

2 - O Conceito de Energia

Tópicos Fundamentais de Física

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

1/172

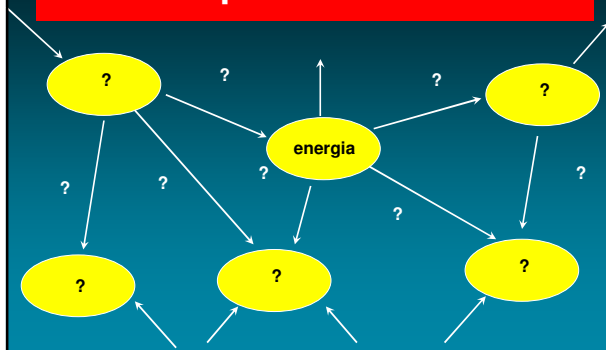
O que é Energia?

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

2/172

Mapa conceitual



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

3/172

Situações quotidianas

- andar e correr
- lançar uma bola contra uma parede
- içar um peso
- empurrar uma parede
- arrastar uma caixa
- impedir a queda de uma pessoa
- esticar uma mola
- lâmpada acesa
- motor em rotação
- fogo aceso
- TV ligada
- chuveiro elétrico

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

4/172

O conceito de energia

- “Conceito de ‘energia’ não é primitivo
- Estudantes vêm com concepções espontâneas sobre energia:
 - ou vêm como tabula rasa e adquirem-nos dos livros
 - ou vêm com jargão adquirido na escola, sem entendimento profundo do que é ou de onde veio”

(ARONS, 1989)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

5/172

Formação do conceito de energia

- Deve-se a Kepler, no seu *Harmonices Mundi* (1619), a primeira distinção entre ‘força’ e ‘trabalho’ e a introdução da palavra ‘energia’
 - O conceito será mais claro com Galileu que a designa pela palavra ‘momento’
 - Watt demonstra a importância do conceito nas suas pesquisas com a máquina a vapor
- (GLIOZZI, 1976)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

6/172

Preliminares

- 1669: Becher propõe teoria de combustão envolvendo a 'terra combustível' (Latim *terra pinguis*).
- 1689: Leibniz desenvolve o conceito de *vis viva*
- 1702: Amontons introduz o conceito de zero absoluto, baseado em experimentos com gases
- 1734: Stahl renomeia a *terra pinguis* de Becher como **flogisto**

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

7/172

Preliminares

- 1738: Daniel Bernoulli publica a sua Teoria Cinética dos Gases
- 1761: Joseph Black descobre que, na fusão, o gelo absorve calor sem mudança de temperatura
- 1783: Lavoisier descobre o oxigênio e propõe uma teoria do **calórico**, desprezando o flogisto
- 1791: Prévost mostra que todos os corpos radiam calor independentemente da temperatura

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

8/172

Formação do conceito de energia

- Huygens e Bernoulli (séc. 17): não há o movimento perpétuo
- Faraday (séc. 19): a energia não é criada por contacto metálico na pilha de Volta
- Helmholtz (séc. 19): contra a **energia vital**

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

9/172

A definição de energia

- *“O conceito de que energia é a habilidade de realizar trabalho data do século XVII. Só foi questionado quando a energia foi definida quantitativamente como uma quantidade conservada por Helmholtz. Em dez anos a formulação da 2ª Lei da Termodinâmica refutou essa definição.”*
(TRUMPER, 1990)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

10/172

Má definição de energia

- *“A definição de energia como a capacidade de realizar trabalho não deve ser utilizada nem mesmo como uma definição inicial, mesmo com a ressalva da sua inadequação, pois é tão curta e fácil de memorizar que os estudantes podem retê-la por muito tempo.”*
(HICKS, 1983)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

11/172

Má definição de energia

- *“A definição de energia deve se basear em ambas as 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica. [...] Se não for possível escrever uma definição satisfatória em poucas palavras, teremos que aprender a viver sem ela.”*
(LEHRMAN, 1973)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

12/172

Energia

- “Energia é necessária quando se quer que algo seja posto em movimento, acelerado, levantado, iluminado ou aquecido e em muitos outros processos.”

(IPN, 1978)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

13/172

Formação do conceito de energia

- “Na sua dissertação *Elkana* assume que o conceito de energia como nós o conhecemos hoje (na física clássica não-relativística) vem de Helmholtz que estabeleceu o princípio de conservação de energia. [...] Isto é, o conceito de energia tornou-se significativo apenas através do estabelecimento do princípio de conservação de energia em toda a sua generalidade.”

(TRUMPER, 1990)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

14/172

O Princípio da Conservação da Energia

- Helmholtz descobriu o **Princípio da Conservação da Energia** estudando metabolismo muscular.
- tentou demonstrar que nenhuma energia é perdida no movimento muscular, motivado pela implicação de que não havia ‘forças vitais’ envolvidas, conceito da tradição especulativa da **Naturphilosophie**, paradigma dominante na Fisiologia germânica.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

15/172

O Princípio da Conservação da Energia

- Baseado nos trabalhos anteriores de Carnot, Clapeyron e Joule, postulou uma relação entre a mecânica, calor, luz, eletricidade e magnetismo, tratando todas como manifestações de uma única ‘força’ (energia). Publicou suas teorias no livro *Über die Erhaltung der Kraft* (Sobre a Conservação da Energia, 1847).

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

16/172

O Princípio da Conservação da Energia

- “A Lei da Conservação da Energia não é derivável das leis de movimento.
 - É uma afirmação independente sobre a ordem da natureza”
- (ARONS, 1989)
- ou seja, **é um Princípio**, não um Teorema ou uma Lei.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

17/172

O Princípio da Conservação da Energia

- “O princípio [da conservação da energia] é facilmente mal compreendido como implicando armazenamento de energia num sistema material. Simplesmente ensinando a dissipação e degradação de energia antes da conservação elimina muito desta confusão.
- Se reformulado de forma a dar uma indicação positiva do seu papel como um balanço de energia, o princípio torna-se mais fácil de se usar em problemas simples.”

