

# História da Física Clássica

2017

Avogadro



Bernoulli



Boyle



Dalton



termodinâmica – gás: experimentos e modelos

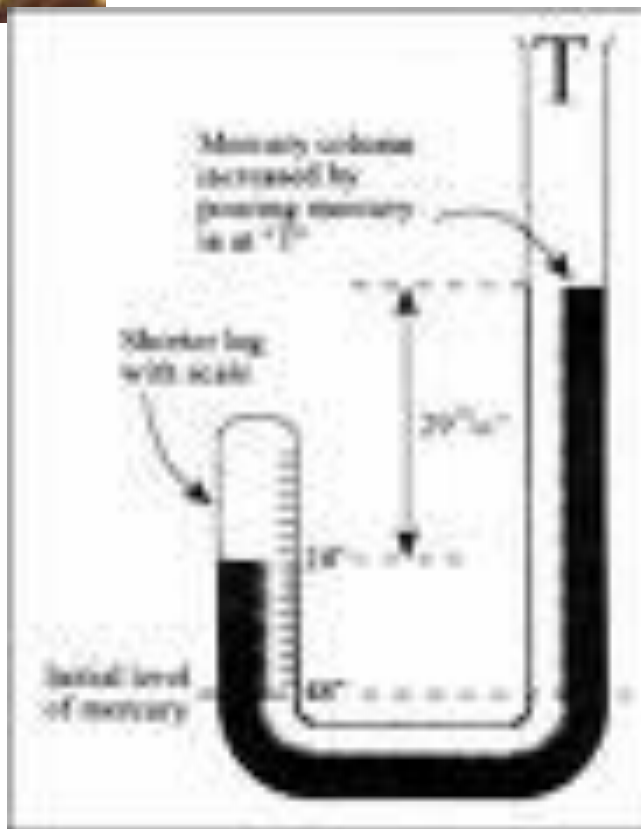
ainda as ilhas Britânicas, mas também continente



# "Novos Experimentos Físico-Mecânicos - Tocando a Mola do Ar", *em Trabalhos do Honorável Robert Boyle, Londres (1772)*

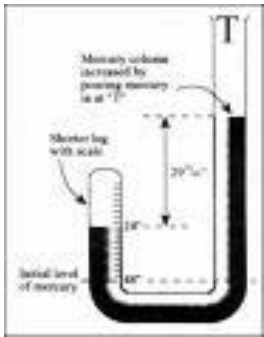


experimentos



## Dois novos experimentos relativos à medida da força da mola do ar comprimido e dilatado

“ ...hipótese de nossos adversários [Linus, teoria dos funiculus] ...é desnecessária. Ele não nega que o ar tenha alguma peso e mola [elasticidade], mas afirma que isto é completamente insuficiente para se contrapor ao peso de um cilindro de mercúrio de 29 polegadas ....- o oposto do que nós ensinamos; através de experimentos especialmente projetados para este fim, tentaremos mostrar que o ar é capaz de fazer muito mais do que é necessário atribuir a ele [ar] para explicar os fenômenos do experimento de Torricelli....”



“...Escolhemos um tubo de vidro longo que foi encurvado e dobrado com uma mão hábil e uma lâmpada, de forma que a parte voltada para cima estava quase paralela ao resto do tubo, e a abertura desta perna menor do sifão (assim vou chamar o instrumento como um todo) foi hermeticamente fechada; ...

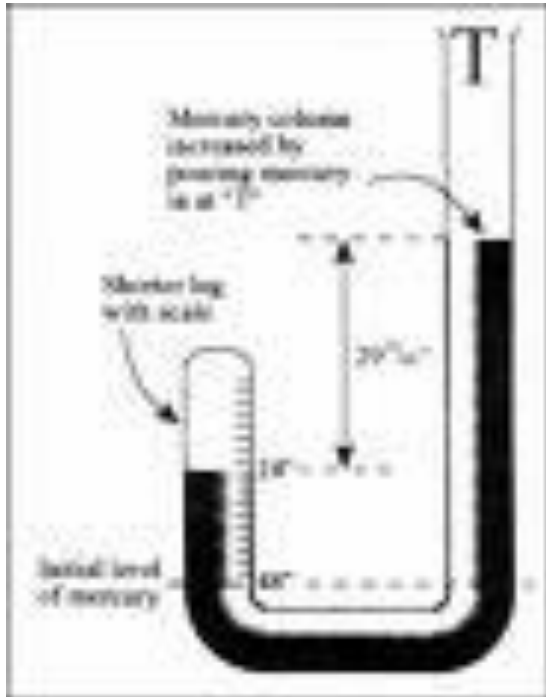
...tomamos o cuidado de inclinar o tubo várias vezes para que o ar passasse por cima do mercúrio, livremente, de um lado para o outro (tivemos, como disse, cuidados), de maneira que o ar aprisionado no cilindro mais curto ficasse com a mesma tensão que o ar em volta...

