

Pressão negativa em líquidos e gases

Vitorvani Soares

Colaboradores:

Prof. Erich Meyer

Prof. Filadelfo Cardoso Santos

Profa. Maria Luíza Bedran

Prof. Alexandre Carlos Tort



INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal do Rio de Janeiro

2009 Mestrado em Ensino de Física

Introdução

- Quase todos nós aprendemos que pressão negativa não existe.
- Alguns de nós sabem que ela é observável em líquidos, mas não em gases.
- Muito poucos conhecem os estados metaestáveis, que apresentam a pressão negativa como uma de suas características.

Plano da apresentação

- A quantidade da qualidade.
- A qualidade Pressão.
- O Gás Ideal.
- O Gás de van der Waals.
- Observação das pressões negativas.
- Conclusões.

A quantidade da qualidade



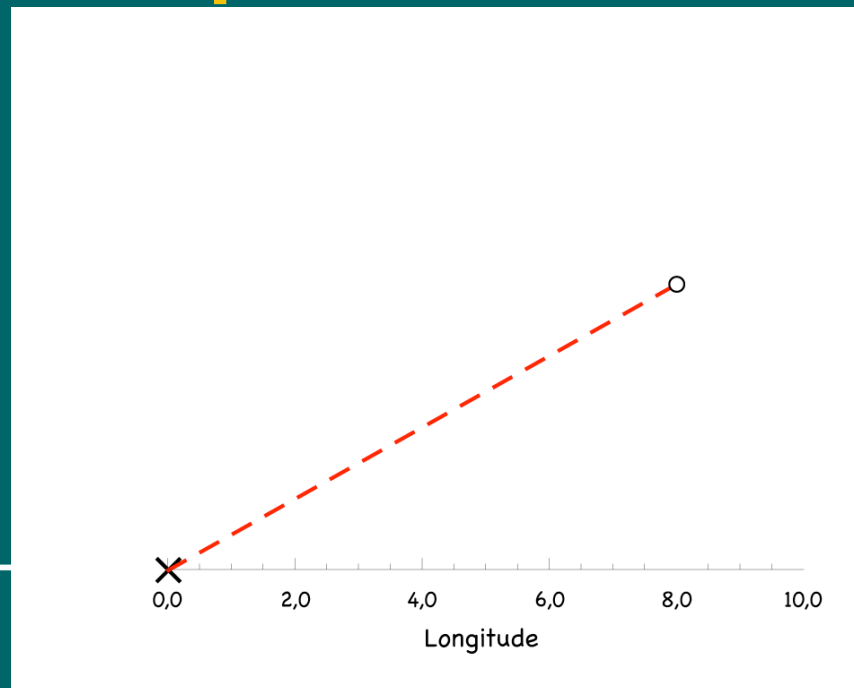
140 a. C.

- Hiparco (161-126 a.C.)
 - Talvez tenha sido o primeiro a definir pontos em um mapa através de coordenadas (latitude e longitude).

A quantidade da qualidade



140 a. C.

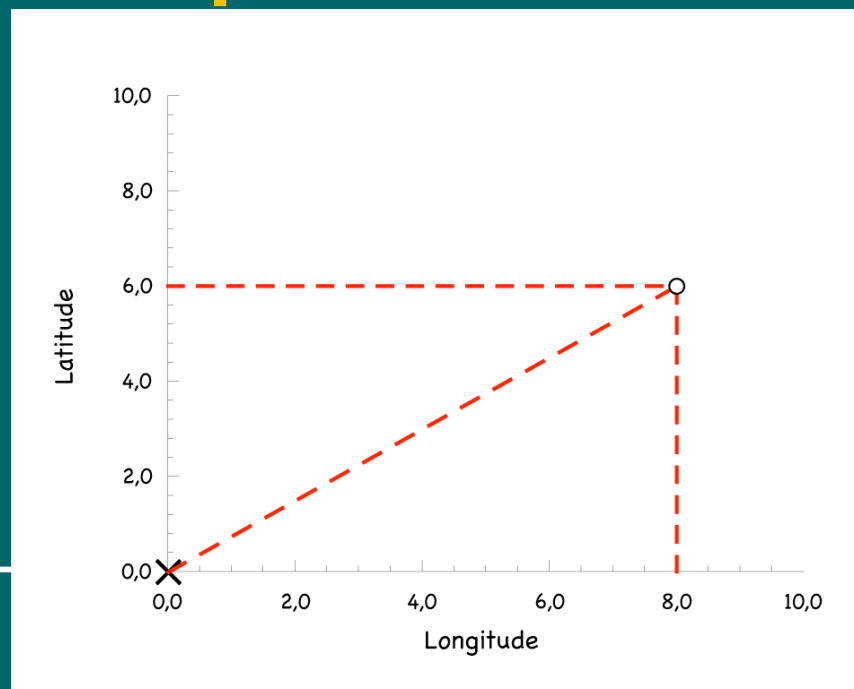


- Hiparco (161-126 a.C.)
 - Talvez tenha sido o primeiro a definir pontos em um mapa através de coordenadas (latitude e longitude).

A quantidade da qualidade



140 a. C.



- Hiparco (161-126 a.C.)
 - Talvez tenha sido o primeiro a definir pontos em um mapa através de coordenadas (latitude e longitude).

A quantidade da qualidade



140 a. C.

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Aplica esta técnica ao problema medieval da intensidade e remissão de formas.

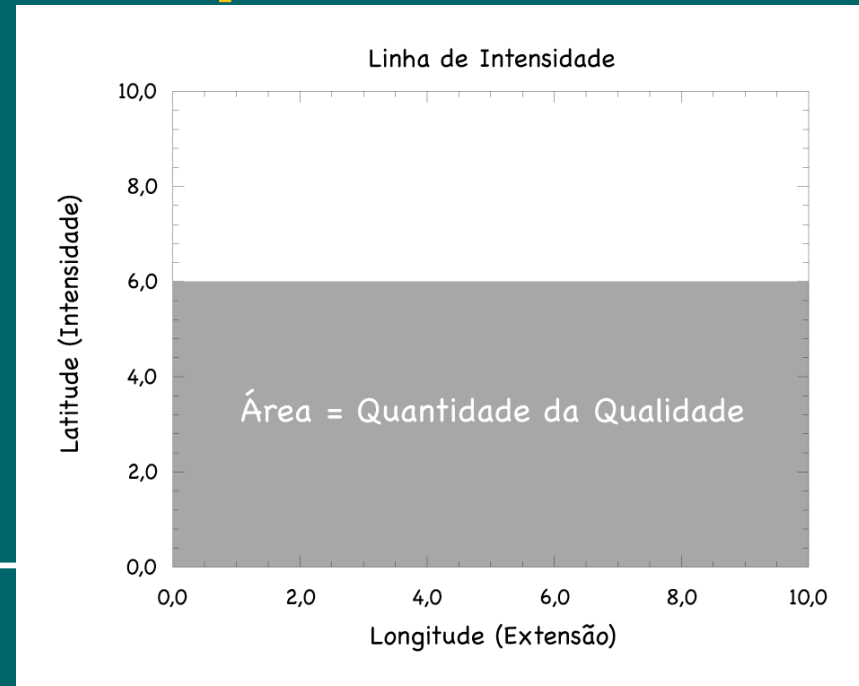
* Nicole Oresme, Quodlibeta, MS Paris, BN lat. 15126, 98v.



1350

Pintura retratando Nicole Oresme: Miniatura de *Traité de l'espere* de Nicole Oresme, Biblioteca Nacional, Paris, França, fundo francês 565, fol. 1.

A quantidade da qualidade



1350

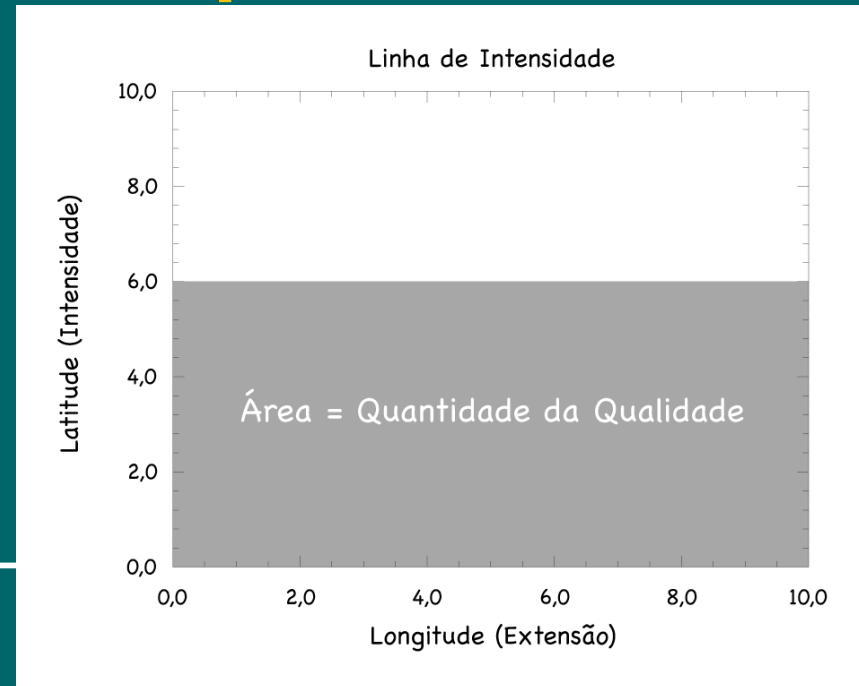
- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Aplica esta técnica ao problema medieval da intensidade e remissão de formas.
 - Este método considera o aumento e a diminuição da intensidade e é denominado por ele... *Calculaciones*.

