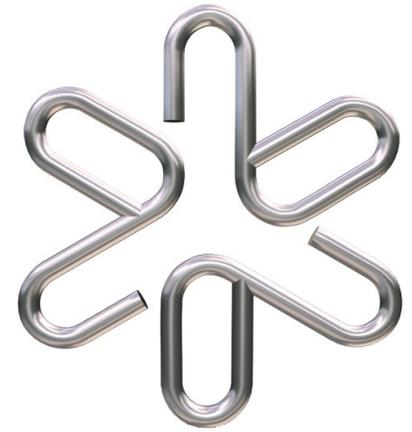


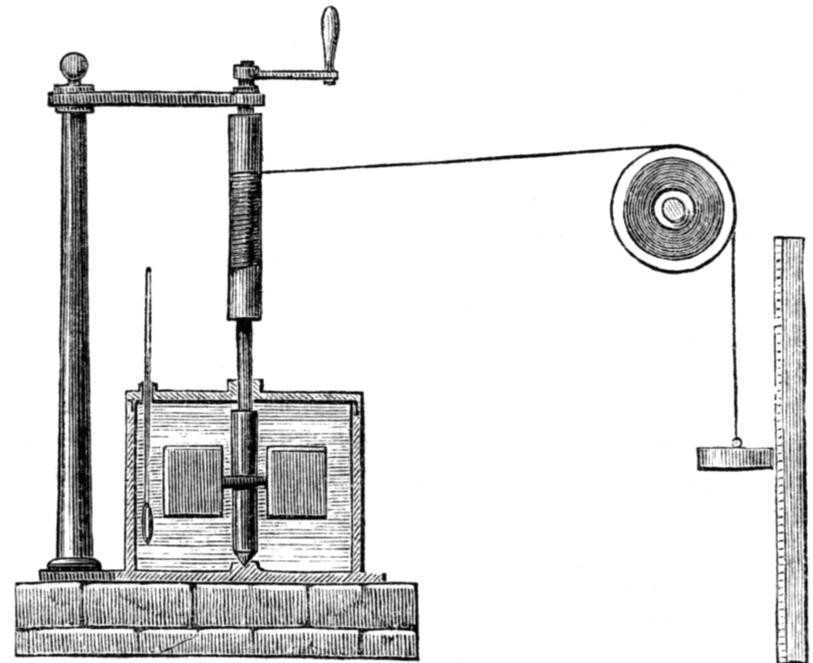
# Física do Calor (4300159)



Prof. Adriano Mesquita Alencar  
Dep. Física Geral  
Instituto de Física da USP

**A03**

**Quantidade de Calor:  
Calorimetria**



# Calor

Elementos Químicos

Composição do ar atmosférico (**Oxigênio**, nitrogênio e **hidrogênio**)

