

# Física do Corpo Humano

## (Física aplicado a Fisiologia)

Adriano M. Alencar

Laboratório de Microrreologia e fisiologia Molecular (LabM<sup>2</sup>)  
Departamento de Física Geral  
Instituto de Física  
Universidade de São Paulo



6 de março de 2013

- Existem em torno de uma centena de átomos

- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)

- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias

- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias
- Por exemplo,  $\text{CO}_2$  sempre terá a mesma composição, mesma massa e arranjo espacial

- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias
- Por exemplo,  $\text{CO}_2$  sempre terá a mesma composição, mesma massa e arranjo espacial
- É possível existir mais de uma arranjo possível para um mesmo grupo de átomos, levando a moléculas distintas (isômeros)

- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias
- Por exemplo,  $\text{CO}_2$  sempre terá a mesma composição, mesma massa e arranjo espacial
- É possível existir mais de uma arranjo possível para um mesmo grupo de átomos, levando a moléculas distintas (isômeros)
- Cada molécula possui um quantidade de energia interna bem definida, residente na ligação entre os átomos

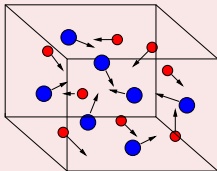
- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias
- Por exemplo,  $\text{CO}_2$  sempre terá a mesma composição, mesma massa e arranjo espacial
- É possível existir mais de uma arranjo possível para um mesmo grupo de átomos, levando a moléculas distintas (isômeros)
- Cada molécula possui um quantidade de energia interna bem definida, residente na ligação entre os átomos
- Em geral, moléculas preferem as reações com liberação de energia (exotérmica), do que as endotérmicas.



- Existem em torno de uma centena de átomos
- Cada átomo possui suas características particulares (Massa molar etc)
- De forma similar, cada molécula de um dado componente químico também possui suas características próprias
- Por exemplo,  $\text{CO}_2$  sempre terá a mesma composição, mesma massa e arranjo espacial
- É possível existir mais de uma arranjo possível para um mesmo grupo de átomos, levando a moléculas distintas (isômeros)
- Cada molécula possui um quantidade de energia interna bem definida, residente na ligação entre os átomos
- Em geral, moléculas preferem as reações com liberação de energia (exotérmica), do que as endotérmicas.
- energia de ativação

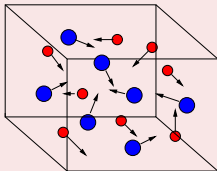
## Gás monoatômico

- Cinética unicamente translacional
- átomos tipo “bolas de sinuca”



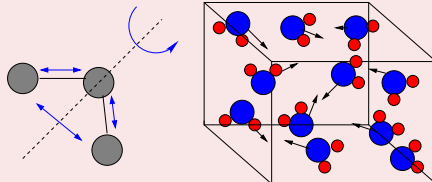
## Gás monoatômico

- Cinética unicamente translacional
- átomos tipo “bolas de sinuca”



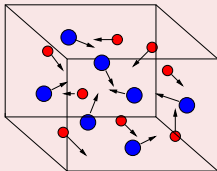
## Gás poliatômico

- adiciona energia rotacional
- adiciona energia vibracional



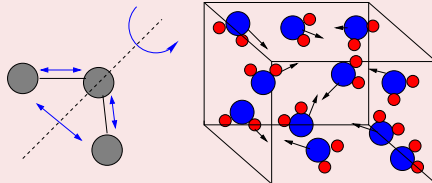
## Gás monoatômico

- Cinética unicamente translacional
- átomos tipo “bolas de sinuca”



## Gás poliatômico

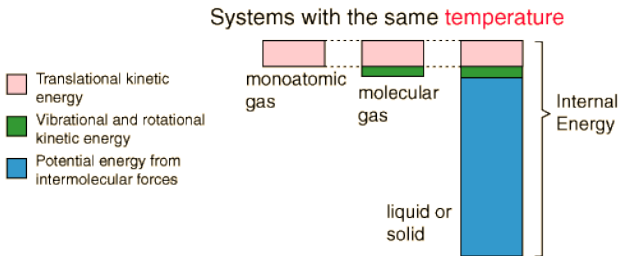
- adiciona energia rotacional
- adiciona energia vibracional



## Líquidos e Sólidos

adiciona forças atrativas intermoleculares

# Energias em fluidos



## Energia Livre de Helmholtz

O que determina a direção espontânea das mudanças?