(SOLOMON, 1985)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

18/172

O Princípio da Conservação da Energia

- “A Energia nunca é criada e nem destruída: há sempre a mesma quantidade de energia no fim como no princípio.”

$$\Delta E_{tot} = 0$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

19/172

O Princípio da Conservação da Energia

- “A Energia nunca é criada e nem destruída:
- há sempre a mesma quantidade de energia no fim como no princípio.”

$$\Delta E_{tot} = 0$$

$$E_{fin} = E_{in}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

20/172

Formação do conceito de energia

- “‘Energia’ na linguagem diária é uma quantidade que pode ser produzida e consumida mas não conservada.
- A idéia da conservação de energia parece desenvolver-se muito tarde, se se desenvolve de todo, no percurso do desenvolvimento cognitivo da criança.
- Os estudantes têm grande dificuldade de entender energia como uma quantidade conservada”

(DUITT, 1981)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

21/172

‘Armazenar’ energia

- “Energia é uma quantidade abstrata, inventada para auxiliar a humanidade na investigação da natureza. Como consequência, é impossível armazenar uma abstração - como queijo na geladeira!
- Os números 1, 2, 3, ... são também uma invenção humana. São também quantidades abstratas. Quem já pensou em armazená-los? Podemos armazenar objetos representando números, mas então são os objetos que são armazenados, não os números eles mesmos.”

(BENYON, 1990)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

22/172

‘Armazenar’ energia

- “Se alguma coisa é armazenada em sentido literal, então é material. Podem-se armazenar combustíveis e livros. Se uma coisa é armazenada em sentido metafórico, pode estar associada a alguma coisa material. Desta forma, pode-se dizer que armazenamos energia nos combustíveis e informação nos livros. A idéia de informação como substância não faz sentido.”

(McCLELLAND, /1989)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

23/172

O Princípio da Conservação da Energia

- Helmholtz descobriu o Princípio da Conservação da Energia estudando metabolismo muscular.
- Ele tentou demonstrar que nenhuma energia é perdida no movimento muscular, motivado pela implicação de que não havia ‘forças vitais’ envolvidas, conceito da tradição especulativa da Naturphilosophie, paradigma dominante na Fisiologia germânica.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

24/172

O Princípio da Conservação da Energia

- *Baseado nos trabalhos anteriores de Carnot, Clapeyron e Joule, postulou uma relação entre a mecânica, calor, luz, eletricidade e magnetismo, tratando todas como manifestações de uma única 'força' (energia). Publicou suas teorias no livro Über die Erhaltung der Kraft (Sobre a Conservação da Energia, 1847).*

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

25/172

O Princípio da Conservação da Energia

- “A Lei da Conservação da Energia **não é** derivável das leis de movimento.
- É uma afirmação independente sobre a ordem da natureza” (ARONS, 1989)
- ou seja, é um **Princípio**, não um Teorema ou uma Lei.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

26/172

O Princípio da Conservação da Energia

- *“O princípio [da conservação da energia] é facilmente mal compreendido como implicando armazenamento de energia num sistema material. Simplesmente ensinando a dissipação e degradação de energia antes da conservação elimina muito desta confusão.*
- *Se reformulado de forma a dar uma indicação positiva do seu papel como um balanço de energia, o princípio torna-se mais fácil de se usar em problemas simples.”*

(SOLOMON, 1985)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

27/172

‘Armazenar’ energia

- *“Energia é uma quantidade abstrata, inventada para auxiliar a humanidade na investigação da natureza. Como consequência, é impossível armazenar uma abstração - como queijo na geladeira!*
- *Os números 1, 2, 3, ... são também uma invenção humana. São também quantidades abstratas. Quem já pensou em armazená-los? Podemos armazenar objetos representando números, mas então são os objetos que são armazenados, não os números eles mesmos.”*

(BENYON, 1990)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

28/172

‘Armazenar’ energia

- *“Se alguma coisa é armazenada em sentido literal, então é material. Podem-se armazenar combustíveis e livros. Se uma coisa é armazenada em sentido metafórico, pode estar associada a alguma coisa material. Desta forma, pode-se dizer que armazenamos energia nos combustíveis e informação nos livros. A idéia de informação como substância não faz sentido.”*

(McCLELLAND, /1989)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

29/172

A Energia na Mídia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

30/172

A Energia na Mídia

- **Energia na linguagem cotidiana:** real, sinônima de força e poder ('gastar energia', 'armazenar energia' e 'produzir energia')
- **Estudantes:** concepções alternativas x concepções científicas
- **Publicidade:** induz ao consumo de produtos que 'dão força e energia'

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

31/172

Sete Visões Alternativas (Watts, 1983)

- 1) Energia centrada no ser humano
- 2) Modelo depósito de energia
- 3) Energia como um ingrediente
- 4) Energia como uma atividade óbvia
- 5) Energia como um produto
- 6) Energia é funcional
- 7) Modelo de transferência por fluxo de energia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

32/172

A Energia na Mídia

- “Petrobras, Cemig e Alcan são empresas de engenheiros dedicados a produção de petróleo, energia elétrica e alumínio.” (ISTOÉ Dinheiro)
 - **esquema 5:** “energia como um produto”
- “A principal fonte de energia que utilizamos é a energia solar” (Bonjorno & Clinton (livro de Física))
 - **esquema 2:** “modelo depósito de energia”

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

33/172

A Energia na Mídia

- “O Brasil tem uma das maiores redes de transmissão de energia elétrica do mundo” (Época)
 - **esquema 7:** “modelo de transferência por fluxo de energia”
- “Marta diz ter energia para campanha” (Zero Hora)
 - **esquema 1:** “energia centrada no ser humano”

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

34/172

Conclusão

- Verificamos a presença de várias concepções alternativas do conceito de energia até em revistas de divulgação científica e obras de referência
 - ⇒ propagando e mantendo concepções para os estudantes?
- Mas se eliminarmos esta forma de conhecimento “socializado” perderemos nossa capacidade de comunicação com as pessoas em geral. (SOLOMON, 1983)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

35/172

Aplicações

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

36/172

Equação de Torricelli

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = v_0 + a t$$

$$\Rightarrow t = (v - v_0) / a$$

$$\Rightarrow s = s_0 + v_0 (v - v_0) / a + \frac{1}{2} (v - v_0)^2 / a$$

$$\therefore v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0)$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