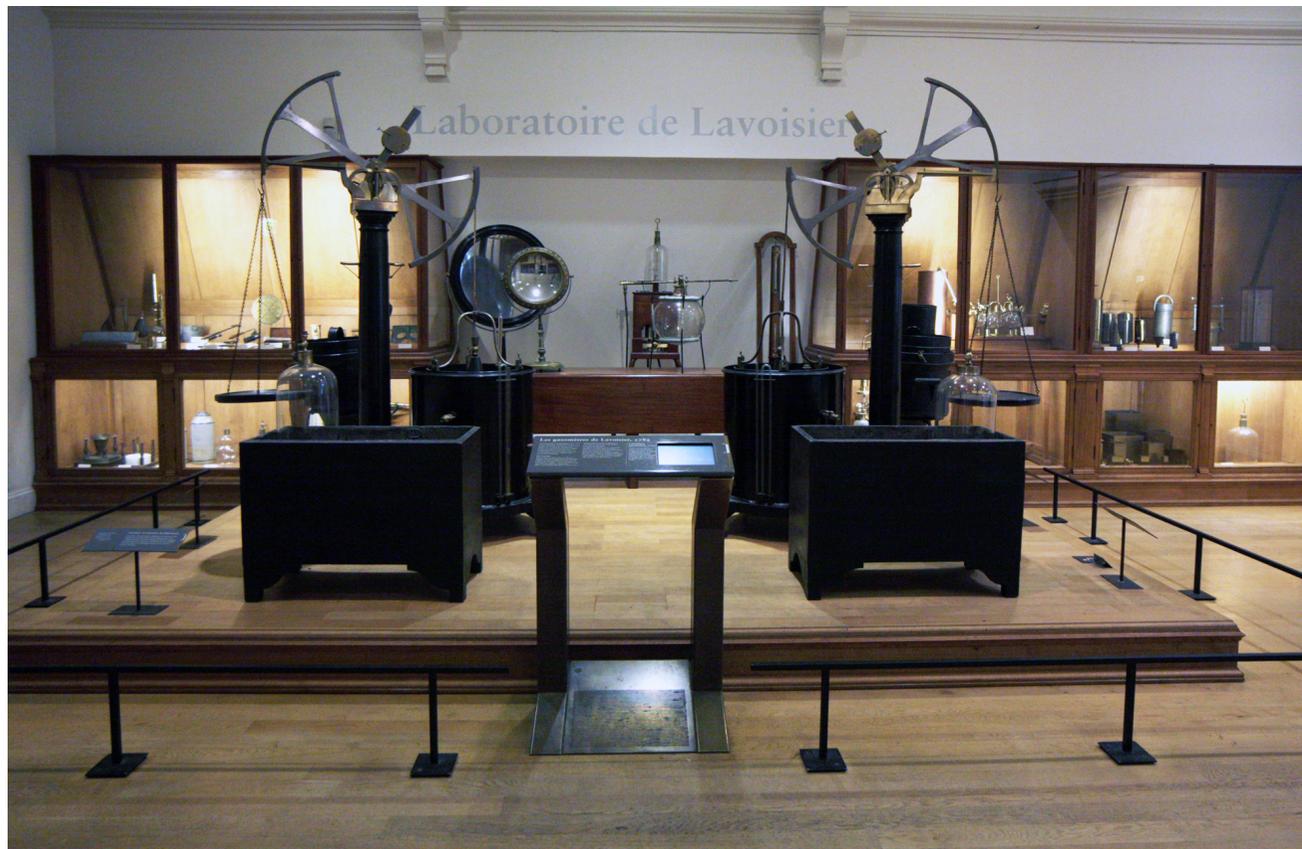
Papel do Oxigênio na Respiração

Química Quantitativa

Conservação da Massa

Ajudou a montar o sistema métrico

Antoine Lavoisier



# Calor



Jacques-Louis David, French, 1748-1825. Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) and His Wife, **Marie-Anne Pierette Paulze (1758-1836)**. 1788, Oil on canvas. Image of the Metropolitan Museum of Art.

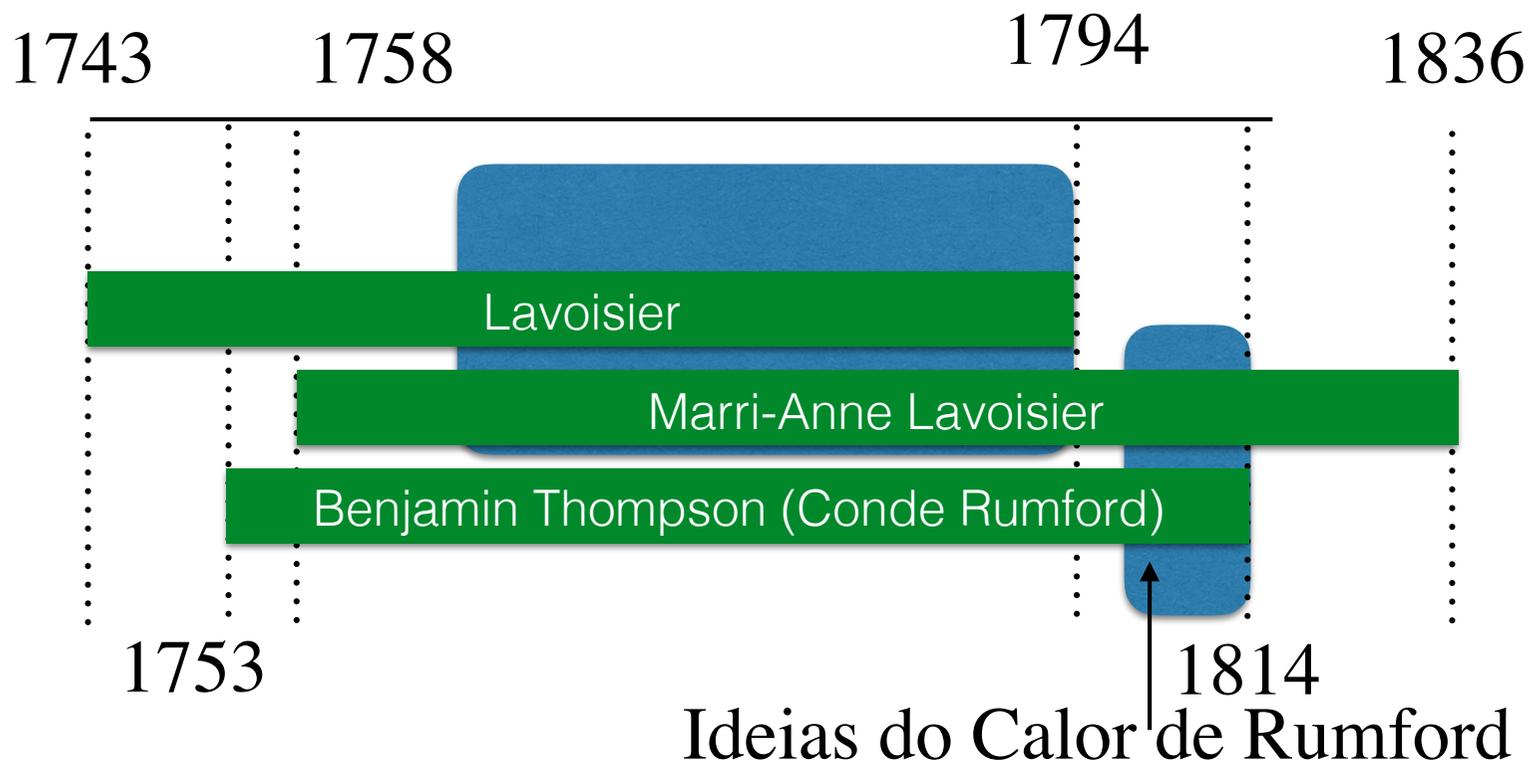
[Link para mais informação](#)