## Energia Livre de Helmholtz

O que determina a direção espontânea das mudanças?

- Tendência a minimizar a energia,  $\mathcal{U}$

## Energia Livre de Helmholtz

O que determina a direção espontânea das mudanças?

- Tendência a minimizar a energia,  $\mathcal{U}$
- Tendência a maximizar a entropia,  $\mathcal{S}$



## Energia Livre de Helmholtz

O que determina a direção espontânea das mudanças?

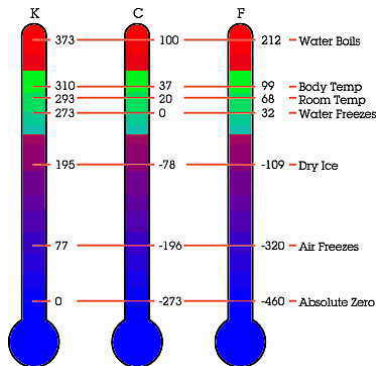
- Tendência a minimizar a energia,  $\mathcal{U}$
- Tendência a maximizar a entropia,  $\mathcal{S}$

Essas duas tendências podem ser resumidas matematicamente:

### Energia livre de Helmholtz

$$\mathcal{H} = \mathcal{U} - \mathcal{T}\mathcal{S} \quad (1)$$

- Em um gás ideal, a temperatura é proporcional a energia cinética média.
- Líquidos e sólidos tem tendências similares
- Para aumentar a temperatura é necessário aumentar a energia cinética das moléculas (fogo por exemplo)
- Calor também pode ser removido
- Zero absoluto  $\approx -273.15^{\circ}\text{C}$



## Animais de sangue quente

Seres de **sangue quente** gastam energia interna, via processos metabólicos, para manter a homeostase.

Predominantemente: Mamíferos e Pássaros.

- **Endotermia:** habilidade de controlar a temperatura do corpo por vias próprias: atrito muscular, atividade metabólica dentre outras
- **Homeotermia:** habilidade de manter a temperatura estável independente da temperatura do ambiente
- **Tachymetabolismo:** habilidade de manter atividade metabólica alta mesmo durante descanso

A maioria dos pássaros e mamíferos seguem essas 3 características

## Animais de sangue frio

### Seres de sangue frio

- **Ectothermy:** Controlar a temperatura via meios externos, tipo luz do sol.
- **Poikilothermy:** Habilidade de um organismo de funcionar em um grande espectro de temperatura.
- **Bradymethabolism:** Habilidade de alterar as taxas metabólicas respondendo as necessidades, por exemplo, animais que hibernam.

## ... **Todavia**

- vários morcegos e pássaros pequenos são *poikilothermy* e *bradymethabolism* quando dormem
- alguns peixes tem características de “sangue quente”:
  - Peixe Espada e alguns tubarões aquecem o cérebro e os olhos para aumentar as habilidades de reagir e atacar presas.
  - Atum e alguns tubarões aquecem os músculos melhorando a habilidade de sustentar uma atividade física maior quando nadando em velocidades mais altas.