37/172

Queda livre

- Partindo do repouso ($v=0$) de uma altura h , o objeto chegará ao chão com uma velocidade dada pela equação de Torricelli.
- Desta forma, a variação da energia cinética (vis viva) é dada pela energia chamada 'potencial' (vis morta) que o objeto possuía.

$$v^2 = 2gh$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} E_{cin} &\equiv \frac{1}{2} m v^2 = \\ E_{pot} &\equiv mgh \end{aligned}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

38/172

Pêndulo simples

- Da conservação da energia, a velocidade que o objeto atingirá no ponto mais baixo relaciona-se com a altura de que partiu (independentemente da massa!).
- Da mesma forma, a altura que atingirá será igual à inicial.

$$v = \sqrt{2gh}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

39/172

Trabalho

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

40/172

Trabalho passo-a-passo

- *“Derivar através de exemplos como a queda livre, o fato notável de que uma quantidade permanece constante.*
- *Outros exemplos levam a conjecturar que uma quantidade análoga pode ser encontrada para cada sistema fechado.*

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

41/172

Trabalho passo-a-passo

- *A transportabilidade do conceito de energia a outros sistemas prova a sua importância.*
- *Definir trabalho como possível forma de transferência de energia de um sistema para outro.”*

(SEXL, 1981)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

42/172

Montanha russa

- Em cada descida, o carrinho atinge uma velocidade correspondente a quanto desceu em altura e pode, assim, subir uma rampa quase igual à que desceu.



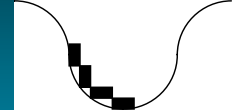
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

43/172

Pergunta

- Em qual carrinho você estará movendo-se mais rápido no fundo da depressão:
 - no carro da frente
 - no carro do meio
 - no último carro
 - outro carro



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

44/172

Energia cinética e trabalho

$$F = ma \Rightarrow F \times \Delta s = ma \times \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$
$$\Rightarrow F \times \Delta s = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$
$$W \equiv \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \Delta E_{cin}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

45/172

Exercício

- Uma queda d'água, cuja altura é 40 m, tem 200 m³ de água caindo a cada segundo. Quantos Joules de trabalho são realizados pela gravidade a cada hora?

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

46/172

Exercício

- Um bate-estacas de construção civil funciona erguendo uma massa de 2500 kg a uma altura de 20 m e deixando-a cair sobre a estaca, a qual encontra a resistência do solo na forma de uma força constante de 8×10^6 N. Quantas pancadas são necessárias para enterrar uma estaca de 2 m no chão?

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

47/172

Exercício

- É, a priori, mais, menos ou igualmente perigoso ter um acidente de carro embatendo a uma velocidade de 100 km/h com outro carro imóvel, ou a 50 km/h com um carro deslocando-se a uma velocidade de 50 km/h em sentido contrário?
(LÉVY-LEBLOND, 1991)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

48/172

Exercício

- “Se lançar um objeto (uma bola por exemplo) para o ar na vertical, ele atinge uma altura máxima evidentemente menor do que atingiria se a resistência do ar não influenciasse o seu movimento. Mas o tempo de subida é maior, menor ou igual ao que decorreria na ausência da resistência do ar? Supõe-se que a velocidade inicial é fixada. Que podemos dizer do tempo de descida?”

(LÉVY-LEBLOND, 1991)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

49/172

A 1ª Lei da Termodinâmica

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

50/172

Termodinâmica e Mecânica

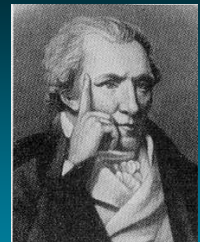
- **Mecânica**: conversões de energia potencial em cinética e vice-versa
- **Termodinâmica**: variações da energia interna

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

51/172

Benjamin Thompson
(Conde de Rumford)
(1753 - 1814)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

52/172

Rumford

- cientista anglo-americano
- foi aprendiz de comerciante em Salem, onde adquiriu o interesse pela Ciência
- 1772: casou-se com rica herdeira Sarah Rolfe. Com sua influência, tornou-se major da Milícia de New Hampshire
- Guerra Civil: legalista, foge p/ Inglaterra
- 1804: casa-se com Marie-Anne Lavoisier

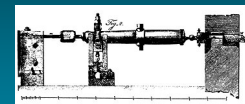
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

53/172

Rumford

- 1798: mede o **calor** gerado pela perfuração de canhões e desenvolve a idéia de que calor é **uma forma de energia cinética**, refutando a teoria do calórico



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

54/172

Sir John Leslie (1766 - 1832)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

55/172

Leslie

- matemático e físico escocês
- 1804: observa que uma superfície negra mate radia calor mais eficientemente do que uma polida sugerindo a importância da radiação de corpo negro
- 1810: congela água artificialmente com uma bomba de ar

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

56/172

- 1808: Dalton propõe que a capacidade calorífica dos gases varia inversamente com o peso atômico
- 1813: Peter Ewart defende a idéia da conservação da energia em trabalho que influencia fortemente Dalton e seu aluno, James Joule

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

57/172

Julius Robert von Mayer (1814-1878)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

58/172

Mayer

- cientista amador
- 1841: escreveu um artigo expressando o Princípio da Conservação da Energia que é **rejeitado** por não ter treinamento acadêmico
- 1842: fez conexão entre trabalho, calor e o metabolismo humano baseado em suas observações do sangue enquanto cirurgião de um navio
- calculou o equivalente mecânico do calor ($1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

59/172

- 1843: John James Waterston expõe a teoria cinética dos gases, mas é ridicularizado e ignorado
- 1847: Hermann von Helmholtz publica a definição definitiva da conservação da energia, a 1ª Lei da Termodinâmica

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

60/172

Joule (1818-1889)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

61/172

Joule

- físico inglês
- estudou a natureza do calor e descobriu sua relação com o trabalho mecânico
- o que o levou ao Princípio da Conservação da Energia e à Primeira Lei da Termodinâmica
- trabalhou com Kelvin para desenvolver sua escala de temperaturas
- encontrou a relação a corrente elétrica e o calor dissipado (Lei de Joule)