A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Este método considera o aumento e a diminuição da intensidade e é denominado por ele... *Calculations*.
 - O método das *Calculations* é aplicado para variáveis tão diferentes como temperatura, luz, peso e até mesmo o amor...

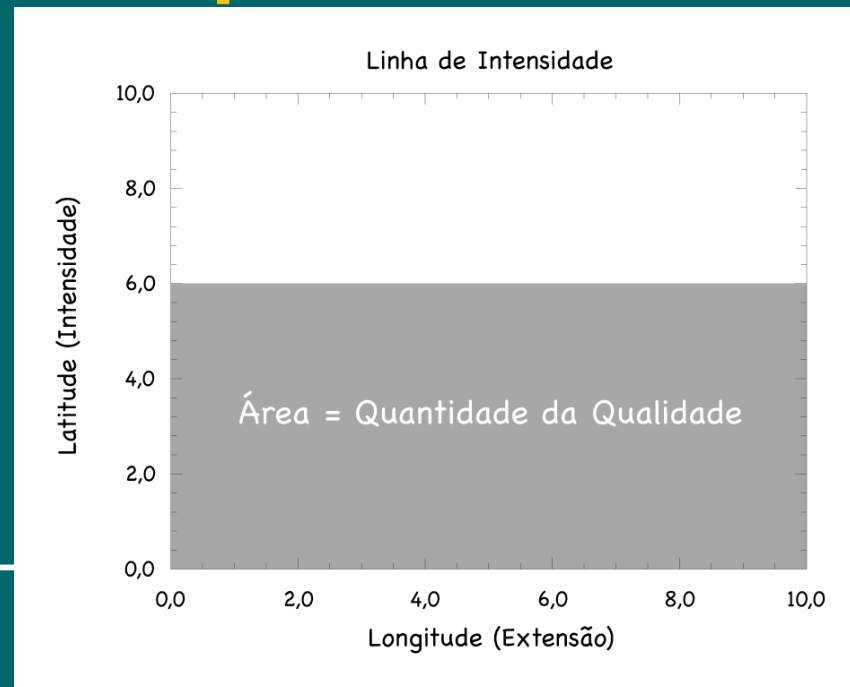


A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - O método das *Calculations* é aplicado para variáveis como temperatura, luz, peso e até mesmo o amor.
 - Mas a qualidade que mais se beneficiou deste tratamento foi o movimento.

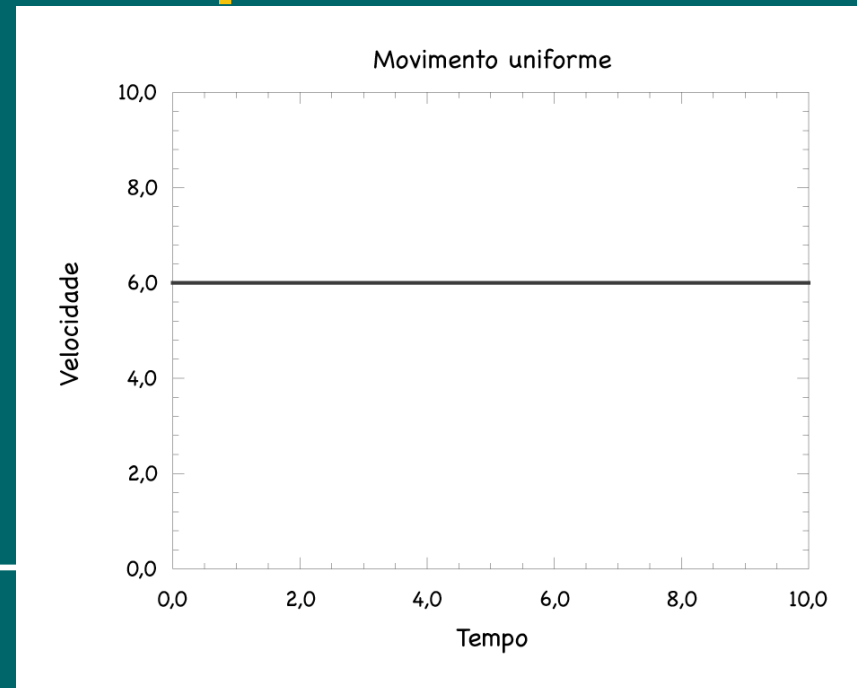


A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Mas a qualidade que mais se beneficiou deste tratamento foi o movimento.
 - *O movimento retilíneo e uniforme...*

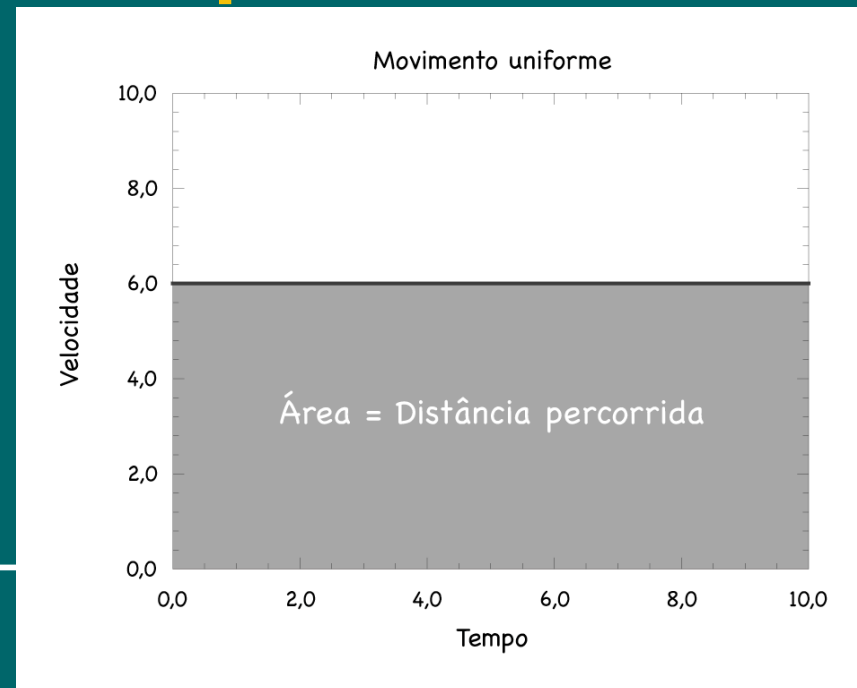


A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Mas a qualidade que mais se beneficiou deste tratamento foi o movimento.
 - *O movimento retilíneo e uniforme...*

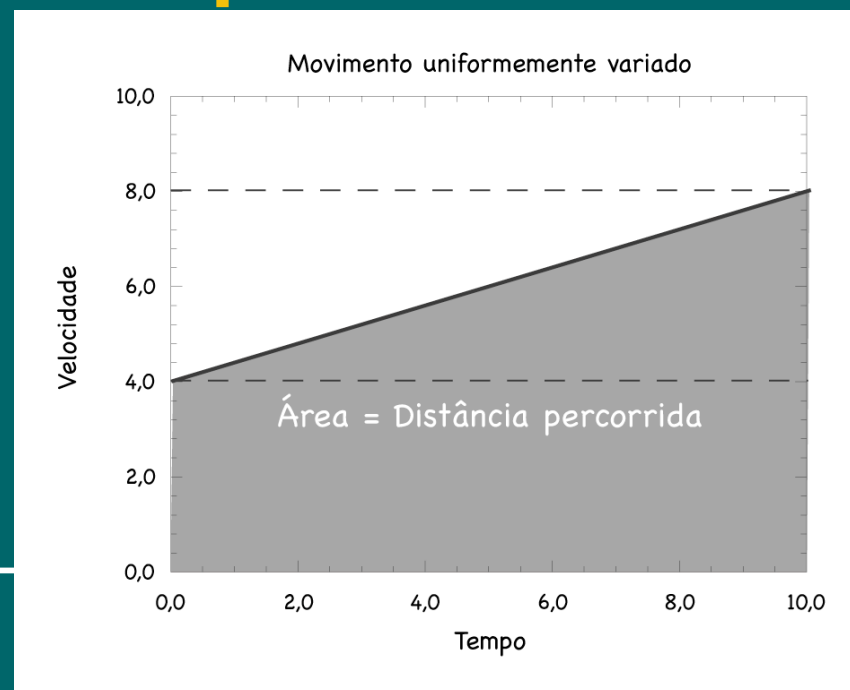


A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Mas a qualidade que mais se beneficiou deste tratamento foi o movimento.
 - *O movimento retilíneo e uniforme...*
 - *O movimento retilíneo uniformemente variado...*