Ela se casou depois com Benjamin Thompson (Lord Rumford)

# Calor

**Final do século XVIII: 2 hipóteses para natureza do calor:**

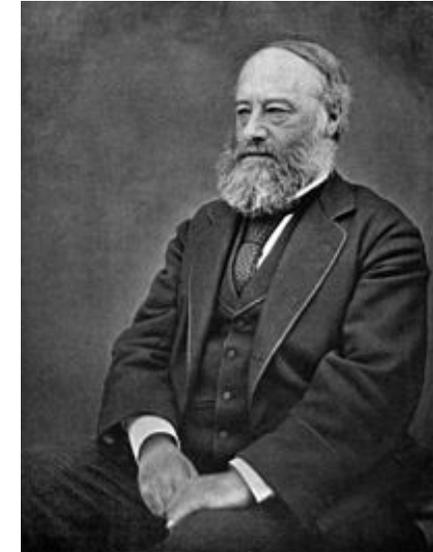
- 1. substância fluida, indestrutível que “preencha os poros” dos corpos, Calórico (Lavoisier, lei de conservação do calor)**
- 2. vibração das partículas nos corpos (Francis Bacon, 1561-1626, Robert Hooke, 1635-1703, Isaac Newton 1643-1727)**



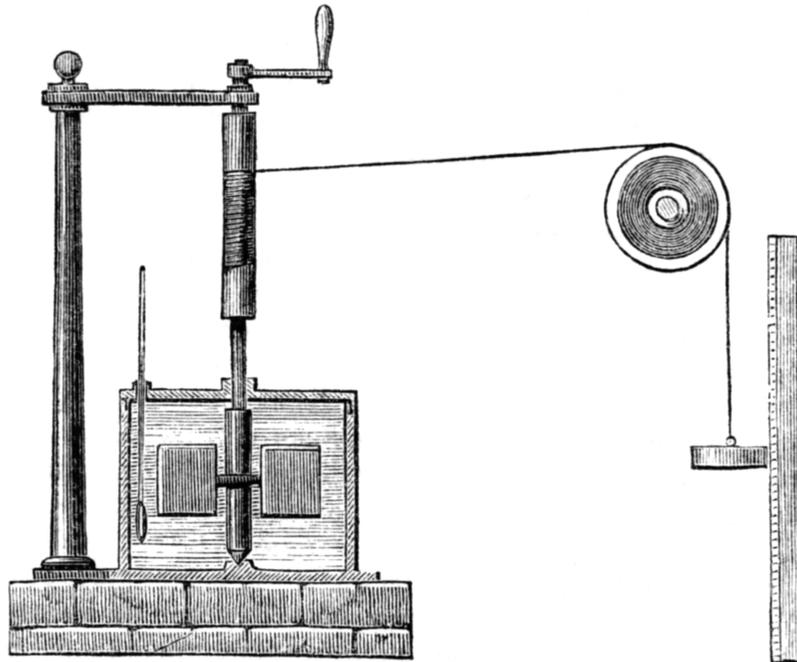
Rumford observou que durante a perfuração de canhões, a produção de calor era “inesgotável”

# Calor

Filho de Cervejeiro, foi tutorado por John Dalton;  
Fascinado por eletricidade;  
Passou a administrar a cervejaria do pai  
Como administrador, passou a buscar eficiência de máquinas térmicas;



James Prescott Joule

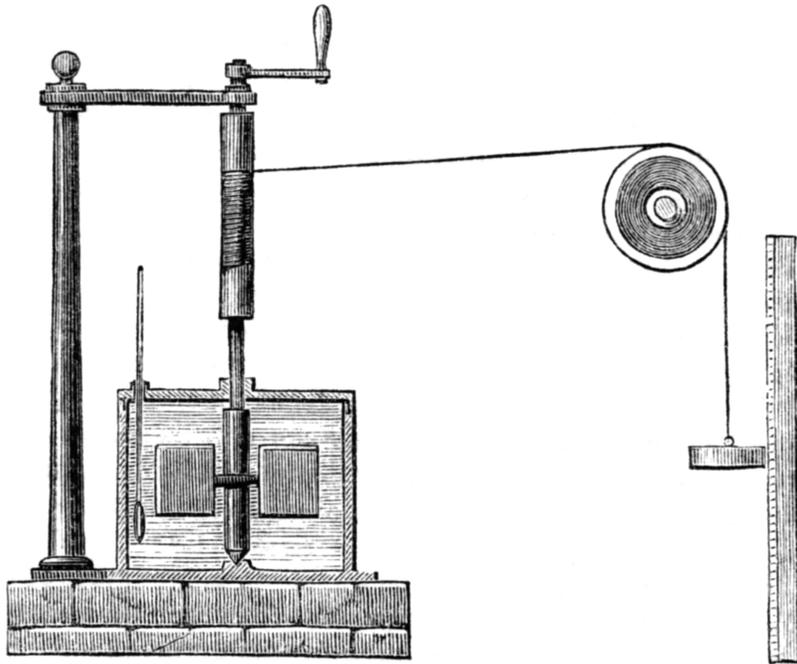


Em 1847 apresentou resultados confiáveis sobre o calor  
Algumas semanas depois, William Thomson (Lord Kelvin) montou começou a fazer medidas com termômetros precisos.