...Depois disso, derramamos mercúrio na perna mais longa do sifão, que, com seu peso [do mercurio] pressionou o mercúrio da perna mais curta, estreitando assim o ar aprisionado: continuamos a derramar o mercúrio até que o ar da perna mais curta, por condensação [contração], tomasse a metade do espaço que possuía inicialmente (digo possuía, não ocupava); postamos nossos olhos sobre a perna mais comprida do vidro, sobre a qual havíamos colado um papel dividido em polegadas e partes, e observamos, não sem encanto e satisfação, que o mercúrio no tubo maior estava 29 polegadas acima do mercúrio da parte menor. ...”

- Como você explica o experimento de Boyle?

- Como os dados da tabela levaram Boyle a propor  $pV=cte$  ?

# Dados experimentais de Boyle



$$p_{merc} = \rho g H_{merc}$$

$$p_{linha-0} = \rho g H_{merc} + p_{atm} = \rho g H_{merc} + \rho g H_{atm}$$

$$V_{ar-comprimido} = H_{ar} x A$$

$$p_{linha-0} \times V_{ar-comprimido} = \rho g (H_{merc} + H_{atm}) H_{ar} x A$$

$$= (H_{merc} + H_{atm}) H_{ar} x constante$$

# Dados experimentais de Boyle

| A (altura $H_{ar}$ do ar comprimido) | D (altura da coluna de mercúrio adicional $H_{merc}$ + altura $H_{atm}$ de uma coluna de mercúrio que equilibra a pressão atmosférica) | AXD $H_{ar} \times (H_{merc} + H_{atm})$ |
|--------------------------------------|--|--|
| 48                                   | 29 2/16  | 1398                                     |
| 24                                   | 58 13/16   | 1411,5                                   |
| 12                                   | 117 9/16   | 1410,75                                  |

$$= (H_{merc} + H_{atm}) H_{ar} \times \text{constante}$$



~1400

$$pV = cte$$



# Modelos...



**"Novos Experimentos Físico-Mecânicos - Tocando a Mola do Ar",**  
*em Trabalhos do Honorável Robert Boyle, Londres (1772)*

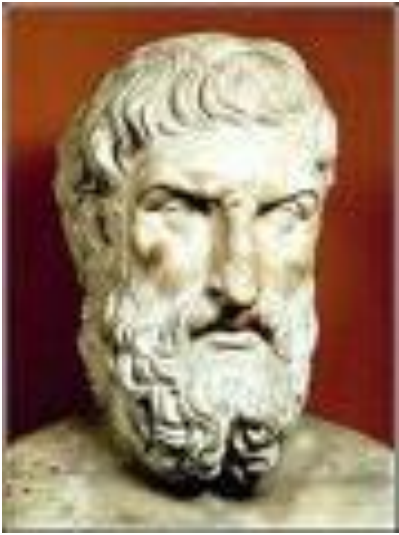
“...Para tornar mais fácil a compreensão dos experimentos testados por nossa máquina, penso que ao introduzir o primeiro deles, não é supérfluo nem irracional sugerir uma noção que parece explicar a maioria, se não todos os experimentos. Vossas Senhorias com certeza hão de supor que a noção da qual falo é a de que **há uma mola, ou uma força elástica no ar em que vivemos.** ... “



“...O que quero dizer com mola de ar é o seguinte: **nosso ar consiste de partes**, ou está cheio delas, cuja natureza é tal que quando dobradas ou **comprimidas pelo peso da parte da atmosfera que as pressiona**, ou por outros corpos, elas tentam, tanto quanto possível, libertar-se desta pressão, fazendo força sobre os corpos contíguos que as dobraram; e assim que estes corpos são retirados, elas se desdobram e se esticam, tanto quanto os corpos contíguos permitirem. E assim expande-se toda a parcela de ar composta por estes corpos elásticos....”

*Do que é feito o ar?*

“...Podemos explicar um pouco mais esta noção imaginando o ar composto de um amontodado de pequenos corpos, um em cima do outro, como um monte de lã crua. Pois este (sem falar de outras semelhanças) é feito de muitos pelos finos e flexíveis; e cada um destes pelos pode ser facilmente dobrado e enrolado; mas, **como uma mola, tem a tendência a se esticar novamente**. E assim, ambos, **tanto os pelos quanto os corpúsculos de ar**, com os quais os comparamos, **cedem facilmente a pressões externas**; no entanto, tanto um quanto outro possui o poder ou o princípio da auto-dilatação....”