- Calor vem de combustão interna ( **metabolismo** ).  
Metabolismo refere as reações internas nas células quebrando glicose em água e  $\text{CO}_2$  e gerando ATP.
- Durante o metabolismo  $\approx 60\%$  é transformada em calor. Alguns organismos perdem esse calor para o meio ambiente. Outros, utilizam esse calor para manter o corpo aquecido.
- tremer e contrair a musculatura ajuda a aquecer o corpo, via estímulo ao corpo produzir mais ATP.
- suor ajuda a esfriar

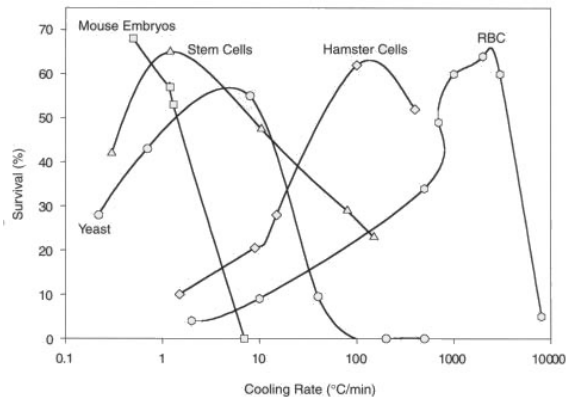
- O metabolismo aumenta em regiões que foram aquecidas, resultando em vasodilatação
- Aumenta o fluxo sanguíneo na tentativa de esfriar as áreas aquecidas
- Métodos de aquecimento:
  - por condução
  - por radiação infravermelho
  - por ondas de rádio (seu corpo funciona como uma solução eletrolítica de um capacitor)
  - por ultrassom



## Armazenamento longo de material biológico

- em 1840 John Gorrie (um médico da Flórida) utilizou ar em expansão para aliviar a temperatura em ambientes com pacientes com malária (patenteou a geladeira).
- ar líquido em 1877 ( $-196^{\circ}\text{C}$ )
- Hélio líquido em 1908 ( $-269^{\circ}\text{C}$ )
- Armazenamento de líquido criogênico (1892) James Dewar
- Criogenia em Medicina e Biologia
  - preservar sangue, espermatozoides, medula óssea, tecido, células etc.
  - preservação de seres multicelulares? (sucessos apenas em sistemas simples)
  - preservação é melhor em nitrogênio líquido ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) do que em  $\text{CO}_2$  líquido
  - sobrevivência após o congelamento depende mais da velocidade de congelamento que da de descongelamento





ILAR Journal V41(4) 2000 *Cryobiology of Embryos, Germ Cells, and Ovaries Cryopreservation of Murine Spermatozoa* J. K. Critser and L. E. Mobraaten



- Todas as atividades do corpo requer energia

- Todas as atividades do corpo requer energia
- Conversão de energia em trabalho representa apenas uma fração da energia total utilizada por nos

- Todas as atividades do corpo requer energia
- Conversão de energia em trabalho representa apenas uma fração da energia total utilizada por nos
- No repouso, condição basal:
  - 27% pelo fígado e baço
  - 25% músculos esqueléticos e coração
  - 19% cérebro
  - 10% pelos rins

- Todas as atividades do corpo requer energia
- Conversão de energia em trabalho representa apenas uma fração da energia total utilizada por nos
- No repouso, condição basal:
  - 27% pelo fígado e baço
  - 25% músculos esqueléticos e coração
  - 19% cérebro
  - 10% pelos rins
- A fonte básica de energia é a comida, que não é utilizada de forma direta

- Todas as atividades do corpo requer energia
- Conversão de energia em trabalho representa apenas uma fração da energia total utilizada por nos
- No repouso, condição basal:
  - 27% pelo fígado e baço
  - 25% músculos esqueléticos e coração
  - 19% cérebro
  - 10% pelos rins
- A fonte básica de energia é a comida, que não é utilizada de forma direta
- o combustível são moléculas que podem ser combinadas com  $O_2$  no corpo celular

- Todas as atividades do corpo requer energia
- Conversão de energia em trabalho representa apenas uma fração da energia total utilizada por nos
- No repouso, condição basal:
  - 27% pelo fígado e baço
  - 25% músculos esqueléticos e coração
  - 19% cérebro
  - 10% pelos rins
- A fonte básica de energia é a comida, que não é utilizada de forma direta
- o combustível são moléculas que podem ser combinadas com  $O_2$  no corpo celular
- nosso corpo é uma máquina térmica sujeito a lei de conservação energética



