



Situações quotidianas

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

· impedir a queda de

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 3/120

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

(ARONS, 1989)

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 4/120

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 5/120

Preliminares

- 1669: Becher propõe teoria de combustão envolvendo a 'terra combustível' (Latim terra
- 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 6/120 © www.fisica-interessante.com

1

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

7/120

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
- · Helmhotz (séc. 19): contra a energia vital

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com 8/120

Má definição de energia

• "O conceito de que energia é a capacidade 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

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

10/120

Má definição de energia

• "A definição de energia deve basear-se 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

11/120

Uma definição de 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

Formação do conceito de energia

"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

....

O Princípio da Conservação da Energia

- Helmhotz 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

14/120

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

15/120

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

16/120

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

17/120

O Princípio da Conservação da Energia

 "A Energia nunca é criada e nem destruída:

 $\Delta E_{tot} = 0$

 há sempre a mesma quantidade de energia no fim como no princípio."

 $E_{fin} = E_{in}$

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

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

19/120

'Armazenar' energia

- "Energia é uma quantidade abstrata, inventada para auxiliar a humanidade na investigação da natureza. Como conseqüência, 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

20/120

'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, podese 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

04/400

A Energia na Mídia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

22/120

A Energia na Mídia

- na linguagem quotidiana: real, sinônima de força e poder ('gastar energia', 'armazenar energia' e 'produzir energia')
- nos estudantes: concepções alternativas x concepções científicas
- na publicidade: induz ao consumo de produtos que 'dão força e energia'

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

23/120

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

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

A Energia na Mídia

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

4-jul-2011 © w

© www.fisica-interessante.com

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. (SOLOMÓN, 1983)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

07/100

Termodinâmica

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com

28/120

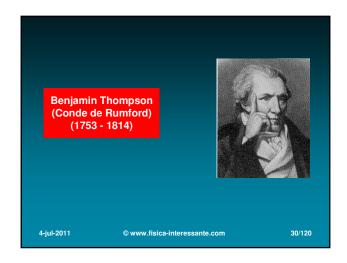
26/120

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



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

Rumford 1798: mede o calor gerado pela perfuração de canhões e desenvolve a idéia de que calor é uma cinética, refutando a teoria do calórico 4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 32/120

Sir John Leslie (1766 - 1832)4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 33/120

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

• 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

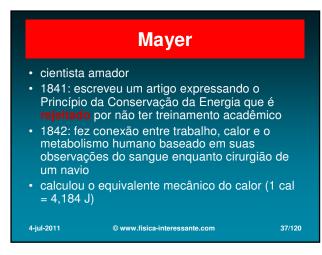
Julius Robert von Mayer (1814-1878)

4-jul-2011

35/120

© www.fisica-interessante.com

36/120





Trabalho e calor trabalho: • motores elétricos • aquecedores • fogões elétricos • lâmpadas 4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 39/120



Equivalência Calor/Trabalho

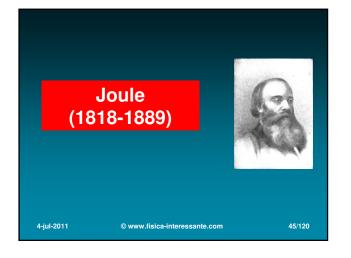
- o trabalho realizado sobre um sistema é transformado diretamente em energia interna <u>sem</u> transferência de calor.
- aquela é <u>equivalente</u> ao calor necessário para tal.

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 41/120

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













Energia interna potencial potencial pode ser recuperada Ex.: mola, pêndulo, montanha russa cinética não pode ser recuperada Ex.: movimentos internos desordenados



Preliminares

- 5° 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 © v

© www.fisica-interessante.com

51/120

Preliminares • Heron de Alexandria • æolipília (bola d'água) • usada para provar a pressão do ar sobre os corpos • 1ª máquina a vapor

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

53/120

Máquinas térmicas cíclicas uma fonte quente (caldeira) e uma fria

Water (1)

Water (1)

Water (1)

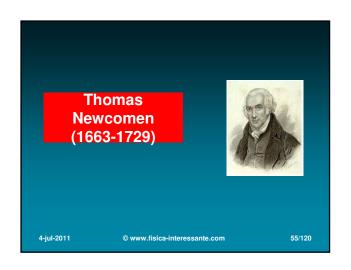
Work Output
(moving wheel)