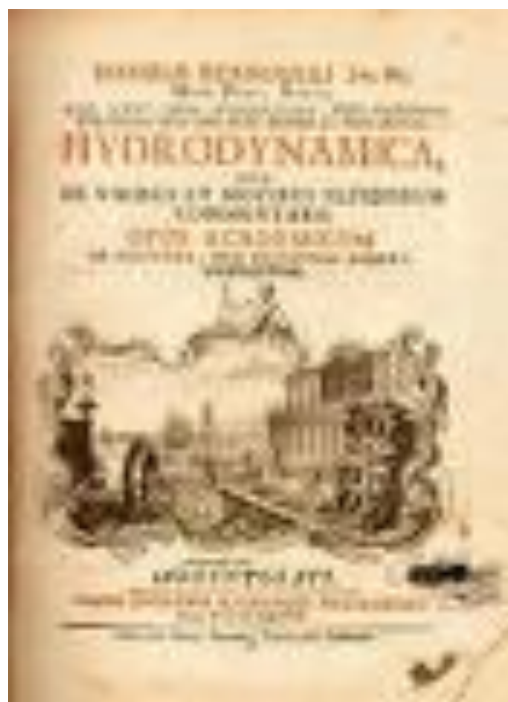


## Modelos antigos...

### **"DE RERUM NATURA" (Sobre a natureza das coisas) , de Lucrecio *poema inacabado (sec. I a. c. )***

“...Observe com atenção os raios de sol que penetram um quarto escuro: você verá muitas partículas minúsculas em movimentos variados no vazio na luz destes raios, como se estivessem em conflito permanente, lutando, brigando, batalhando em tropas sem nenhum descanso, jogados por encontros e partidas frequentes; a partir disto você pode imaginar como os começos das coisas se movem para lá e para cá no grande vazio. ...

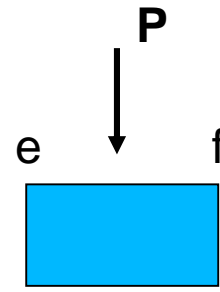
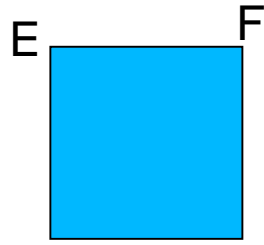
....que você dê atenção aos corpos em redemoinho nos raios de sol, porque esse redemoinho indica que há também movimentos secretos e invisíveis escondidos na matéria...”



**“A Respeito de Propriedades e Movimentos de Fluidos Elásticos, Mas Especialmente do Ar”,**

*em Hidrodinâmica e Hidráulica de D. Bernoulli (1738)*

“...As propriedades principais dos fluidos elásticos são: (1) eles são pesados,  
(2) eles se estendem em todas as direções, a não ser que sejam confinados,  
(3) eles permitem sua compressão contínua, mais e mais à medida que a força de compressão aumenta. ...”