# Calor

Esse estudo, levou a definição de “caloria”,  
como sendo a quantidade de calor necessária  
para elevar 1 grama de água de 14.5 °C para  
15.5 °C;

1000 cal = 1kcal (1 cal para comidas)



$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal}$$

# Calor Especifico

Aquecer 1 litro versus 10 litros de agua?

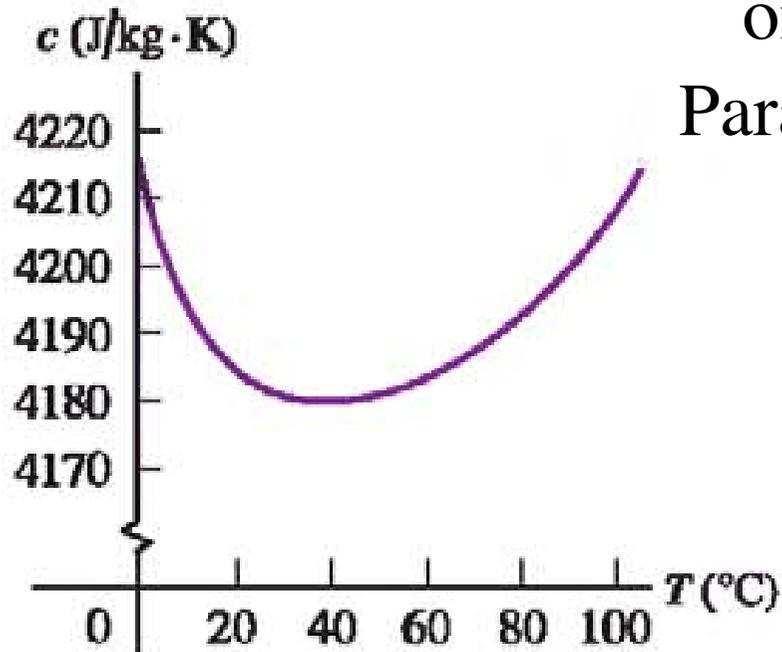
$$Q \propto m$$

Aquecer em 1 °C versus 10 °C?

$$Q \propto \Delta T$$

Aquecer Agua versus aquecer Ar?

$$Q = mc\Delta T$$



onde  $c$  é o calor especifico do material  
Para uma quantidade infinitesimal de calor

$$dQ = mc dT$$

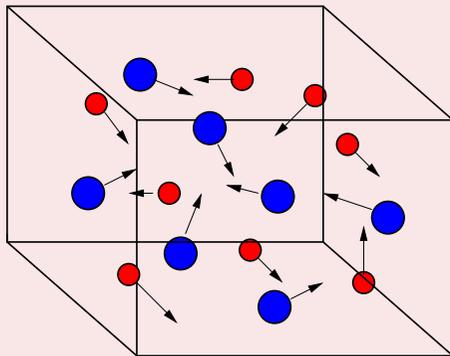
$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

Calor Específico da água

# Energia Interna de um Gás

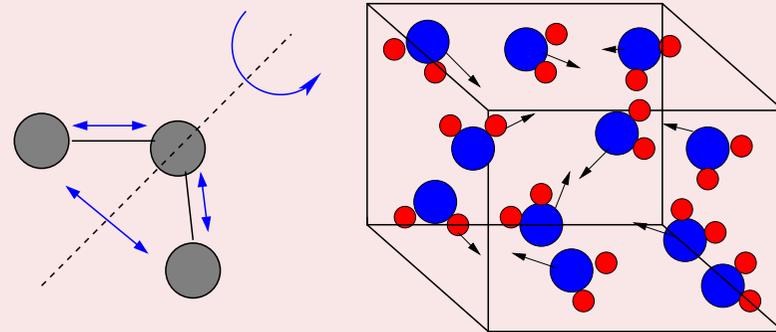
## Gás monoatômico

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



## Gás poliatômico

- adiciona energia rotacional
- adiciona energia vibracional



## Líquidos e Sólidos

adiciona forças atrativas intermoleculares

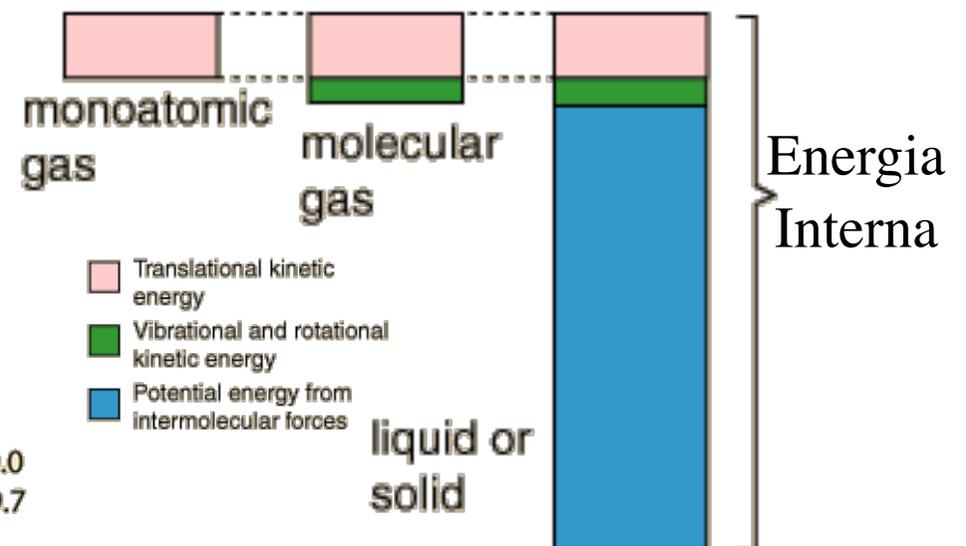
O calor específico da água é a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de uma certa quantidade. Uma das propriedades mais importantes da água é que é preciso uma grande quantidade de calor para aquece-la. Precisamente, a água tem de absorver 4.184 Joules de calor para a temperatura de um grama de água aumentar um grau Celsius (°C). A título de comparação, leva apenas 0.385 Joules de calor para elevar 1 grama de cobre 1 ° C.