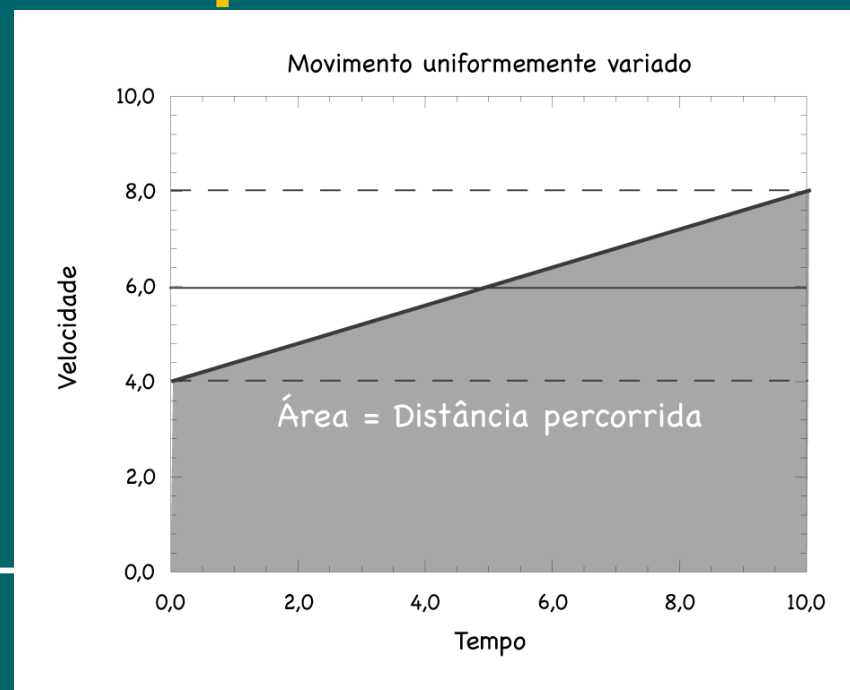


A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
 - Mas a qualidade que mais se beneficiou deste tratamento foi o movimento.
 - *O movimento retilíneo e uniforme...*
 - *O movimento retilíneo uniformemente variado...*



A quantidade da qualidade



1350

- Nicole Oresme (1323-1382)
- Galileu Galilei (1564-1642)



1610

Pintura de Galileu Galilei feita por Giusto Sustermans.

A qualidade Pressão



1610

- Galileu Galilei (1564-1642)
 - Seus trabalhos são considerados o marco no desenvolvimento da física moderna.
 - Suas disputas com a Igreja Católica são consideradas a referência para a liberdade de pensamento na sociedade Ocidental.

A qualidade Pressão



1610

- Galileu Galilei (1564-1642)
- Evangelista Torricelli (1608-1647)



1640

A qualidade Pressão



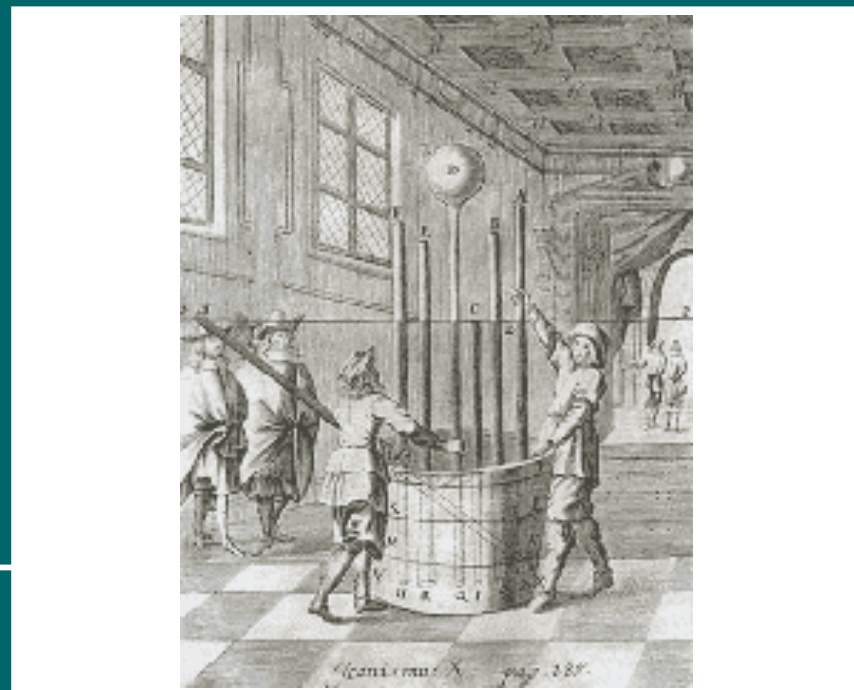
1640

- Evangelista Torricelli (1608-1647)
 - ... mas é Gasparo Berti quem realiza a experiência.



Experiência de Gasparo Berti. Xilogravura do *TechnicaCuriosa* de P. Schott ,Herbipoli 1664.

A qualidade Pressão



1640

- Evangelista Torricelli (1608-1647)
 - Torricelli sugere corretamente que devido a densidade do Hg ser 14 vezes maior do que a da água, podemos construir um barômetro de Hg de cerca de um metro.

Experiência de Torricelli. Xilogravura do *TechnicaCuriosa* de P. Schott, Herbipoli 1664.

A qualidade Pressão



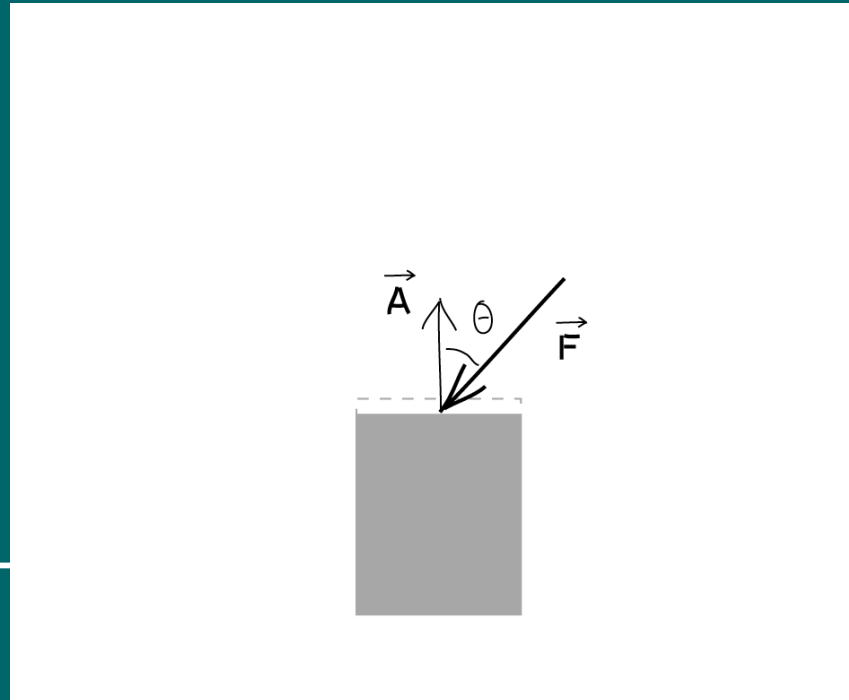
1640

- Evangelista Torricelli (1608-1647)
- Blaise Pascal (1623-1662)



1650

A qualidade Pressão



1650

- Blaise Pascal (1623-1662)
 - Pascal generaliza o trabalho de Torricelli e esclarece os conceitos de pressão e vácuo.

$$P = \frac{F \cos \theta}{A}$$

A qualidade Pressão



1650

- **Blaise Pascal (1623-1662)**
- **Robert Boyle (1627-1691)**



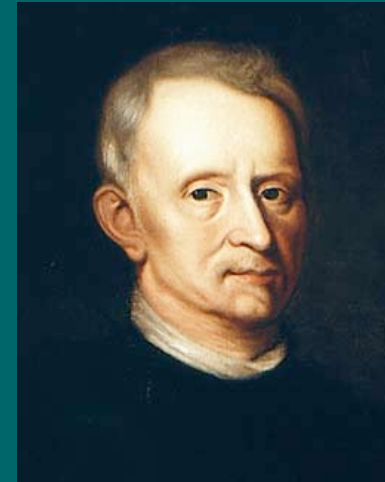
1660

A qualidade Pressão



1660

- Robert Boyle (1627-1691)
 - Fundador e primeiro presidente da Royal Society de Londres.
- Robert Hooke (1635-1703)
 - Assistente de Boyle, contribui tanto teórica quanto experimentalmente para o desenvolvimento científico.