4-jul-2011

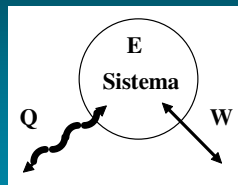
© www.fisica-interessante.com

62/172

Energia, Trabalho e Calor

- trabalho e calor são as formas de se transferir energia de um sistema a outro
- convenção (máquina térmica):
 - $Q > 0$ (fornecido)
 - $W > 0$ (fornecido)

$$\Delta E = Q + W$$



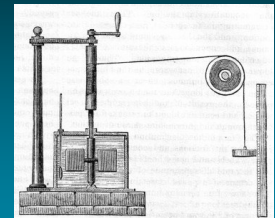
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

63/172

Equivalência Calor/Trabalho

- Joule (1845) demonstrou a equivalência entre trabalho e calor
- aumentou a temperatura de água ao realizar trabalho
- efeito esperado para fornecimento de calor



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

64/172

Equivalência Calor/Trabalho

- o trabalho realizado sobre um sistema é transformado diretamente em energia interna sem transferência de calor.
- aquela é equivalente ao calor necessário para tal.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

65/172

Energia, Trabalho e Calor

$$\Delta E = Q + W$$

onde

$$\Delta E = \Delta E_{cin} + \Delta E_{pot} + \Delta E_{term} + \Delta E_{quim} + \Delta E_{electr} + \dots$$

e

W : trabalho realizado

Q : calor transferido

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

66/172

Trabalho e calor

- obtenção de calor a partir do trabalho ($W \rightarrow Q$) (pré-histórico)
- fazer fagulhas com pedras
- acender um fósforo
- obtenção de trabalho a partir de calor ($Q \rightarrow W$) (séc. XVIII)
- explosivos
- máquina térmica

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

67/172

Exemplos

trabalho:

- motores elétricos

calor:

- esquentadores
- fogões elétricos
- lâmpadas

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

68/172

Sistemas dissipativos

- **sistemas reais**: não há conservação de energia mecânica
- introdução do conceito de energia interna
- transformação de energia mecânica em **interna**

$$E_{TOT} = (E_{CIN} + E_{POT}) + E_{INT}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

69/172

Energia interna

potencial

- pode ser recuperada
- Ex.: mola, pêndulo, montanha russa

cinética

- não pode ser recuperada
- Ex.: movimentos internos desordenados

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

70/172

Máquinas térmicas

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

71/172

Preliminares

- 5º século a.C.: ar, fogo, água e terra dão suporte a várias teorias de combustão
- c.460 a.C.: Leucipo propõe a teoria de que tudo no universo é constituído de átomos e vácuo
- c.350 a.C.: Aristóteles proclama que a "Natureza tem horror ao vácuo"

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

72/172

Preliminares

- Heron de Alexandria
- *æolipílla* (bola d'água)
- usada para provar a pressão do ar sobre os corpos
- **1ª máquina a vapor**



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

73/172

Preliminares

- 1643: Galileu mostra que o "horror ao vácuo" é limitado pois bombas só conseguem sugar água até 10m.
 - encoraja a investigação de seu discípulo Torricelli que acaba inventando o barômetro e o termômetro
- 1620: Francis Bacon sugere que calor é relacionado a movimento
- 1660: Boyle descobre sua lei relacionando pressão e volume de um gás

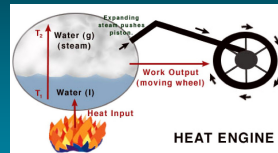
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

74/172

Máquinas térmicas

- cíclicas
- uma fonte quente (caldeira) e uma fria (condensador)

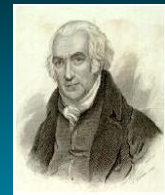


4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

75/172

Thomas Newcomen (1663-1729)



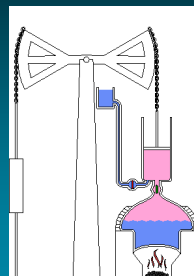
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

76/172

Newcomen

- vendedor de ferragens e pregador Batista inglês
- inventor da 1ª máquina a vapor
- frequentemente denominado "Pai da Revolução Industrial"
- conexões batistas ajudaram a difundir sua máquina



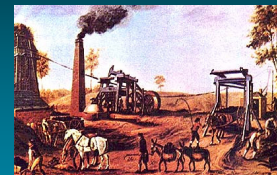
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

77/172

Newcomen

- 1698: 1ª máquina a capturar o poder do vapor para produzir trabalho mecânico
- usada principalmente para retirar água de minas de carvão
- mais uma vez a Física se desenvolve por motivos práticos.



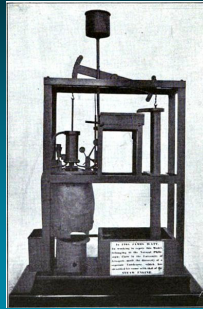
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

78/172

Newcomen

- ineficiente, aperfeiçoada por Watt
- Watt foi solicitado a consertar um modelo na Universidade de Glasgow

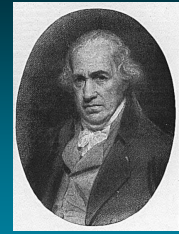


4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

79/172

James Watt (1736 – 1819)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

80/172

Watt

- engenheiro e inventor escocês
- pai era construtor de navios
- mãe teve muito boa educação
- presbiterianos
- estudou com a mãe em casa

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

81/172

Watt

- quis ser instrumentador mas faltava-lhe o aprendizado para a Guilda
- professores permitiram-lhe abrir oficina na Universidade
- foi discípulo de Joseph Black
- introduziu o condensador na máquina de Newcomen

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

82/172

Locomotiva

- 1814: George Stephenson
- revoluciona os transportes:
 - navios a vapor
 - carros a vapor