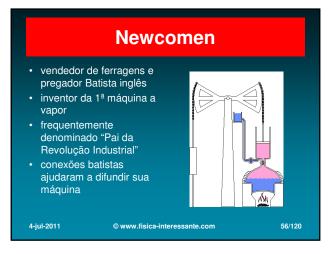
HEAT ENGINE

4-jul-2011

(condensador)

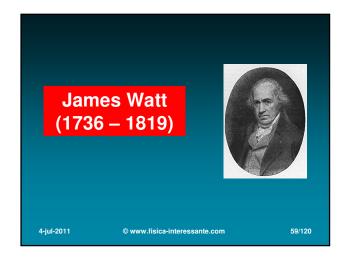
© www.fisica-interessante.com

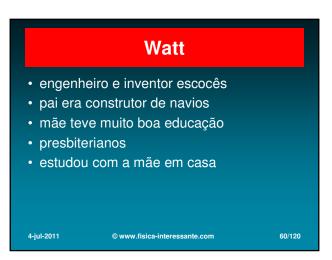












Watt

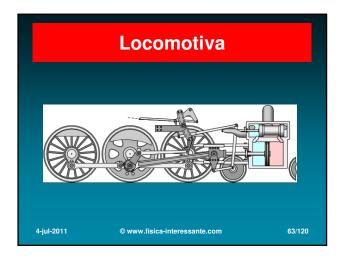
- quis ser instrumentador mas faltava-lhe o aprendizado para a Guilda
- professores permitiram-lhe abrir oficina na Universidade
- foi discípulo de Joseph Black
- introduziu o condensador na máquina de Newcomen

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

61/120

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





Manufatura

- artesão possui os meios de produção (oficina e ferramentas)
- trabalha com a família em sua própria casa
- realiza todas as etapas, desde o preparo da matéria-prima, até o acabamento final
- não há divisão do trabalho ou especialização
- admitiam-se ajudantes ou aprendizes (Guildas)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com



65/120

Causas?

- Independência Americana (1776) e Revolução Francesa (1789)
- maior sobrevivência infantil ⇒ maior mão de obra
- menor demanda de mão de obra rural ⇒ maior mão de obra urbana
- expansão colonial ⇒ maior capital
- inovação tecnológica (máquina a vapor)
- Estatuto dos Monopólios (p/ inventores)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Porque na Inglaterra?

- Renascimento (Revolução Científica)
- liberalismo econômico × Guildas
- estabilidade política (Vitorianismo: 63 anos)
- · maior poder de compra
- grande mercado de exportação de têxteis
- riqueza de matérias primas (carvão, ferro)
- Ética protestante (Max Weber)
- exclusão pela Igreja Anglicana e governo

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

67/120

Na China

- cultura centrada na família, c/ prevalência da tradicão
- métodos artesanais eram eficientes o suficiente para dispensar a industrialização
- recursos em quantidade para desperdício
- Benjamin Elman: armadilha do equilíbrio de alto nível:
 - China: 66% da população → 80% da produção
 - Europa: 20% da população → <20% da produção

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

60/100

Conseqüências

- Inglaterra adianta-se 50 anos em relação ao continente europeu no nível de industrialização
- Inglaterra sai na frente na expansão colonial (p/ conquistar mercados de matéria-prima e p/ produtos)
- · novas classes sociais:
 - empresários (capitalistas)
 - operários (trabalhadores assalariados)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

69/120

Conseqüências

- especialização e divisão do trabalho
- democratização da educação
- êxodo rural
- urbanização
- · indústria gráfica
- · expansão ferroviária
- Sindicalismo

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

70/120

Conseqüências

- mecanização do campo
- migração
- · mercantilismo
- colonialismo
- · armamentismo
- aceleração do progresso (exponencial)



4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com

71/120

Visão romântica

- desvalorização do artesanato pela mecanização
- o artesão possui os meios de produção e controla os lucros
- o artesão tem alto grau de satisfação e identificação com o produto final
- na linha de montagem, o operário não se realiza pois apenas executa uma operação repetitiva e não se identifica com o produto

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

























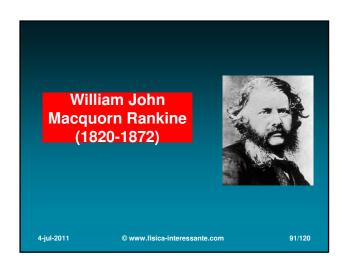






A escala Réamur 1731: Réamur simplifica a escala de Fahrenheit congelamento da água: 0 °R ebulição da água: 80 °R