Três coisas que contribuem para a energia média de uma molécula são: translação, rotação e vibração.

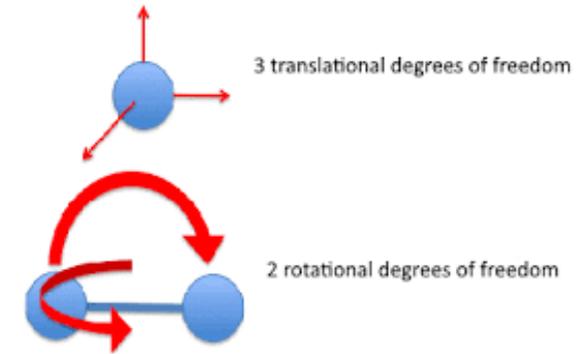
Classicamente a energia é distribuída igualmente entre todos os “graus de liberdade” de qualquer molécula. Moléculas de um gás monoatômico tem apenas 3 graus de liberdade, isto é, eles estão livres para transladar em 3 dimensões/direções, em média, há a mesma energia em cada uma delas. Então, todos eles devem ter os mesmos calores específicos moleculares (calorias ou KW / mole / grau) e eles tem.

Degrees of freedom			
3		<b>Monoatomic</b> $C_V = \frac{3}{2}R = 12.5 \frac{J}{mol \cdot K}$	Helium 12.5 Argon 12.6
5		<b>Diatomic</b> $C_V = \frac{5}{2}R = 20.8 \frac{J}{mol \cdot K}$	Nitrogen (N <sub>2</sub> ) 20.7 Oxygen (O <sub>2</sub> ) 20.8
6		<b>Polyatomic</b> $C_V = \frac{6}{2}R = 24.9 \frac{J}{mol \cdot K}$	Ammonia (NH <sub>3</sub> ) 29.0 Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) 29.7