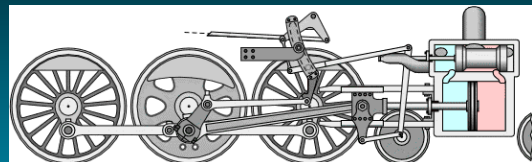


4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

83/172

Locomotiva



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

84/172

Exemplo

- o aumento da energia térmica do sistema é igual à parte do trabalho realizado pela força F que não aumenta a energia cinética nem é dissipado

$$\Delta E = Q + W$$

$$\Delta E_{cin} + \Delta E_{term} = -Q_{diss} + F\Delta x_{cm}$$

$$\frac{1}{2}mv_{cm}^2 + \Delta E_{term} = F\Delta x_{cm} - Q_{diss}$$

$$\Rightarrow \Delta E_{term} = F\Delta x_{cm} - \frac{1}{2}mv_{cm}^2 - Q_{diss}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

85/172

Sistemas dissipativos

- sistemas reais: não há conservação de energia mecânica
- introdução do conceito de energia interna
- transformação de energia mecânica em interna

$$E_{TOT} = (E_{CIN} + E_{POT}) + E_{INT}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

86/172

Energia interna

potencial

- pode ser recuperada
- Ex.: mola, pêndulo, montanha russa

cinética

- não pode ser recuperada
- Ex.: movimentos internos desordenados

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

87/172

Calor e Temperatura

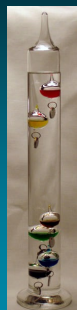
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

88/172

Calor e Temperatura

- os Gregos de Alexandria já sabiam que o ar expande quando é aquecido
- Filo de Bizâncio (séc. 3 a.C) fez um 'termoscópio'
- Galileu (1592) foi o primeiro a colocar uma escala no 'termoscópio'



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

89/172

Calor e Temperatura

- pensava-se que o calor era um fluido chamado de **calórico** por Lavoisier
- unidade de calor: caloria
- Joseph Black (séc. XVIII): distinção entre calor e temperatura

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

90/172

Temperatura

- nossa percepção é enganadora
- ilusão de temperatura: água quente ou fria?



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

91/172

Medida da Temperatura

- medições baseadas nas alterações de suas propriedades
 - aumento de volume
 - aumento de pressão
 - mudança de cor
 - mudança de estado
 - mudança de condutibilidade
 - etc.



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

92/172

Primeiro termômetro

- 1665: Huygens sugere usar pontos de fusão e ebulição da água como padrões
- 1701: Røemer:
 - com vinho tinto(!)
 - 0°: mistura de água, gelo e sal (~ -14°C)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

93/172

A escala Fahrenheit

- mínima: mais baixa temperatura em laboratório: mistura de água, gelo e cloreto de amônio (0°F)
- máxima: temperatura do corpo humano (96°F)
- dividiu escala em 12 'graus' (sugestão de Newton)
- depois redividiu cada 'grau' por 8
- 1724: termômetros de mercúrio, aperfeiçoou a escala de Røemer
 - ⇒ congelamento da água: 32°F
 - ⇒ ebulição da água: 212°F (180°F acima)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

94/172

A escala Réaumur

- 1731: Réaumur simplifica a escala de Fahrenheit
- congelamento da água: 0°R
- ebulição da água: 80°R

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

95/172

A escala Celsius

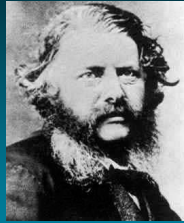
- 1741: Celsius altera a escala de Réaumur:
- congelamento da água: 100°C
- ebulição da água: 0°C
- 1744: Linnaeus inverteu a escala
- inicialmente chamada de escala centígrada (100 partes)
- praticamente universal (exceto EUA, Jamaica, etc.)
- 9ª CGPM (1948): mudou nome p/ escala Celsius

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

96/172

William John Macquorn Rankine (1820-1872)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

97/172

Rankine

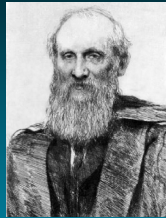
- engenheiro e físico escocês
- 1850: usou sua teoria de vórtices para estabelecer relações entre temperatura, pressão e densidade dos gases, para o calor latente de evaporação de um líquido
- 1854: introduziu sua função termodinâmica, posteriormente conhecida como **entropia**
- 1859: escala Rankine: também absoluta, mas baseada em 180, como a Fahrenheit ($0^{\circ}\text{C} \approx 491,67 \text{ Ra}$)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

98/172

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907)



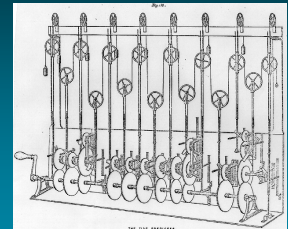
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

99/172

Kelvin

- 1873: **previsor de ondas**., baseado numa sugestão de Beauchamp para soma funções trigonométricas com períodos independentes
– (<http://www.math.sunysb.edu/~tony/tides/index.html>)



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

100/172

Lei Zero da Termodinâmica

- se dois objetos estão em equilíbrio térmico com um terceiro objeto, estarão em equilíbrio térmico entre si.

$$\begin{aligned} T(A) &= T(B) \\ T(C) &= T(B) \\ \Rightarrow T(A) &= T(C) \end{aligned}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

101/172

Termômetro a gás

- termômetros de líquido dependem da substância utilizada
- Charles e Gay-Lussac
- pontos: fusão do gelo, ebulição da água

$$\begin{aligned} P &\propto T \\ \Rightarrow \begin{cases} p_0 \rightarrow T_0 \\ p_1 \rightarrow T_1 \end{cases} \\ \Rightarrow \frac{p_1}{p_0} &= \frac{T_1}{T_0} \end{aligned}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

102/172

Temperatura absoluta

- Se a pressão tende a zero, o quociente p_1/p_0 tende a um valor independente do gás de 1,366
- Não há pressões negativas P zero absoluto = $-273,16^\circ\text{C}$ = 0 K

$$\begin{aligned}\frac{T_1}{T_0} &= 1,366 \\ T_1 - T_0 &= 100^\circ \\ \Rightarrow T_1 &= T_0 + 100^\circ\text{C} \\ \Rightarrow \frac{T_0 + 100^\circ}{T_0} &= 1,366 \\ \Rightarrow T_0(1,366 - 1) &= 100^\circ\text{C} \\ \Rightarrow T_0 &= 273,15^\circ\text{C}\end{aligned}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