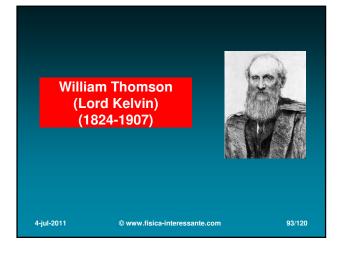
A escala Celsius • 1741: Celsius altera a • inicialmente chamada escala de Réamur: de escala centígrada (100 partes) praticamente · congelamento da universal (exceto água: 100℃ EUA, Jamaica, etc.) ebulição da água: 0°C • 9ª CGPM (1948): mudou nome p/ • 1744: Linnaeus escala Celsius inverteu a escala 90/120 4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com

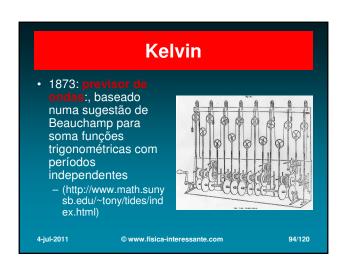


Rankine

- 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°C ≈ 491,67 Ra)

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 92/120





Termômetro a gás $\begin{array}{l} \text{Termômetro a gás} \\ \text{• termômetros de líquido dependem da substância utilizada} \\ \text{• Charles e Gay-Lussac} \\ \text{• pontos: fusão do gelo, ebulição da água} \\ \end{array} \begin{array}{l} P \propto T \\ \Rightarrow \begin{cases} p_0 \rightarrow T_0 \\ p_1 \rightarrow T_1 \\ \Rightarrow \frac{p_1}{p_0} = \frac{T_1}{T_0} \end{cases} \\ \end{array}$



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

97/120

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

98/120

Entropia 4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 99/120

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 ($\Delta H=+6,01kJ>0!$)
- $NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(s)$ ($\Delta H = +25kJ > 0$)

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

100/120

Entropia

- 1824: Sadi Carnot analisa a eficiência de máquinas a vapor usando a teoria do calórico. Postula a inexistência de processos reversíveis na Natureza, dando base para a 2ª Lei da Termodinâmica
- 1827: Robert Brown descobre o movimento persistente das partículas de pólen e de corante na água

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

101/120

Clausius

- 1854: estabelece a importância do termo dQ/T mas sem denominar a quantidade
- 1865: introduz o conceito de entropia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Gibbs

 1876: Josiah Willard Gibbs publica seu artigo em que discute equilíbrio de fases e sua Energia Livre como a força por trás das ligações químicas e termodinâmica química em geral

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Maxwell

- 1859: descobre a Lei da distribuição das velocidades moleculares
- 1867: discute se seu demônio poderia reverter um processo irreversível

4-jul-2011

103/120

105/120

107/120

© www.fisica-interessante.com

104/120

Clausius

- 1854: estabelece a importância do termo dQ/T mas sem denominar a quantidade
- 1865: introduz o conceito de entropia

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Gibbs

 1876: Josiah Willard Gibbs publica seu artigo em que discute equilíbrio de fases e sua Energia Livre como a força por trás das ligações químicas e termodinâmica química em geral

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

106/120

Maxwell

- 1859: descobre a Lei da distribuição das velocidades moleculares
- 1867: discute se seu demônio poderia reverter um processo irreversível

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Entropia

- 1854: Helmholtz propõe a idéia da 'morte' térmica do Universo
- 1859: Kirchhoff mostra que a emissão de energia por um corpo negro é função apenas da temperatura
- 1877: Boltzmann estabelece a relação entre entropia e probabilidade

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Entropia

- 1879: Jožef Stefan observa que o fluxo total de radiação de um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura (Lei de Stefan-Boltzmann)
- 1893: Wilhelm Wien descobre a Lei da Radiação do Corpo Negro

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

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

110/120

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

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

109/120

111/120

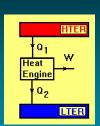
113/120

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

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

112/120

A 2ª Lei no caso de sistemas isolados

• Num sistema isolado ∆S_{Univ}≥0

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com

Sistemas vivos

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

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com





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

Referências

4-jul-2011 © www.fisica-interessante.com 118/120

Referências

117/120

119/120

- 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

Referências

- http://pt.wikipedia.org/wiki/História_da_física#Sé culo_XVIII
- http://pt.wikipedia.org/wiki/História_da_física#Sé culo_XIX
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Termodinâmica
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Revolução_Industrial
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Romantismo#Romanti smo nas Belas Artes

4-jul-2011

© www.fisica-interessante.com