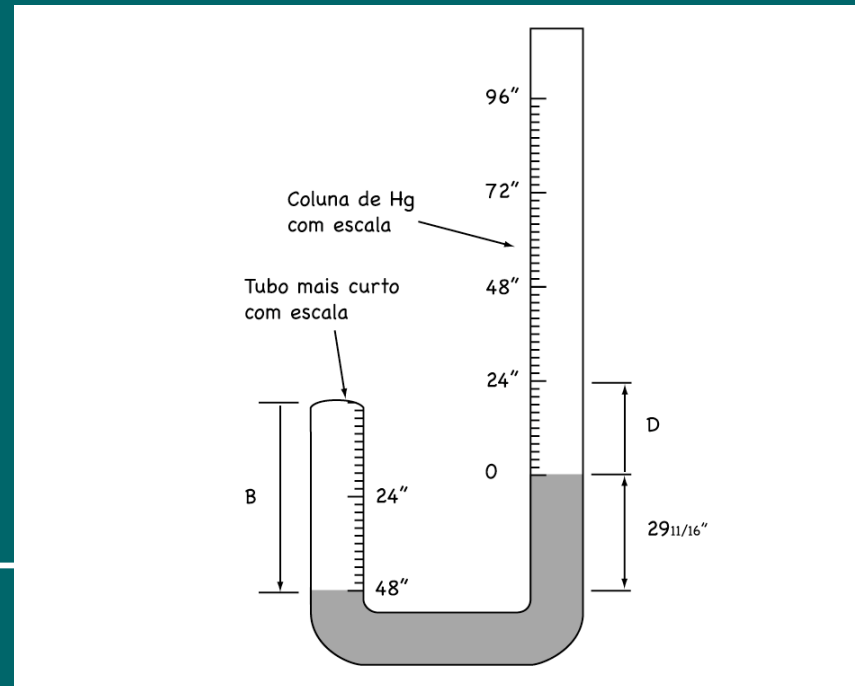
1675

A qualidade Pressão



1660

- Robert Boyle (1627-1691)
 - R. Boyle, "A Defence of the Doctrine Touching the Spring And Weight of the Air," 1662.



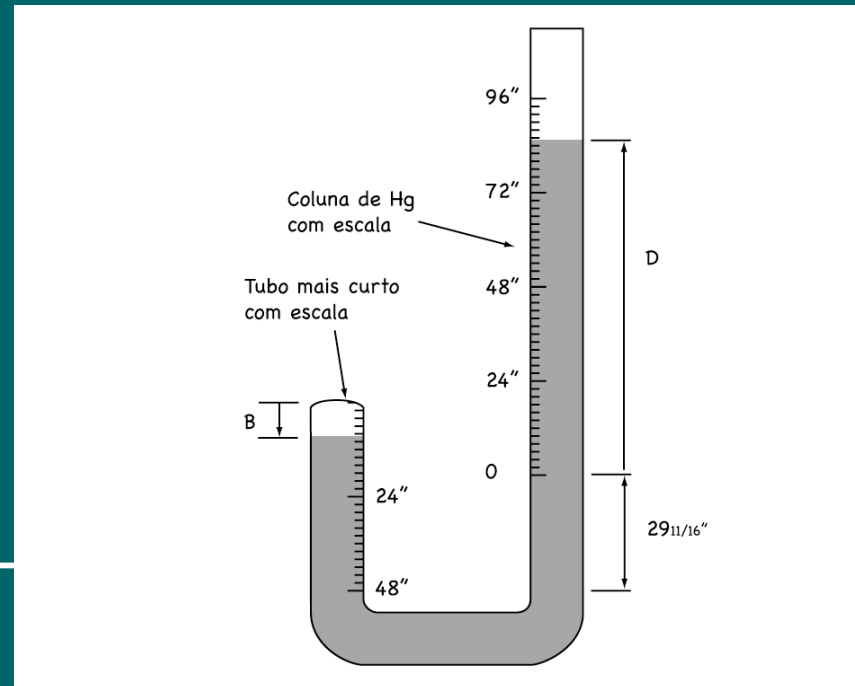
F. Fazio, "Using Robert Boyle's original data in the physics and chemistry classrooms," *Journal of College Science Teaching*, (Maio 1992) 363-365.

A qualidade Pressão



1660

- Robert Boyle (1627-1691)
 - R. Boyle, "A Defence of the Doctrine Touching the Spring And Weight of the Air," 1662.



F. Fazio, "Using Robert Boyle's original data in the physics and chemistry classrooms," *Journal of College Science Teaching*, (May 1992) 363-365.

A qualidade Pressão



1660

- Robert Boyle (1627-1691)
 - “... E - What that pressure should be according to the hypothesis, that supposes the pressures and expansions to be in reciprocal proportions.”

Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects*, Oxford, 1660

158 *A Defence of the Doctrins touching the* Part II.

A Table of the condensations of the air.

A	B	C	D	E
48	12	00	39 1/2	39 1/2
46	13 1/2	01 1/2	30 1/2	33 1/2
44	15	03	31 1/2	31 1/2
42	16 1/2	04 1/2	33 1/2	33 1/2
40	18	06	35 1/2	35 1/2
38	19 1/2	07 1/2	37	36 1/2
36	21	09	39 1/2	38 1/2
34	22 1/2	10 1/2	41 1/2	41 1/2
32	24	12	44 1/2	44 1/2
30	25 1/2	13 1/2	47 1/2	46 1/2
28	27	15	50 1/2	50 1/2
26	28 1/2	16 1/2	54 1/2	53 1/2
24	30	18	58 1/2	58 1/2
22	31 1/2	19 1/2	62 1/2	62 1/2
20	33	21	67 1/2	67 1/2
18	34 1/2	22 1/2	72 1/2	72 1/2
16	36	24	78 1/2	78 1/2
14	37 1/2	25 1/2	84 1/2	84 1/2
12	39	27	91 1/2	91 1/2
10	40 1/2	28 1/2	99 1/2	99 1/2
8	42	30	107 1/2	107 1/2
6	43 1/2	31 1/2	116 1/2	116 1/2

Added to 111 inches

AA. The number of equal spaces in the shorter leg, that contained the same parcel of air diversly extended.

B. The height of the mercurial cylinder in the longer leg, that compressed the air into those dimensions.

C. The height of the mercurial cylinder, that counter-balanced the pressure of the atmosphere.

D. The aggregate of the two last columns B and C, exhibiting the pressure sustained by the included air.

E. What that pressure should be according to the hypothesis, that supposes the pressures and expansions to be in reciprocal proportions.

For the better understanding of this experiment, it may not be amiss to take notice of the following particulars:

1. That the tube being so tall, that we could not conveniently make use of it in a chamber, we were fain to use it on a pair of stairs, which yet were very lightsome, the tube being for preservation's sake by strings so suspended, that it did scarce touch the box perfectly to be mentioned.
2. That the lower and crooked part of the pipe was placed in a square wooden box, of a good largeness and depth, to prevent the jolt of the quicksilver, that might fall aside in the transfusion from the vessel into the pipe, and to receive the whole quicksilver in case the tube should break.
3. That we were fain to make the observation together, the one to take notice at the bottom, how the quicksilver rose in the shorter cylinder, and the other to pour in at the top of the longer; it being very hard and troublesome for one man alone to do both accurately.
4. That the quicksilver was poured in but by little and little, according to the direction of him that observed below; it being far easier to pour in more, than to take out any, in case too much at once had been poured in.

5. That

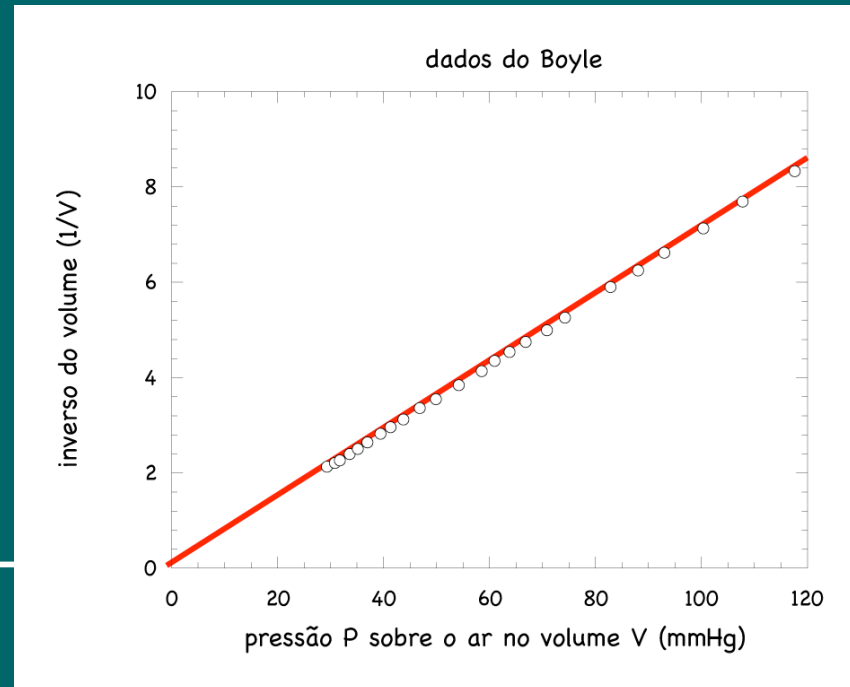
A qualidade Pressão



1660

- Robert Boyle (1627-1691)
 - ... ou, escrevendo em termos da extensão e da intensidade:

$$y = ax + b; \quad \frac{1}{V} = aP + b; \quad PV = const.$$



F. Fazio, "Using Robert Boyle's original data in the physics and chemistry classrooms," *Journal of College Science Teaching*, (Maio 1992) 363-365.