103/172

Escala Kelvin

- K: verdadeira unidade de medida (o dobro do valor para o dobro da energia interna) (nas outras escalas, não)
- 1948-54: “graus absolutos” (confusão c/ escala Rankine, também absoluta)
- até 13ª CGPM (1967-8): “graus Kelvin”
- hoje: kelvin (símbolo K)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

104/172

Kelvin

- 1848: estende o conceito de zero absoluto de gases para todas as substâncias
- 1852: c/ Joule demonstram que um gás em expansão rápida esfria
- 1874: formalmente enuncia a 2ª Lei da Termodinâmica

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

105/172

Capacidade calorífica

- quantidades diferentes de água levam tempos diferentes para passar pela mesma diferença de temperaturas
- durante o congelamento ou a fusão de materiais, a temperatura não varia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

106/172

Capacidade calorífica

- quantidades iguais de água alcançam a temperatura média entre as iniciais.
- quantidades desiguais sofrem diferenças de temperatura numa razão inversamente proporcional à razão das quantidades.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

107/172

Capacidade calorífica

- massas de água e sua temperatura são uma maneira conveniente de calcular o calor transferido
- definição de ‘caloria’
- definição de ‘calor específico’ para outras substâncias

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

108/172

Comparação

fonte de calor

- pode receber ou ceder calor quase sem variação da sua temperatura
- fonte quente (cede)
- fonte fria (recebe)

termômetro

- chega ao equilíbrio térmico quase sem troca de calor

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

109/172

Medida do calor

- não se mede diretamente transferência de calor
- medem-se **massas** e **mudanças de temperatura**
- calculam-se quantidades de calor transferidas

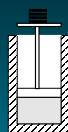
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

110/172

Expansão adiabática

- não há troca de calor
- os pesos vão sendo retirados
- a pressão interior está sempre em equilíbrio com a pressão externa ($p_{atm} + p_{pesos}$)



$$W = \int_{l_0}^{l_f} P dl$$
$$P_i = pA, \quad dl = dV/A$$
$$\Rightarrow W = \int_{V_0}^{V_f} p dV$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

111/172

Entalpia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

112/172

Noção de entalpia

- líquidos e sólidos expandem-se com enormes pressões
- é muito difícil uma troca de calor sem variação de volume
- define-se uma nova quantidade: a «entalpia»

$$dE = dQ - p dV$$
$$d(pV) = p dV + V dp$$
$$\Rightarrow d(E + pV) = dQ + V dp$$
$$\Rightarrow dH = dQ + V dp$$
$$H = E + pV$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

113/172

Processos a pressão constante

- numa reação num frasco aberto, por exemplo, a pressão do sistema equilibra-se sempre com a pressão atmosférica e é, portanto, constante ($dp=0$).

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

114/172

Entalpia de uma substância

- não há maneira de se determinar a entalpia absoluta de uma substância, apenas valores relativos a uma referência arbitrária, tal como a elevação de montanhas são definidas com relação ao nível do mar.
- a referência é a Entalpia padrão de formação (ΔH_f^0)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

115/172

Entalpia de formação padrão

- ΔH_f^0 : variação de calor que resulta da formação de um mole de composto a partir de seus elementos à pressão de 1 atm.
- temperatura ambiente: 25°.
- convenção: elemento na sua forma mais estável: $\Delta H_f^0 = 0$.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

116/172

Entalpias padrão de formação

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| • H(g): 218,2 kJ/mol | • CO(g): -110,5 kJ/mol |
| • H ₂ (g): 0 kJ/mol | • CO ₂ (g): -393,5 kJ/mol |
| • H ₂ O(g): -241,8 kJ/mol | • O(g): 249,4 kJ/mol |
| • H ₂ O(l): -285,8 kJ/mol | • O ₂ (g): 0 kJ/mol |
| • C(grafite): 0 kJ/mol | • O ₃ (g): 142,3 kJ/mol |
| • C(diam.): 1,90 kJ/mol | |

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

117/172

Medição de ΔH_f^0 em compostos

- direta: através da entalpia de formação do composto a partir dos seus elementos em forma mais estável ($\Delta H_f^0 = 0$)
- indireta: através da Lei de Hess

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

118/172

Lei de Hess

- quando reagentes são convertidos em produtos, a variação de entalpia é a mesma, tanto se a reação ocorre em uma etapa ou em várias.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

119/172

Exemplo

- $C(\text{grafite}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) = -393,5 \text{ kJ}$
- $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) = -285,8 \text{ kJ}$
- $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) = -890,4 \text{ kJ}$
- $2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(l) = -2598,8 \text{ kJ}$
- $C(\text{grafite}) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g) = ?$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

120/172

Calor de combustão

- calorímetro de bomba a volume constante
 - $V = \text{cte} \Rightarrow$ o que se mede não é a entalpia, mas fazem-se correções posteriores
- $\Delta H_0 = -684,9 \text{ kcal/g}$
- pão: $\Delta H_0 = -11 \text{ kJ/g}$
- manteiga: -34 kJ/g
- leite: -3 kJ/g
- carvão: -35 kJ/g
- gasolina: -34 kJ/g
- gás natural: -50 kJ/g

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

121/172

Exemplo



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

122/172

Calor de reação

- calorímetro de pressão constante
 - calor de formação
 - calor de reação

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

123/172

Reações endotérmicas e exotérmicas

- entalpia de dissolução
 - $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) \Delta H^0 = -82,8 \text{ kJ/mol}$
40g (0,36 mole) $20^\circ\text{C} \rightarrow 90^\circ\text{C}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_4^{+}(\text{aq}) + \text{NO}_3^{-}(\text{aq}) \Delta H^0 = 26,2 \text{ kJ/mol}$
30g (0,38 mole) $20^\circ\text{C} \rightarrow 0^\circ\text{C}$
- entalpia de diluição
 - H_2SO_4

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

124/172

Exemplo prático

- $\text{CaO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) \Delta H = -65,2 \text{ kJ}$
- 500g $\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$ (25°C);
 $C_{\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})} = 1,2 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ $T_f = 761^\circ\text{C}$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

125/172

Exercícios

- gás: expansão a $T = \text{cte}$. 264ml \rightarrow 971ml. Trabalho?
 - contra o vácuo
 - contra a pressão atmosférica
- gás: expansão: realiza 279J de trabalho e absorve 216J de calor. ΔE ?