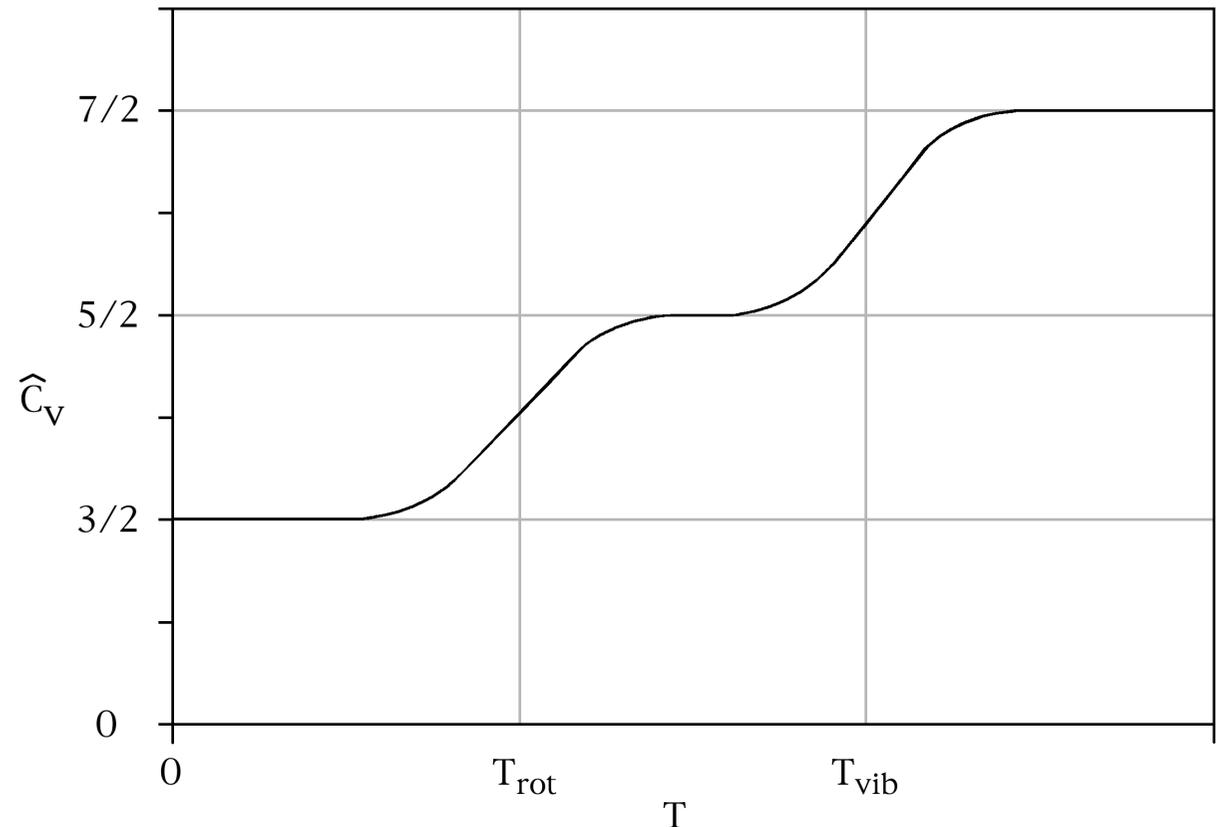
### Sistemas com a mesma temperatura



Um átomo de diatômica como o hidrogênio,  $H_2$  tem 5 graus de liberdade. Assim, o calor específico de um gás diatômico deve ser  $5/3$  do que um monoatômico. E assim é para o hidrogênio - a temperaturas elevadas o suficiente.



À medida que a substância se aquece, a temperatura média das moléculas aumenta, por isso, quando eles colidem, eles são mais propensos a transmitir energia suficiente para permitir a rotação e vibração que ocorra pois a energia passa para um estado mais elevado. Uma vez que a rotação é induzido, contribui para a energia interna e aumenta o calor específico molar. Os estados de energia de vibração estão mais afastados do que os estados de energia de rotação, por isso não é até temperaturas muito elevadas ( $\sim 1000K$ ) que a vibração surge, saindo do estado fundamental e contribuindo para a energia interna.



# Massa molar

A massa de uma substância, dividido pela quantidade dessa substância (kg/mol ou g/mol)

$$M(H) = 1.00797 \text{ g/mol}$$

$$M(H_2O) \approx 18 \text{ g/mol}$$

Um Mole (mol) é a quantidade de substância de um sistema que contém a mesmo número de entidades elementares (átomos, moléculas, ions, elétrons, fótons) quanto átomos em 12 gramas de carbono-12 ( $^{12}\text{C}$ ), o isótopos de carbono com massa atômica relativa de 12.