A qualidade Pressão



1660

- **Robert Boyle (1627-1691)**
- **Robert Hooke (1635-1703)**



1675

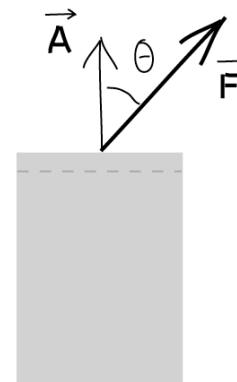
A qualidade Pressão



1675

- Robert Hooke (1635 – 1703)
 - Lei de Hooke: “a deformação de um corpo é proporcional a tensão que ele sofre e diretamente proporcional ao seu comprimento original”.

$$T = k \frac{\Delta L}{L_0}$$



A qualidade Pressão



1675

- **Robert Hooke (1635-1703)**
- **Edmé Mariotte (1620-1684)**



1680

A qualidade Pressão



1680

- Edmé Mariotte (1620-1684)
 - Se destaca principalmente no campo da física, mas também escreve sobre fisiologia vegetal.

A qualidade Pressão



1680

- Edme Mariotte (1620-1684)
- Isaac Newton (1642-1727)



1685

A qualidade Pressão



1685

- Isaac Newton (1642-1727)

- Analogia do ar com o sistema massa-mola comprimido:



- A força F do ar sobre a seção A varia de:

$$dF = AdP = A \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_0 AdL = -k_L dL$$

- A velocidade da perturbação é:

$$v_N^2 = k_L \frac{L_0}{\rho_L} = -\frac{V_0}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_0$$

A qualidade Pressão



- A primeira determinação analítica da velocidade do som no ar:
(Proposição 49 Livro II dos Principia)

$$v_N = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \left[\frac{1,01 \times 10^6 \text{ dina.cm}^{-2}}{1,29 \times 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}} \right]^{1/2} = 280 \text{ m / s}$$

1690

- **Isaac Newton (1642-1727)**

- que difere do valor experimental em 20%.

$$\Delta = \frac{|v_{\text{exp}} - v_N|}{v_N} = \frac{50}{280} \approx 0,2$$

- Ele vai atribuir esta discrepância ao erro experimental...

Muito barulho por nada

- O que o caracteriza o ar a nossa volta?
- Ele contém cerca de 25 bilhões de bilhões de moléculas por cm^3 .
- Em um volume do tamanho de uma a cabeça de alfinete existe um número de moléculas milhões de vezes maior do que a população mundial.
- As moléculas do ar movem-se sem cessar a velocidades de 450 m/s (mais rápido do que a velocidade do som) e cada molécula se choca com outra cerca de 5 bilhões de vezes por segundo. A pressão surge dessas colisões e é essa pressão que sustenta um avião ou derruba um prédio.
- O movimento dessas moléculas e, deste modo, sua pressão, cresce sensivelmente quando a temperatura aumenta. Este é um dos princípios básicos da termodinâmica.

O Gás Ideal

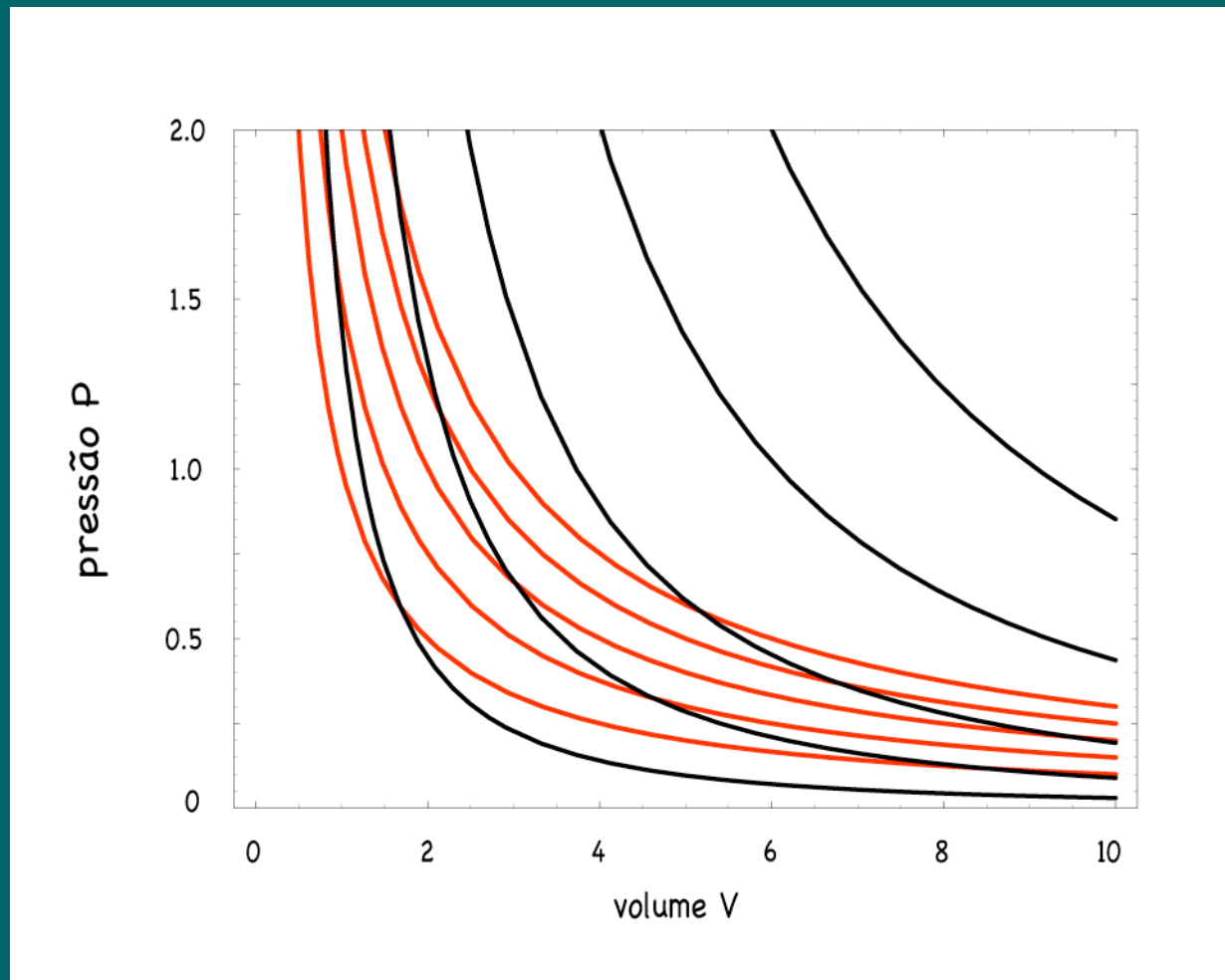
$$PV = RT$$

$$PV^\gamma = \text{const}$$

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial(P, V)} = 1$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \leq 0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S < 0$$