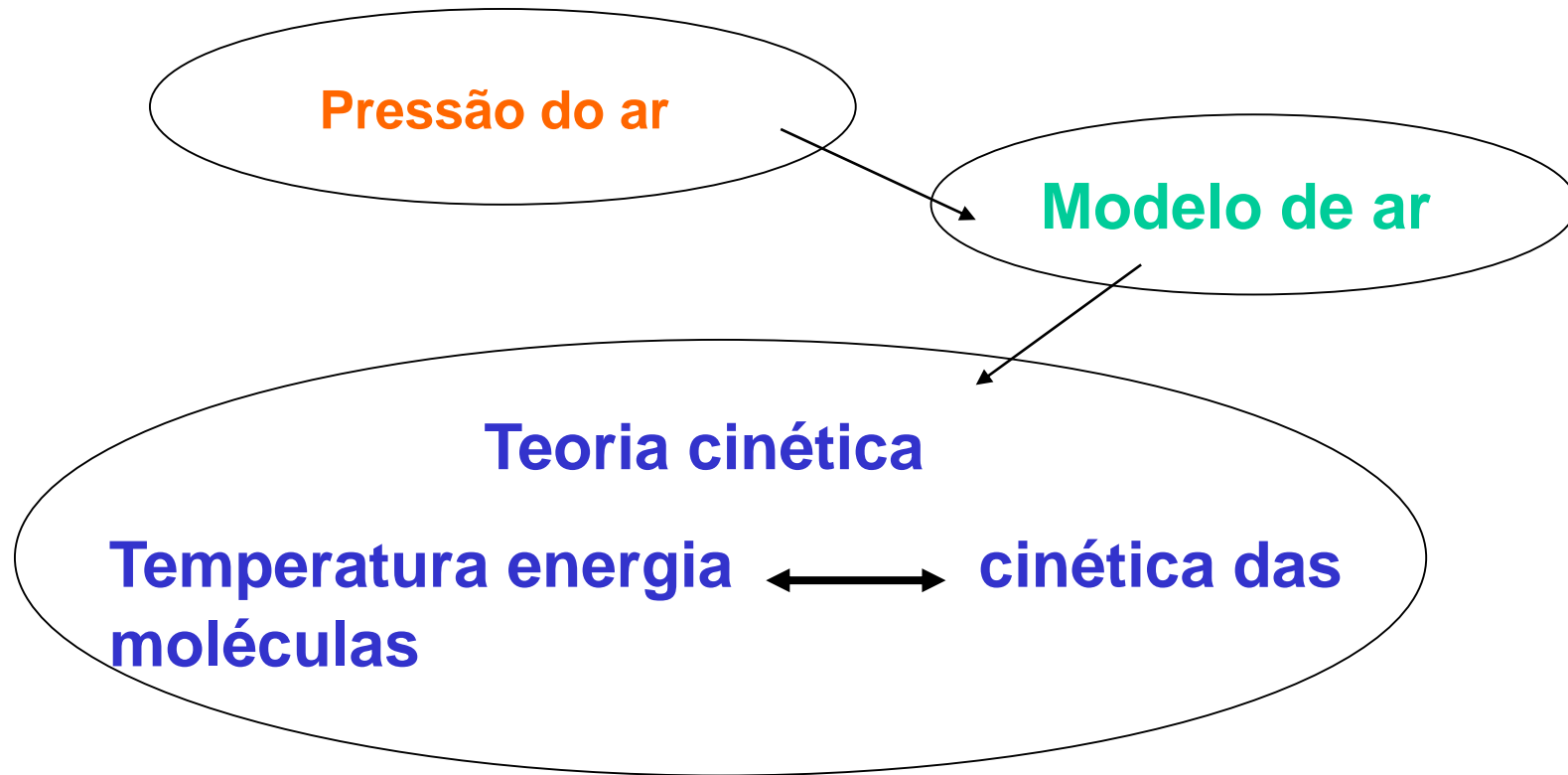


“... Procuramos o peso  $P$  que pode comprimir o ar em  $ECDF$  para  $eCDf$ , **supondo que as velocidades das partículas do ar (tanto no comprimido quanto no natural) sejam as mesmas**; ...como transferimos a tampa de  $EF$  para  $ef$ , ela sofre uma pressão maior do fluido de duas maneiras:

em *primeiro lugar*, porque o **número de partículas é agora maior em proporção ao espaço em que [as partículas] estão contidas**;

em *segundo*, **porque qualquer partícula repete o seu ímpeto mais frequentemente ...**”

“... Entretanto, a **elasticidade do ar** aumenta não apenas através da compressão, como também através de aumento de calor, e uma vez que estabelecemos que o calor se espalha para todos os lados aumentando o movimento interno das partículas, segue que um aumento da elasticidade do ar sem variação de volume indica um movimento mais intensivo das partículas de ar...”



- pressão do ar **R. Boyle** (Irlanda 1627-1691) *atmosfera elástica*

*ar -> "pelos de lã"*

R. Hook (1635-1703)

*experimentos*



- teoria cinética

**D. Bernoulli** (1700-1782) (“dinastia” suíça, S. Petersburgo) **pressão, número de partículas e frequência de choques**

**Heraclitus** (Inglaterra 1790 - 1868) **pressão e quantidade de movimento**

**Waterston** (Edimburgo 1811-1883) **pressão e  $v^2$**

**Kronig** (Berlim 1822-1879) **velocidades constantes**  
**mesmo número nas 3 direções**  
 **$v^2$  e T, relação com lei dos gases**

**Clausius** (Alemanha 1822-1888) **várias formas de energia cinética das moléculas**  
**pequeno caminho livre médio -> difusão lenta da fumaça**

**Maxwell** (Edimburgo 1831 - 1879) **viscosidade, difusão**  
**distribuição de velocidades**

# Estudo para a Aula 9 – a entropia de Clausius

A entropia no livro didático atual

1. Definição
2. Entropia é uma função de estado
3. Entropia do gás ideal tem duas contribuições: configurações espaciais e configurações de energia (definição + 1ª lei)
4. Reversibilidade e irreversibilidade – exemplo da expansão livre