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

126/172

Exercícios

- $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ a 1atm e 25°C
 $\Delta\text{H}=?$
- $\text{C}(\text{grafite}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$ $\Delta\text{H}=?$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

127/172

Exercícios

- 0,600g de Naftaleno $\text{C}_{10}\text{H}_8 \rightarrow$
 $\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ em calorímetro a vol. cte.
- $C_{\text{calorímetro}}=2550\text{cal}/^\circ\text{C}$
- $\Delta\text{E}=?$
- $\Delta\text{H}=?$
- calcular pela tabela

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

128/172

A 2ª Lei da Termodinâmica

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

129/172

Entropia



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

130/172

Processos espontâneos

- a água desce
- um gás expande-se
- o calor flui do corpo mais quente para o mais frio
- o ferro enferruja (oxida-se)
- o gelo derrete-se ($\Delta\text{H}=+6,01\text{kJ}>0!$)
- $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq})+\text{NO}_3^-(\text{s})$
($\Delta\text{H}=+25\text{kJ}>0$)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

131/172

Entropia



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

132/172

Entropia



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

133/172

Noção de entropia

- A variação de entalpia não é suficiente para prever a espontaneidade de um processo
- A entropia é uma medida do grau de desordem de um sistema

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

134/172

A 2ª Lei da Termodinâmica

- Numa máquina térmica, não é possível transformar todo o calor em trabalho; é inevitável desperdiçar algum calor.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

135/172

Máquinas térmicas

- cíclicas
- uma fonte quente (caldeira) e uma fria (condensador)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

136/172

Entropia de mudanças de fase

- C(grafite) $S^0=5,69$ J/K.mol
- C(diamante) $S^0=2,41$ J/K.mol
- $H_2O(l)$ $S^0=69,9$ J/K.mol
- $H_2O(g)$ $S^0=188,7$ J/K.mol

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

137/172

Exercício

- Prever o sinal da variação de entropia:
 - $Ag^+(aq)+Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$
 - $NH_4Cl(s) \rightarrow NH_3(g)+HCl(g)$
 - $H_2(g)+Br_2(g) \rightarrow 2HBr(g)$
 - $I_2(g) \rightarrow 2I(g)$
 - $2Zn(s)+O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s)$
 - $N_2(g)+O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$

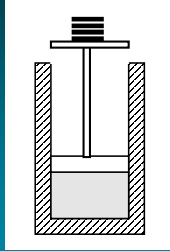
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

138/172

Expansão adiabática

- Não há troca de calor e os pesos vão sendo retirados, de forma que a pressão interior está sempre em equilíbrio com a pressão externa ($p_{atm} + p_{pesos}$).



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

139/172

Transformações reversíveis

- S: entropia

adiabatica (equil. de p)

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int p A dr$$

$$\Rightarrow W = \int p dV$$

isometrica (equil. de T)

$$p \rightarrow T, \quad V \rightarrow S$$

$$Q = \int T dS$$

$$\Rightarrow dU = T dS + p dV$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

140/172

Entropia

- Expansão livre de um gás ($Q=0$ e $W=0$)

$$\Omega = \left(\frac{V}{H}\right)^N$$

$$\ln \Omega_f - \ln \Omega_i = N(\ln V_f - \ln V_i)$$

(mas) $dU = T dS + p dV$ com $dU = 0$

$$\Rightarrow dS = \frac{p}{T} dV$$

$$\text{mas } pV = nRT \Rightarrow dS = \frac{nR}{V} dV$$

$$\Rightarrow \ln \Omega_f - \ln \Omega_i = \frac{N}{nR} (S_f - S_i)$$

$$\therefore S = k \ln \Omega$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

141/172

Espontaneidade e equilíbrio

- $\Delta S_{\text{meio}} + \Delta S_{\text{sist}} > 0$ (proc. espontâneo)
- $\Delta S_{\text{meio}} + \Delta S_{\text{sist}} = 0$ (equilíbrio)

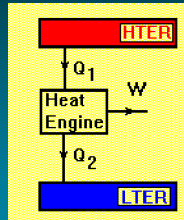
4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

142/172

A 2ª Lei da Termodinâmica

- numa máquina térmica, não é possível transformar todo o calor em trabalho; é inevitável desperdiçar algum calor.



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

143/172

A 2ª Lei no caso de sistemas isolados

- Num sistema isolado $\Delta S_{\text{Univ}} \geq 0$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

144/172

Sistemas vivos

- evoluem para estruturas cada vez mais complexas \Rightarrow entropia diminui
- como pode ser??
- diminui à custa do aumento da entropia do meio ambiente

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

145/172

Entropia



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

146/172

Entropia



4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

147/172

A 2ª Lei da Termodinâmica

- É praticamente impossível que o Homem atue no seu meio-ambiente sem causar um aumento irreversível de entropia.
- A 2ª Lei da Termodinâmica prevê isso.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

148/172

Entropia padrão

- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
– $S^0 = 92,9; 39,8, 213,6 \text{ J/K}$
- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$
– $S^0 = 192,131; 193 \text{ J/K}$
- $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$
– $S^0 = 131,223; 187 \text{ J/K}$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

149/172

Entropia e entalpia

- processo exotérmico:
aumento de agitação
no meio: aumento de
entropia no meio
- temperatura do meio
elevada: menor
impacto do aumento
de agitação

$$\Delta S_{\text{meio}} = -\frac{\Delta H_{\text{sist}}}{T}$$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

150/172

Exemplo

- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$
 - $\Delta H^0 = -92,6 \text{ kJ}$ $\Delta S^0 = -199 \text{ J/K}$
 - $\Delta S_{\text{meio}} = -(-92,6 \times 1000) \text{ J} / 298 \text{ K} = 311 \text{ J/K}$
 - $\Delta S_{\text{Univ}} = \Delta S_{\text{meio}} + \Delta S_{\text{sist}}$
 - = $-199 \text{ J/K} + 311 \text{ J/K} = 112 \text{ J/K} > 0$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