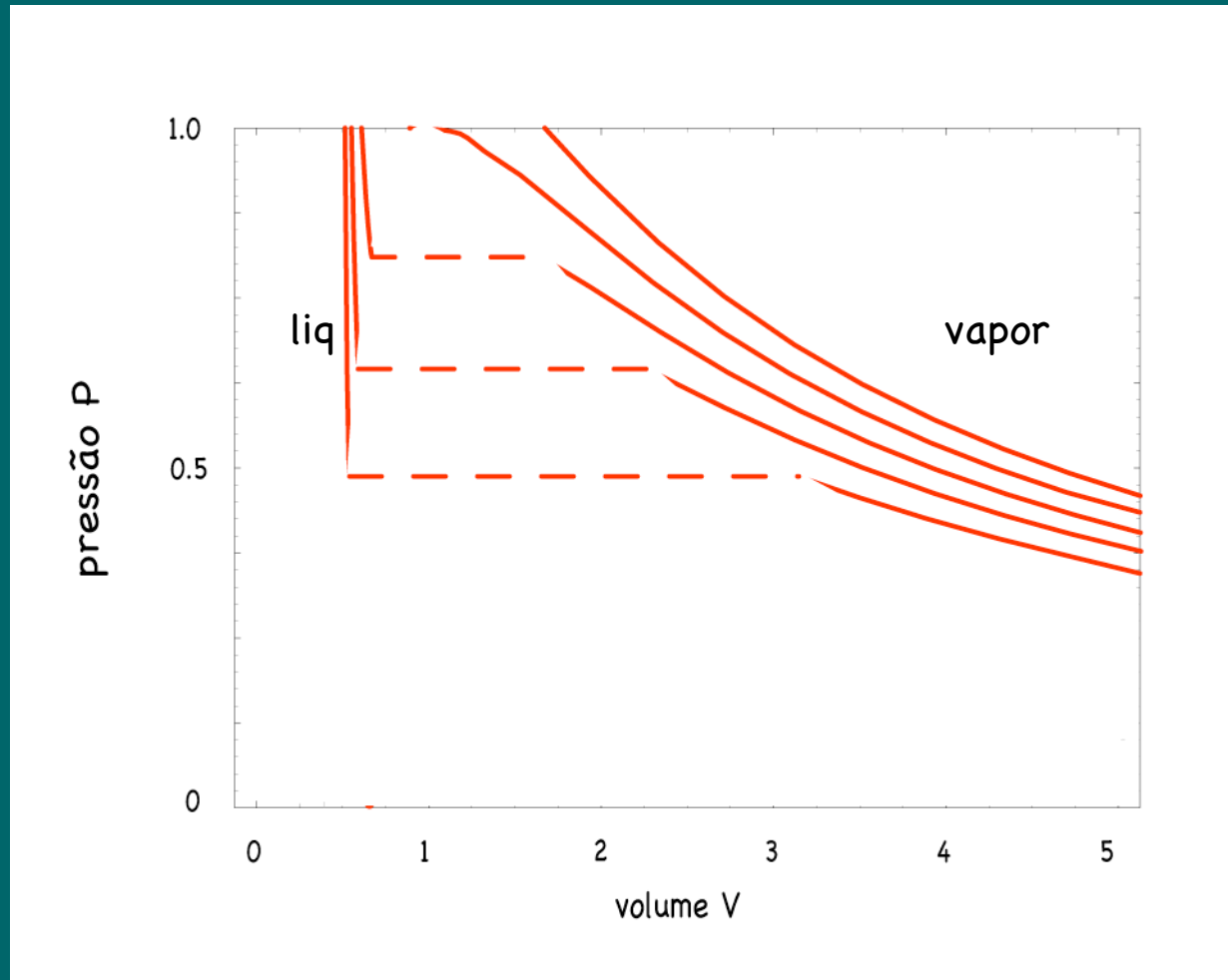
O Gás Real

- Clausius

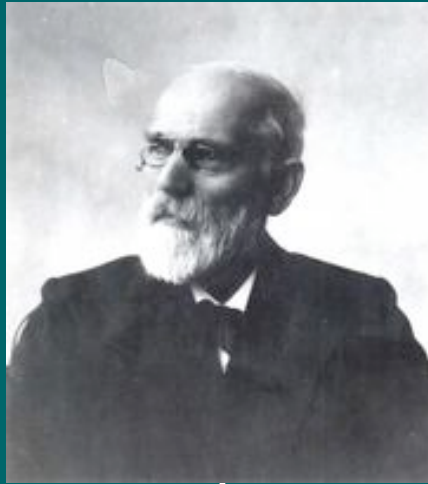
$$P = \frac{RT}{V - b}$$

- Onnes

$$\begin{aligned} P &= \frac{RT}{V - b} \\ &= \frac{RT}{V(1 - b/V)} \\ &= \frac{RT}{V} \left[1 + \frac{b}{V} + \left(\frac{b}{V} \right)^2 + \dots \right] \end{aligned}$$



O Gás de van der Waals



- A equação de van der Waals:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

1872

- van der Waals (1837-1923)
 - "*Over de Continuïteit van den Gasen Vloeistoestand*".
[Sobre a continuidade do gás e do estado líquido]

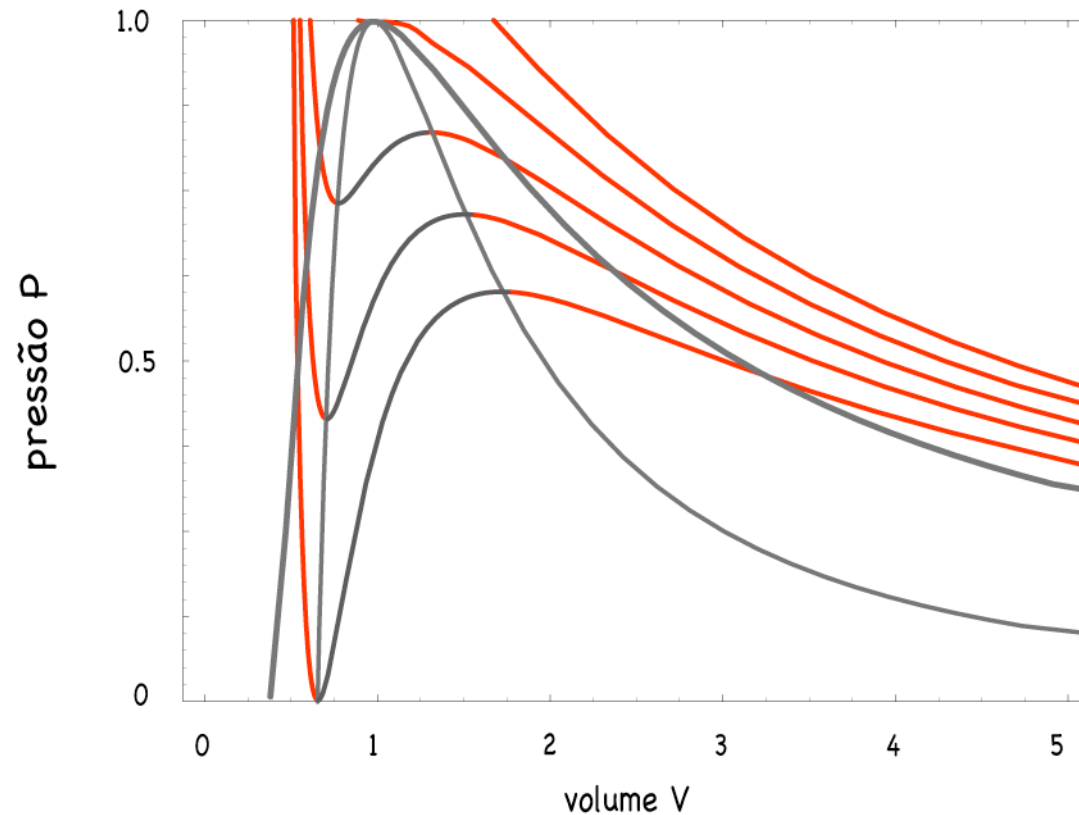
O Gás de van der Waals

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial(P, V)} = 1$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \leq 0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S < 0$$



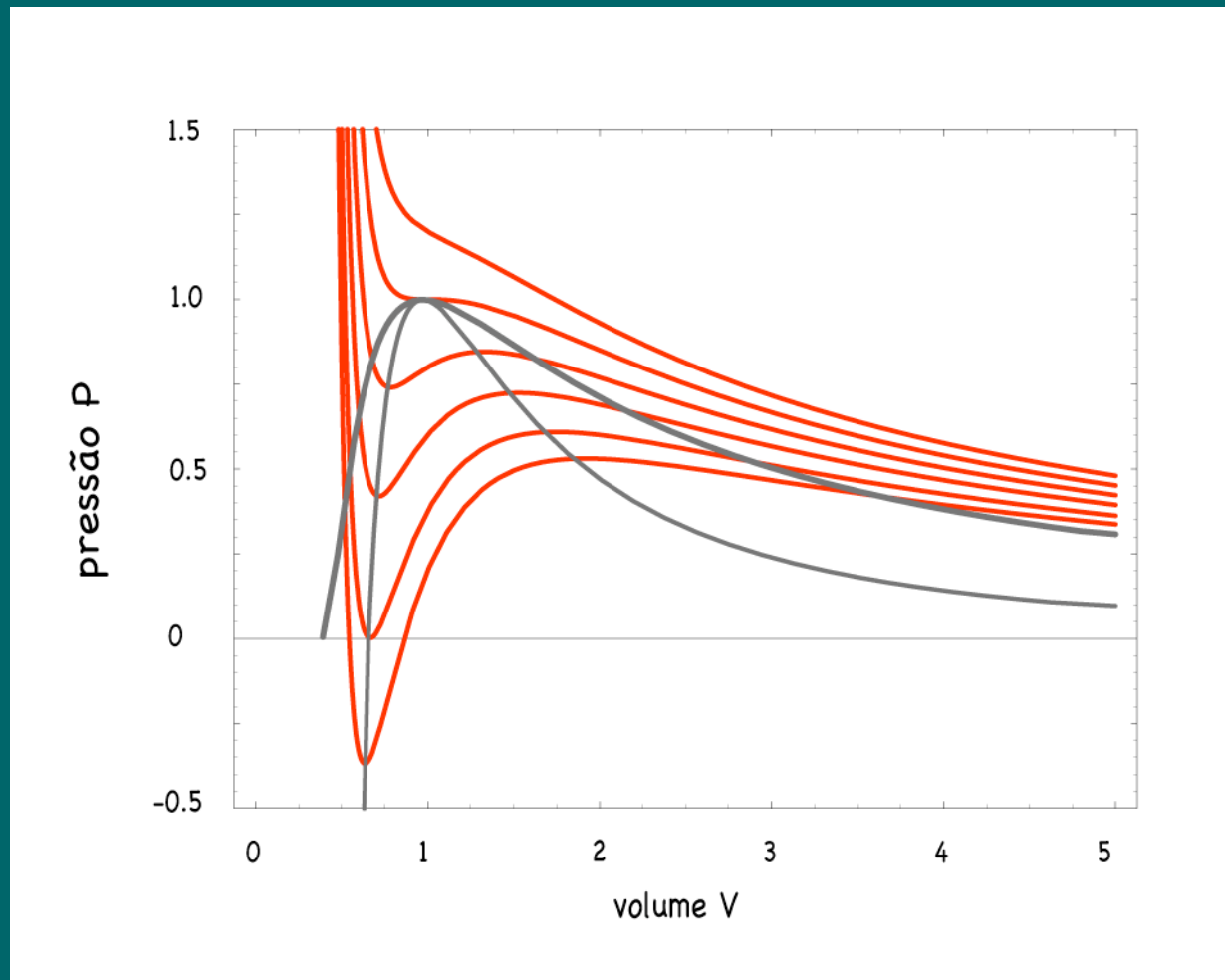
O Gás de van der Waals

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial(P, V)} = 1$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \leq 0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S < 0$$