Um mol de  $^{12}\text{C}$  puro tem a massa igual a 12 gramas

O número  $N_A$  de molecules em um mol (Número Avogadro)

$$N_A = 6.02214078 \times 10^{23}$$

# Capacidade Térmica Molar

Se  $M$  for a Massa molar de uma substância e  $n$  o número de mols

$$m = nM$$

$$Q = nMc \Delta T$$

$Mc$  é a capacidade térmica molar,  $Mc = C$

$$Q = nC \Delta T$$

$$C = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} = Mc$$

**Table 17.3** Approximate Specific Heats and Molar Heat Capacities  
(Constant Pressure)

Substance	Specific Heat, $c$ (J/kg · K)	Molar Mass, $M$ (kg/mol)	Molar Heat Capacity, $C$ (J/mol · K)
Aluminum	910	0.0270	24.6
Beryllium	1970	0.00901	17.7
Copper	390	0.0635	24.8
Ethanol	2428	0.0461	111.9
Ethylene glycol	2386	0.0620	148.0
Ice (near 0°C)	2100	0.0180	37.8
Iron	470	0.0559	26.3
Lead	130	0.207	26.9
Marble (CaCO <sub>3</sub> )	879	0.100	87.9
Mercury	138	0.201	27.7
Salt (NaCl)	879	0.0585	51.4
Silver	234	0.108	25.3
Water (liquid)	4190	0.0180	75.4

# Calorímetros

Medir a capacidade térmica não é trivial;

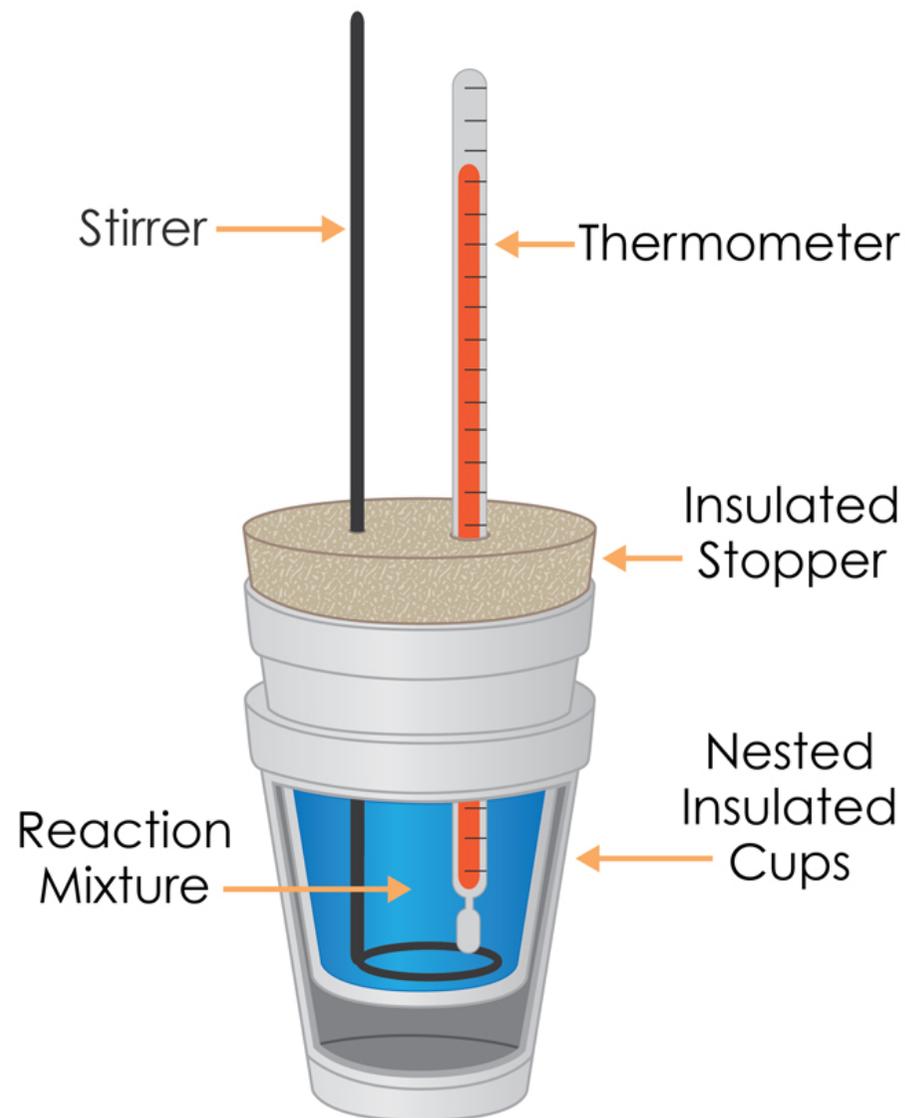
Sólidos, é mais comum medir a pressão atmosférica constante,  $C_P$  enquanto gases é mais comum medir a volume fixo,  $C_V$