151/172

Entropia absoluta

- A entropia de uma substância cristalina perfeita é nula no zero absoluto de temperatura
- Entropia absoluta: $\Delta S = S_f - S_i = S_f$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

152/172

Entropia de formação padrão

- Entropia a 25°C

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

153/172

Energia livre de Gibbs

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

154/172

Energia livre de Gibbs

- $\Delta S_{\text{meio}} + \Delta S_{\text{sist}} > 0$
- $-\Delta H_{\text{sist}}/T + \Delta S_{\text{sist}} > 0$
- $-\Delta H_{\text{sist}} + T\Delta S_{\text{sist}} > 0$
- $\Delta H_{\text{sist}} - T\Delta S_{\text{sist}} < 0$
- $G = H - TS$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

155/172

Exemplo

- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
 - ΔH : -1206,9; -635,6, -393,5 kJ/mol
 - ΔS : 92,9; 39,8, 213,6 J/K
 - $\Delta G = 130,0 \text{ kJ} > 0$
- $T = 1108 \text{ K}$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

156/172

Exemplos

- $\Delta H > 0$ e $\Delta S > 0$:
depende de T
- Ex.: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$
- $\Delta H > 0$ e $\Delta S < 0$: ΔG
sempre positivo
- Ex.: $3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{O}_3$
- $\Delta H < 0$ e $\Delta S > 0$: ΔG
sempre negativo
- Ex.: $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$
- $\Delta H < 0$ e $\Delta S < 0$:
depende de T
- Ex.: $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

157/172

Exemplo

- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
 ΔH : -1206,9; -635,6, -393,5 kJ/mol
 ΔS : 92,9; 39,8, 213,6 J/K
 $\Delta G = 130,0$ kJ > 0
- $T = 1108$ K

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

158/172

Exercícios

- Espontânea? A que temperatura?
- A: $\Delta H = 10,5$ kJ e $\Delta S = 30$ J/K
- B: $\Delta H = 1,8$ kJ e $\Delta S = -113$ J/K
- C: $\Delta H = -126$ kJ e $\Delta S = 84$ J/K
- D: $\Delta H = -11,7$ kJ e $\Delta S = -105$ J/K

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

159/172

Transições de fase

- equilíbrio: $\Delta G = 0$ $\Delta S = \Delta H/T$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

160/172

Exemplo

ΔS : gelo \rightarrow água
 ΔH : 6010 J/mol

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

161/172

Exercícios

ΔS : benzeno
 $\Delta H_{\text{fusão}}$: 10,9 kJ/mol $T_{\text{fusão}}$: 5,5°C
 ΔH_{vapor} : 31,0 kJ/mol T_{ebul} : 80,1°C

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

162/172

Exercícios

ΔS : árgon

$\Delta H_{\text{fusão}}$: 1,3 kJ/mol $T_{\text{fusão}}$: -190°C

ΔH_{vapor} : 6,3 kJ/mol T_{ebul} : -186°C

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

163/172

Exercícios

- T_{ebul} : Hg
- Hg(l): ΔH° : 0 (p.def.)
- S° : 77,4 J/Kmol
- Hg(s): ΔH° : 60,78 kJ/mol
- S° : 174,7 J/Kmol

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

164/172

Referências Bibliográficas

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

165/172

Referências

- GOTTSCHALL, Carlos Antonio Mascia. Do mito ao pensamento científico: A busca da realidade, de Tales a Einstein. São Paulo : Atheneu, 2004.
- GURGEL & PIETROCOLA. Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII. Anais do X EPEF. (disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/x/sy/s/resumos/T0122-1.pdf>)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

166/172

Referências

- QUADROS, Paula P. de & SANTOS Renato P. dos. A Energia nossa na leitura de cada dia. **Acta Scientiae**, v. 9, p. 27-38, 2007.
- DRUZIAN, Aline Cesar. **O Conceito de Energia na Física: Evolução Histórica e Perfil Conceitual**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Luterana do Brasil. 2009

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

167/172

Referências

- ARONS, Arnold, Developing the Energy Concepts in Introductory Physics, **Phys. Teach.**, vol. 27, n. 7, pp. 506-517, out./1989.
- BENYON, John, Some Myths Surrounding Energy, **Phys. Educ.**, vol. 25, n. 6, pp. 314-316, nov./1990.
- DUITT, Reinders, Understanding Energy as a Conserved Quantity - Remarks on the Article by R.U. Sexl, **Eur. J. Sci. Educ.**, v. 3, n. 3, pp. 291-301, jul.-set./1981.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

168/172

Referências

- Energia, GLIOZZI, Mario, in **Enciclopedia Filosófica**, SAMSONI, G., (ed.), 1976, pp. 837-838.
- HICKS, N., Energy Is not the Capacity to do Work - Or Is It?, **Phys. Teach.**, vol. 21, n. 8, pp. 529-530, nov./1983.
- IPN Curriculum Physik, *Unterrichtseinheit 'Energie, Arbeit, Leistung, Kraft' für das 7./8. Schuljahr*, Klett Verlag, Stuttgart, 1978.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

169/172

Referências

- LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc, **A Mecânica em Perguntas**, Gradiva, Lisboa, 1991.
- McCLELLAND, Gerry, Energy in School Science, **Phys. Educ.**, vol. 24, n. 3, pp. 162-164, mai/1989.
- SEXL, Roman U., Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept, **Eur. J. Sci. Educ.**, vol. 3, n. 3, pp. 285-289, jul.-set/1981.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

170/172

Referências

- SOLOMON, Joan. Learning about energy: how pupils think in two domains. **Eur. J. Sci. Educ.** v. 5, n. 1, pp. 49-59, jan.-mar./1983.
- SOLOMON, Joan, Teaching the Conservation of Energy, **Phys. Educ.**, vol. 20, n. 4, p. 165-170, jul./1985
- TRUMPER, Ricardo, Energy and a Constructivist Way of Teaching, **Phys. Educ.**, vol. 25, n. 4, pp. 208-212, 1990.

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

171/172

Referências

- WATTS, Donald Michael. Some alternative views of energy. **Phy. Educ.** v. 18, n. 5, pp. 213-217, set./1983

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

172/172