O Gás de van der Waals

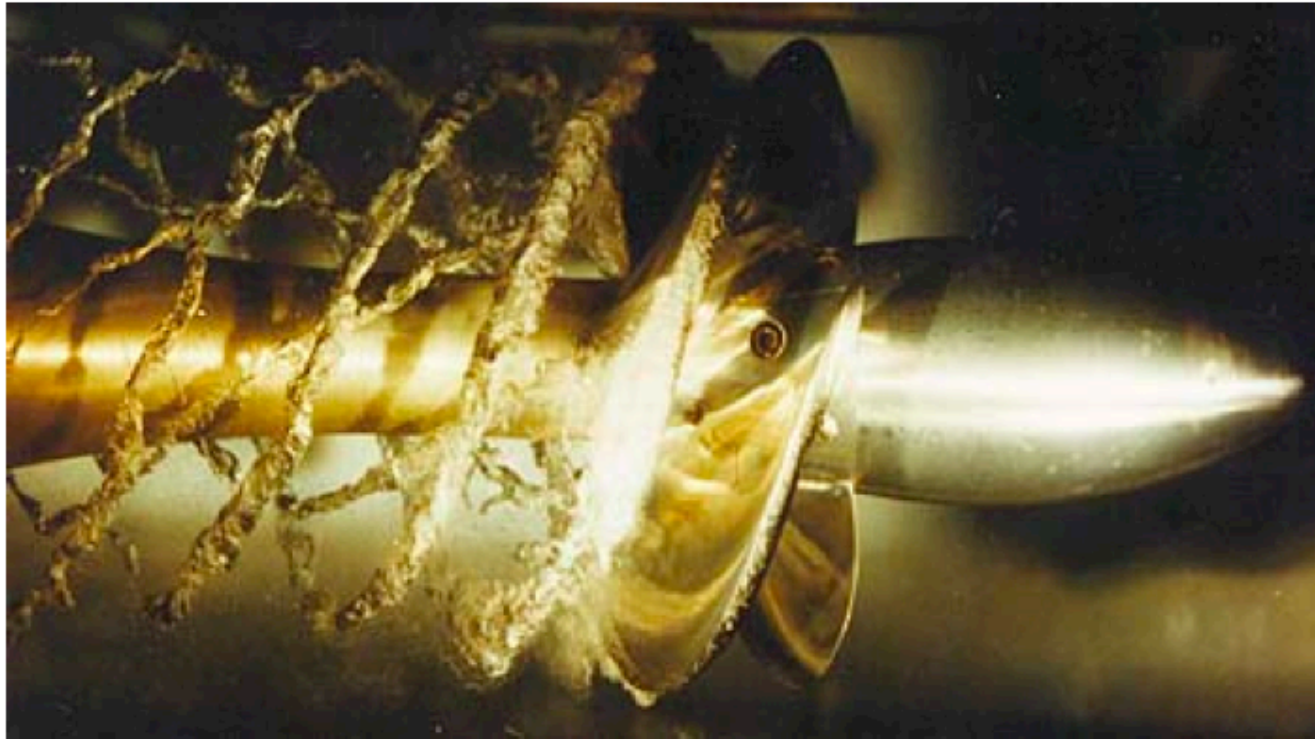
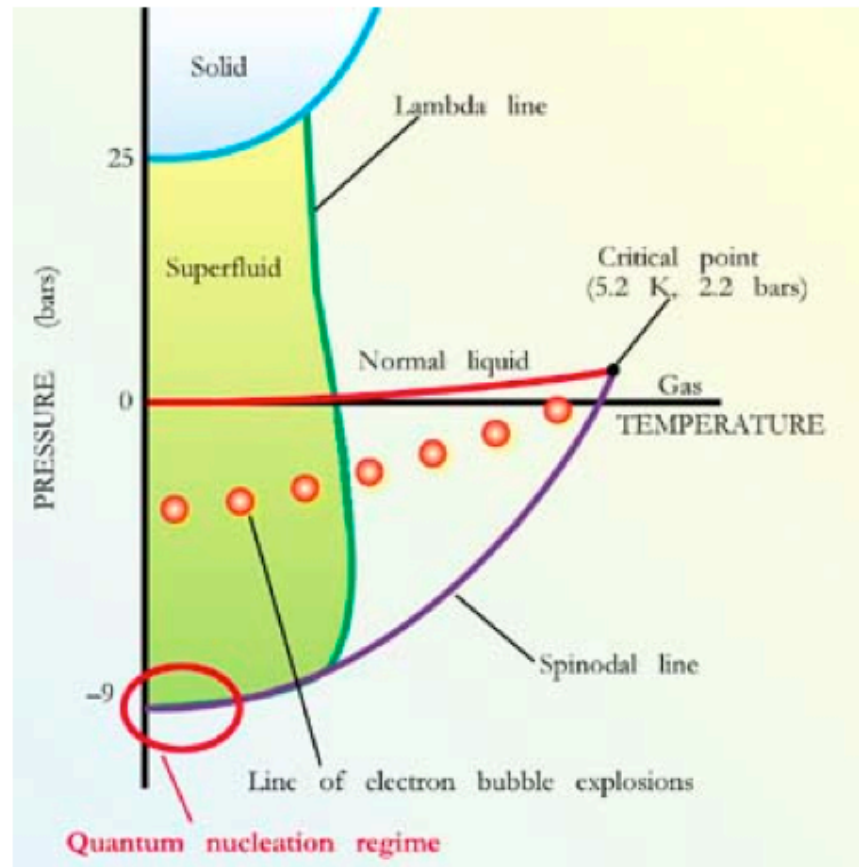


Figure 1. Vortex lines are generated at the edge of boat propellers in motion. Toward the core of the vortices, the liquid velocity increases and the pressure decreases. The lower pressure triggers cavitation, and the resulting bubbles produce noise, vibrations, and erosion of the propellers. (Photo courtesy of DGADCE, Bassin des Carenes, Paris, France.)

O Gás de van der Waals

Figure 4. Liquid helium-4 phase diagram, including the negative-pressure regime. (The diagram is not to scale.) The positive-pressure region of the phase diagram, including the equilibrium liquid-gas transition (red line), has been studied extensively in many experiments. The spinodal line indicates the pressure at which the liquid's sound velocity becomes zero and the liquid becomes unstable against long-wavelength fluctuations. The lambda line for negative pressures is based largely on guesswork. Bubbles formed around free electrons will explode if the pressure reaches the line of red circles.



O Gás de van der Waals

PRL 95, 015701 (2005)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
1 JULY 2005

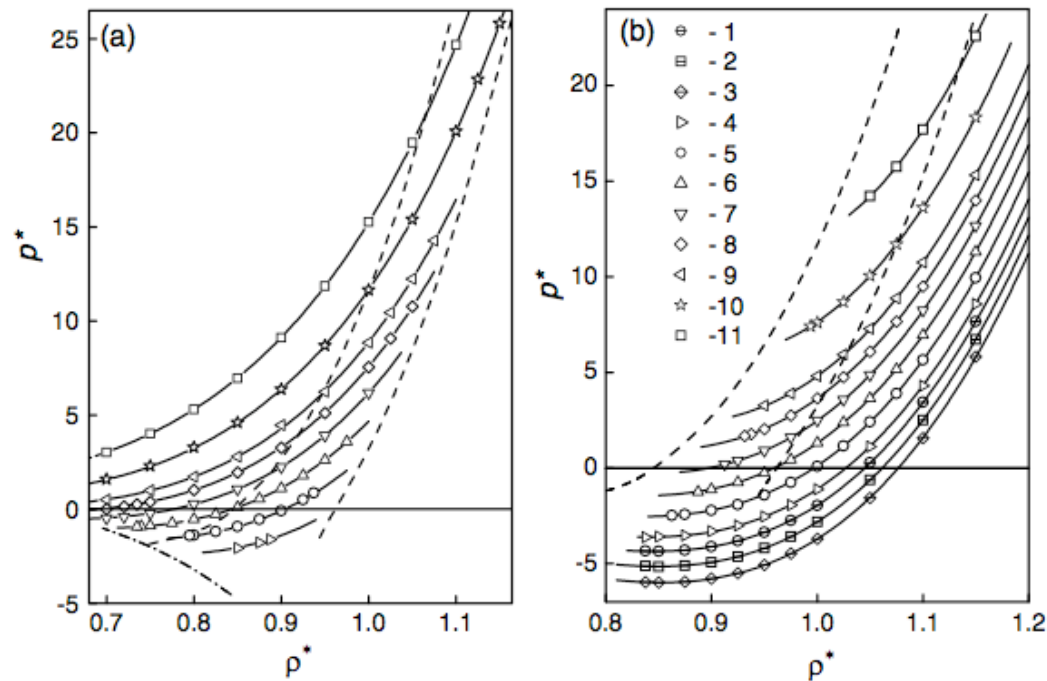


FIG. 1. Isotherms of (a) liquid and (b) crystal: 1 – $T^* = 0.1$, 2 – 0.2, 3 – 0.3, 4 – 0.4, 5 – 0.55, 6 – 0.7, 7 – 0.85, 8 – 1.0, 9 – 1.15, 10 – 1.5, 11 – 2.0. Dashed lines show lines of liquid-crystal phase equilibrium, and a dash-dotted line shows the spinodal of a stretched liquid.

