TERMODINÂMICA – ENGENHARIA – 07/07/2023

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

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



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

- a) transformação adiabática.  
b) primeira Lei da Termodinâmica.  
c) segunda Lei da Termodinâmica.  
d) propagação de calor por convecção.  
e) experimentação de Joule-Thompson.

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

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

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

Se essa máquina funcionasse, necessariamente se estaria violando a

- a) Lei da Conservação de Energia.  
b) Primeira Lei de Newton.  
c) Lei da Conservação de Quantidade de Movimento.  
d) Lei da Gravitação Universal.  
e) Equação geral dos gases.

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

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

de trabalho, ele aumentará a temperatura de B e diminuirá a temperatura de A em contradição com...”.

Assinale a opção que melhor completa o texto de Maxwell.

- a) 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.

**GABARITOS – PARTE II**

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

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

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

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

8.  $04 + 08 = 12$ .

9. a)  $T = 800 K = 527 °C$ .

- b) Pela 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

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

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

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

Logo:

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

Como  $\Delta U$  é proporcional a  $\Delta T$ , este deve ter uma variação positiva.

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

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

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

$$\text{Aplicando a 1ª Lei: } \Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = Q$$

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

15. B

16. a)  $p_2 = 1,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $Q = 1867,5 \text{ J}$ .                      b)  $\tau = 1245 \text{ J}$ .

17. C

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

19. A                      20. B

**RESOLUÇÃO COMPLETA**

Confira na **Figura 13** [a resolução completa desta lista](#).



Figura 13: Escaneie este QR-Code ou clique nele, se estiver no pdf, para acessar a resolução da segunda parte dos exercícios.