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q_A + Q_B = 0 \quad \text{Ideal}$$

$$Q_A + Q_B + Q_{\text{perda}} = 0 \quad \text{Real}$$

## Coffee Cup Calorimeter



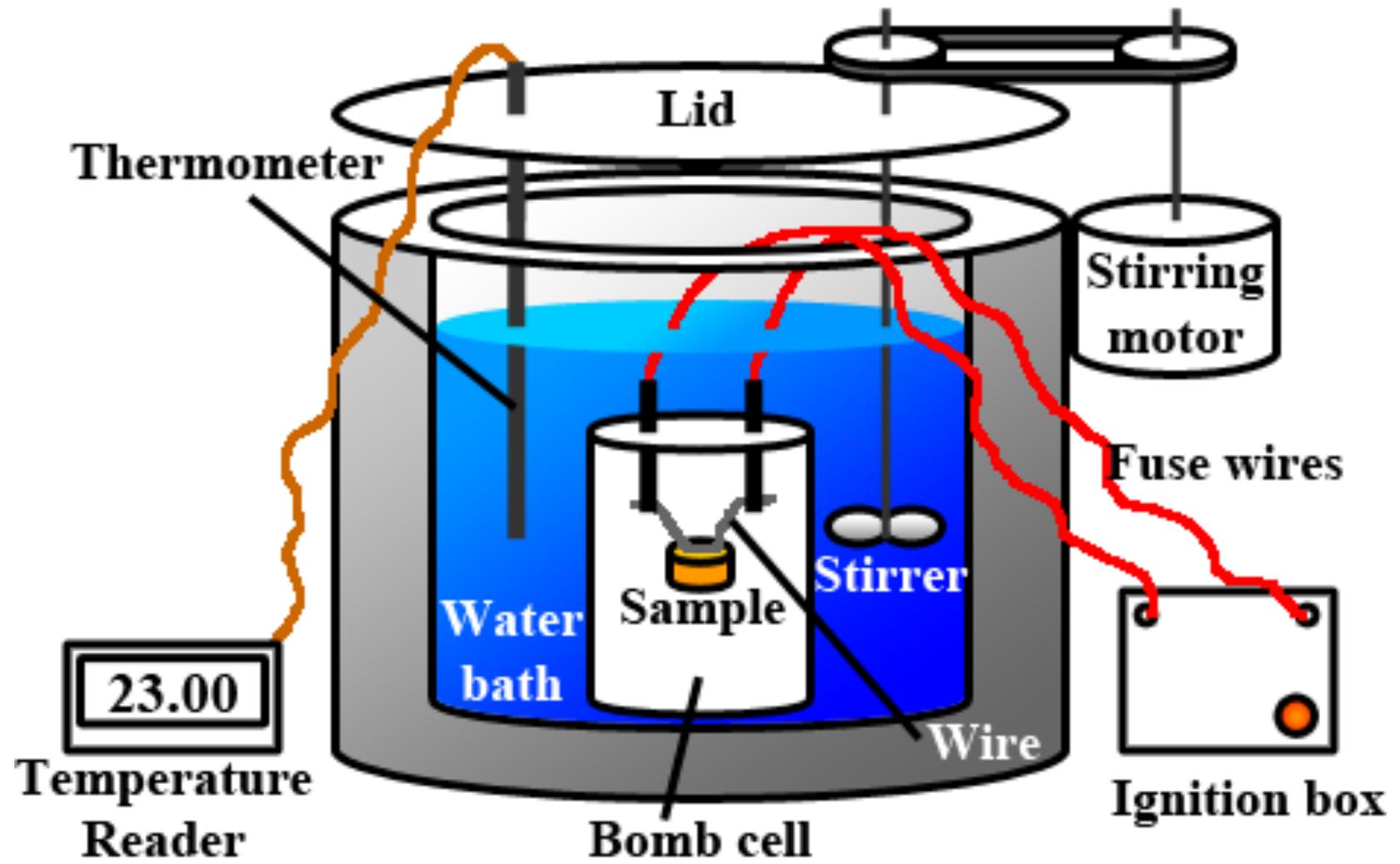
# Calorimetro de Lavoisier

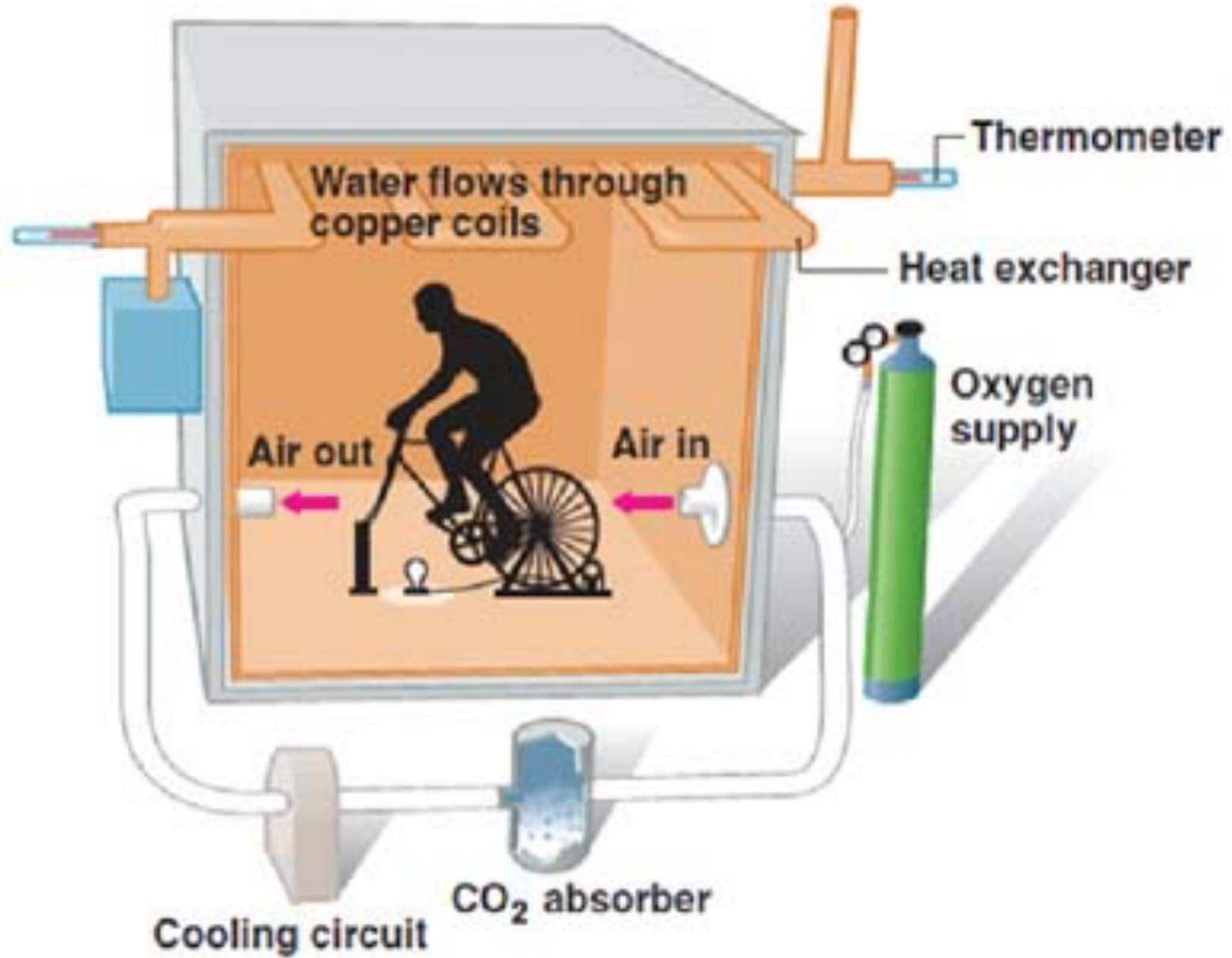


Ao medir a quantidade de dióxido de carbono e do calor produzido por uma cobaia viva em um aparelho, e comparando a quantidade de calor produzido quando uma quantidade de carbono foi queimado no calorímetro de gelo para produzir a mesma quantidade de  $\text{CO}_2$  como o que a cobaia exalou, ele concluiu que a respiração era na verdade um processo de combustão lenta.

Com base no conceito de que o oxigênio queima o carbono dos alimentos, Lavoisier mostrou que o ar exalado continha dióxido de carbono, a qual foi formada a partir da reação entre o oxigênio (presente no ar) e de moléculas orgânicas no interior do organismo. Lavoisier também observou que o calor é produzido continuamente pelo corpo durante a respiração.

Ele mostrou que para cada grama de  $\text{CO}_2$  produzido, em torno de 2.02 kcal de energia era gerado (2.13 kcal/g valor atual)





# Differential Scanning Calorimetry