- Apenas 5% da energia contida nas comidas são excretadas sob a forma de urina ou fezes

- Apenas 5% da energia contida nas comidas são excretadas sob a forma de urina ou fezes
- Qualquer energia em excesso é armazenada sob a forma de gordura

- Apenas 5% da energia contida nas comidas são excretadas sob a forma de urina ou fezes
- Qualquer energia em excesso é armazenada sob a forma de gordura
- Muito da energia é eventualmente utilizada para a manutenção da temperatura do corpo, outra parte deve ser dissipada
- Outras energias como as solares e energias provenientes dos ambiente podem ser utilizadas para equilibrar a temperatura do corpo

A variação da energia total armazenada no corpo  $\Delta U$  pode ser escrita como

$$\Delta U = (U_{\text{Comida}} - U_{\text{excretado}}) + \Delta Q - \Delta W \quad (2)$$

onde  $\Delta Q$  representa as perdas ou ganhos de calor e  $\Delta W$  o trabalho realizado

Um corpo sem realizar trabalho  $\Delta W = 0$  a temperatura constante, perde calor continuamente para o ambiente e  $\Delta Q$  é negativo.

Na ausência de alimentos ou excreções, e em um curto intervalo de tempo

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\partial W}{\partial t} \quad (3)$$

Uma forma da primeira lei da termodinâmica (apenas conservação da Energia).

Fisiologia: kilocaloria (kcal) e taxa (kcal/min)

Nutricionistas: Caloria (C) que na realidade é kcal e taxa (C/day)

Físicos, Engenheiros etc: Newton-Metro ou Joule (J) e taxa (J/s) ou Watts

**Consumo de energia:** Metabolic Equivalent of Task (met), medição fisiológica que expressa o custo de energia de uma atividade física. É definida como sendo a taxa metabólica durante uma atividade dividido por uma taxa metabólica referencial. Essa taxa convencional é:  $3.5 \text{ ml O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ .

$$1 \text{ MET} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg h}} = 4,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg h}} = 50 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}} = 58.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

que é igual a energia produzida por unidade de área de uma pessoa em repouso.

Homem mediano ( $1,85 \text{ m}^2$ ) em repouso consome  $1,85 \times 58.2 = 107 \text{ W}$

Unidades de Energia

<b>Physical activity</b>	<b>MET</b>
<b>Light intensity activities</b>	<b>&lt; 3</b>
sleeping	0.9
watching television	1.0
writing, desk work, typing	1.8
walking, 1.7 mph (2.7 km/h), level ground, strolling, very slow	2.3
walking, 2.5 mph (4 km/h)	2.9
<b>Moderate intensity activities</b>	<b>3 to 6</b>
bicycling, stationary, 50 watts, very light effort	3.0
walking 3.0 mph (4.8 km/h)	3.3
calisthenics, home exercise, light or moderate effort, general	3.5
walking 3.4 mph (5.5 km/h)	3.6
bicycling, <10 mph (16 km/h), leisure, to work or for pleasure	4.0
bicycling, stationary, 100 watts, light effort	5.5
<b>Vigorous intensity activities</b>	<b>&gt; 6</b>
jogging, general	7.0
calisthenics (e.g. pushups, situps, pullups, jumping jacks), heavy, vigorous effort	8.0
running jogging, in place	8.0
rope jumping	10.0

- Lavoisier, em 1784, sugere que a comida é oxidada no processo de digestão (experimentos em animais)

1 mol de ar a temperatura e pressão normal possui 22,4 litros

- Lavoisier, em 1784, sugere que a comida é oxidada no processo de digestão (experimentos em animais)
- Na realidade a oxidação ocorre nas células

1 mol de ar a temperatura e pressão normal possui 22,4 litros



- Lavoisier, em 1784, sugere que a comida é oxidada no processo de digestão (experimentos em animais)
- Na realidade a oxidação ocorre nas células
- durante a oxidação, calor é liberado sob a forma de energia metabólica

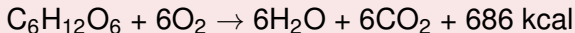
1 mol de ar a temperatura e pressão normal possui 22,4 litros

- Lavoisier, em 1784, sugere que a comida é oxidada no processo de digestão (experimentos em animais)
- Na realidade a oxidação ocorre nas células
- durante a oxidação, calor é liberado sob a forma de energia metabólica
- Para 1 mol de glicose (180g) combinado com 6 mols de oxigênio (192g) produz 6 moles de água, 6 moles de dióxido de carbono com a liberação de 686 kcal. Ou seja:

1 mol de ar a temperatura e pressão normal possui 22,4 litros

- Lavoisier, em 1784, sugere que a comida é oxidada no processo de digestão (experimentos em animais)
- Na realidade a oxidação ocorre nas células
- durante a oxidação, calor é liberado sob a forma de energia metabólica
- Para 1 mol de glicose (180g) combinado com 6 mols de oxigênio (192g) produz 6 moles de água, 6 moles de dióxido de carbono com a liberação de 686 kcal. Ou seja:

### Oxidação da Glicose



1 mol de ar a temperatura e pressão normal possui 22,4 litros

## Calculem

- kcal por grama de glicose
- kcal por litro de  $O_2$
- Litros de  $O_2$  utilizado por grama de glicose
- a superfície do corpo humano  $S$  é  
$$S \approx 0.20 \times \text{Altura(m)}^{0,725} \times \text{Peso(kg)}^{0,425},$$
  
olhando a tabela do MET calcule seu consumo de glicose por 1 hora de ciclismo.

- Eficiência do corpo humano

$$\epsilon = \frac{\text{Trabalho Realizado}}{\text{Energia Consumida}}$$

Nadando, < 2%

pedalando,  $\approx$  20%

Maquina a vapor, 17%

Motor a gasolina, 38%

Unidades de Energia

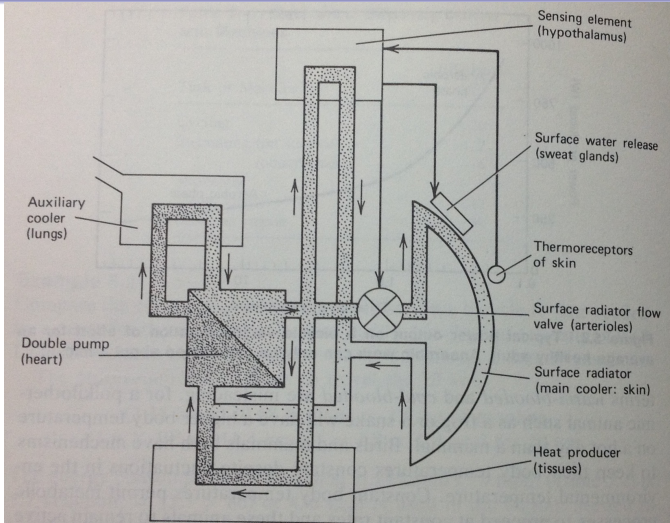


Figure 5.4. Schematic of the heat loss system of man. The amount of heat in the blood is indicated by the density of the dots. (From R.W. Stacy, D.T. Williams, R.E. Worden, and R.O. McMorris, *Essentials of Biological and Medical Physics*, McGraw-Hill, New York, 1955, p. 158.)

# Radiação

- Todos os corpos emitem radiação (independente da temperatura)

# Radiação

- Todos os corpos emitem radiação (independente da temperatura)
- $E \propto T^4$



# Radiação

- Todos os corpos emitem radiação (independente da temperatura)
- $E \propto T^4$
- Os corpos também recebem energia das vizinhanças

## Radiação

- Todos os corpos emitem radiação (independente da temperatura)
- $E \propto T^4$
- Os corpos também recebem energia das vizinhanças

A energia absorvida ou perdida para o ambiente de um corpo nu é:

$$H_r = K_r A e (T_s - T_w) \quad (4)$$

onde  $H_r$  é a taxa de energia perdida (ou ganha) devido a radiação;  $A$  é a área superficial efetiva;  $e$  é a emissividade da superfície;  $T_s$  é a temperatura da pele e  $T_w$  a temperatura do ambiente.  $K_r$  é uma constante que depende de vários parâmetros e é em torno de  $5,0 \text{ (kcal/m}^2\text{)h } ^\circ\text{C}$ .  $e \approx 1$  (independente da cor da pele).

## Radiação - Exemplo

Se um corpo nu tem a área efetiva de  $1,2 \text{ m}^2$  e temperatura da pele de  $34^\circ\text{C}$ , ele irá perder em torno de  $54 \text{ kcal/h}$  para um ambiente mantido a  $25^\circ\text{C}$ . Isso é aproximadamente  $54\%$  das perdas energéticas por calor.

## Convecção

A energia absorvida ou perdida para o ambiente de um corpo nu é:

$$H_c = K_c A (T_s - T_w) \quad (5)$$

onde  $H_c$  é a taxa de energia perdida (ou ganha) devido a convecção;  $A$  é a área superficial efetiva;  $T_s$  é a temperatura da pele e  $T_w$  a temperatura do ambiente.  $K_c$  é uma constante que depende do movimento do ar, para um ambiente sem vento  $K_c \approx 2,3 \text{ (kcal/m}^2\text{)h } ^\circ\text{C}$ .

$$K_c = 10.45 - v + 10\sqrt{v}$$

$v$  a velocidade do vento em m/s

## Convecção - Exemplo

Se um corpo nu tem a área efetiva de  $1,2 \text{ m}^2$  e temperatura da pele de  $34^\circ\text{C}$ , ele irá perder em torno de  $25 \text{ kcal/h}$  para um ambiente mantido a  $25^\circ\text{C}$ . Isso é aproximadamente 25% das perdas energéticas por calor.

## Suor

- Na ausência de atividade e temperaturas normais, esse método desprezível

## Suor

- Na ausência de atividade e temperaturas normais, esse método desprezível
- Em situações extremas de calor e atividade um homem pode suar 1 litro de líquido por hora.

## Suor

- Na ausência de atividade e temperaturas normais, esse método desprezível
- Em situações extremas de calor e atividade um homem pode suar 1 litro de líquido por hora.
- A evaporação de 1 litro de água = 580 kcal



## Suor

- Na ausência de atividade e temperaturas normais, esse método desprezível
- Em situações extremas de calor e atividade um homem pode suar 1 litro de líquido por hora.
- A evaporação de 1 litro de água = 580 kcal
- mesmo sem transpiração visível, o corpo elimina em torno de 7 kcal/h (7%) via transpiração

## Suor

- Na ausência de atividade e temperaturas normais, esse método desprezível
- Em situações extremas de calor e atividade um homem pode suar 1 litro de líquido por hora.
- A evaporação de 1 litro de água = 580 kcal
- mesmo sem transpiração visível, o corpo elimina em torno de 7 kcal/h (7%) via transpiração
- a transpiração nos pulmões, em condições típicas, responde por 14% das perdas de calor

## Suor

- Tudo que afeta a temperatura da pele afeta as contas anteriores

## Suor

- Tudo que afeta a temperatura da pele afeta as contas anteriores
- Nosso corpo tem a habilidade de manipular o trajeto do sangue

## Suor

- Tudo que afeta a temperatura da pele afeta as contas anteriores
- Nosso corpo tem a habilidade de manipular o trajeto do sangue
- No inverno, o sangue venoso volta por veias internas passando lado a lado das artérias (reduzindo a temperatura da pela)

## Suor

- Tudo que afeta a temperatura da pele afeta as contas anteriores
- Nosso corpo tem a habilidade de manipular o trajeto do sangue
- No inverno, o sangue venoso volta por veias internas passando lado a lado das artérias (reduzindo a temperatura da pele)
- No verão, o sangue venoso volta por veias mais externas passando próximo a pele (aumentando a temperatura da pele)