Singular Point of a System of Lennard-Jones Particles at Negative Pressures,

Baidakov and Protsenko, PRL, 95 (2005) 015701

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Huygens, Berthelot e Reynolds

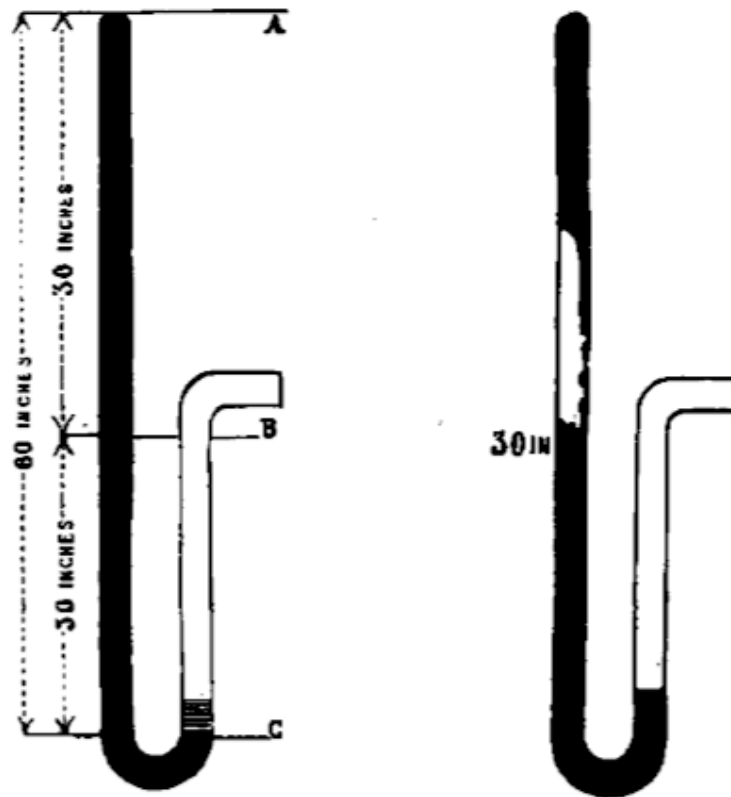
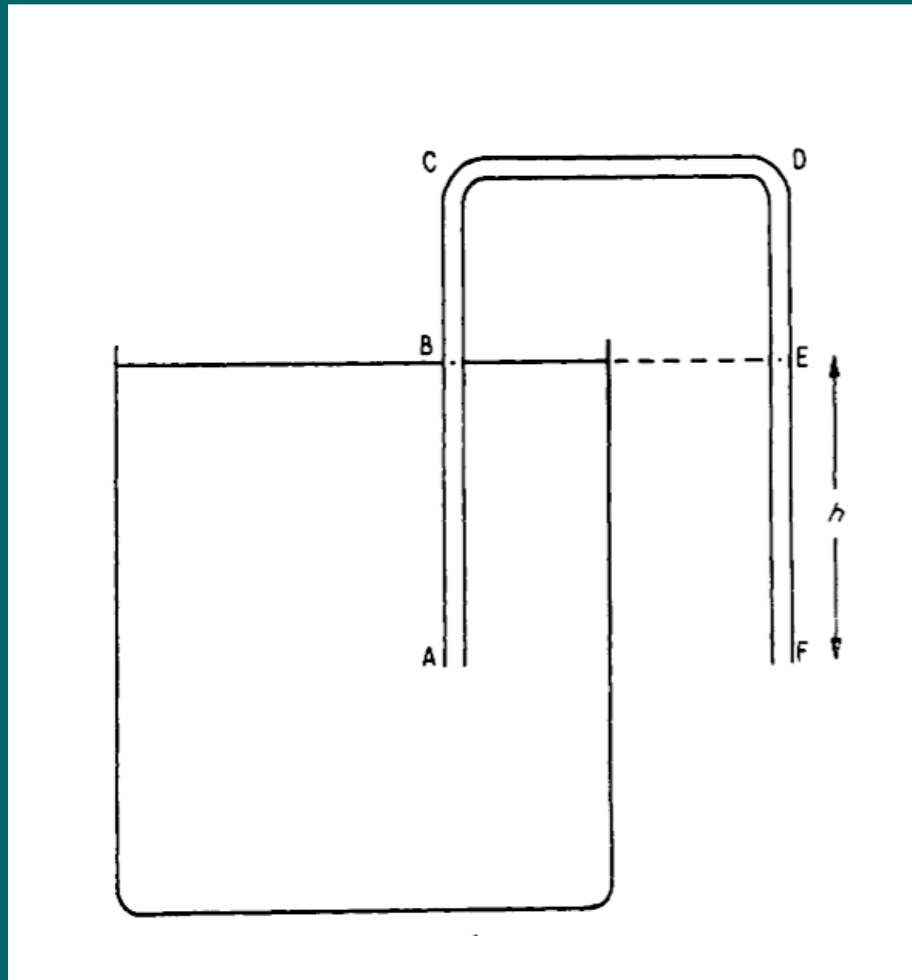


Fig. 1. Reproduction of the diagrams which Reynolds included as Figs. 3 and 4 in his original paper.

O sifão



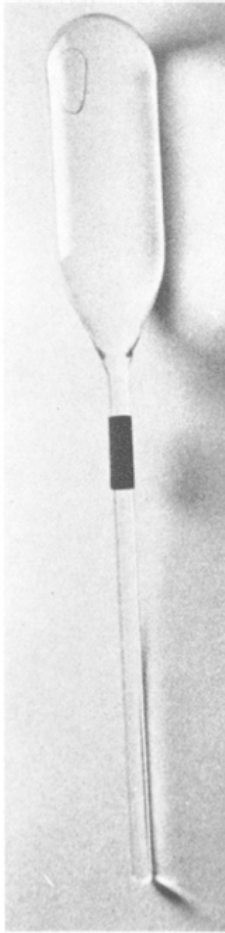
$$h = f \frac{l}{d} + \sum_n k_n \frac{v^2}{2g}$$

The Siphon

Potter and Barnes, Physics Education, 6, 5 (1971) 362-366

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Berthelot



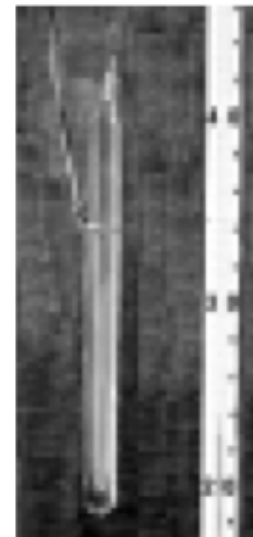
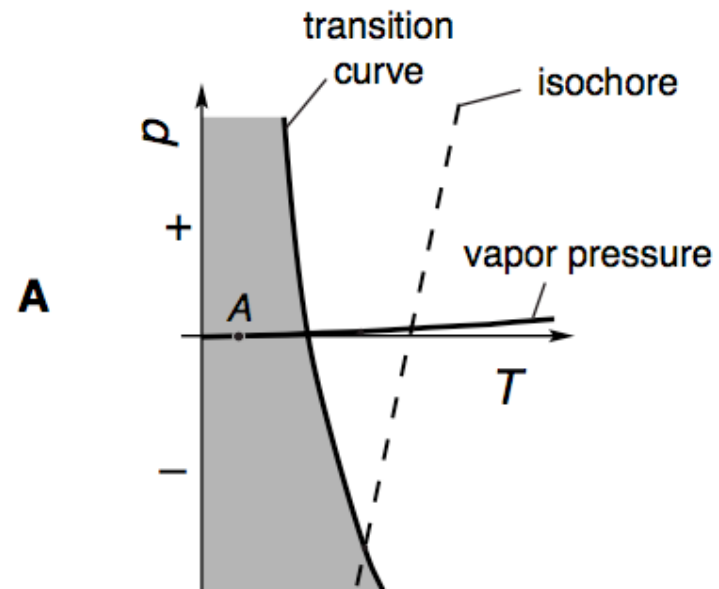
scribed. The apparatus is nothing other than a glass bulb (Fig. 1)⁶ of approximately 100-cm³ inner volume which is filled with $\text{CCl}_2\text{F}-\text{CClF}_2$ (Freon 113, Du Pont de Nemours). Some de-

The Siphon

Potter and Barnes, *Physics Education*, 6, 5 (1971) 362-366

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

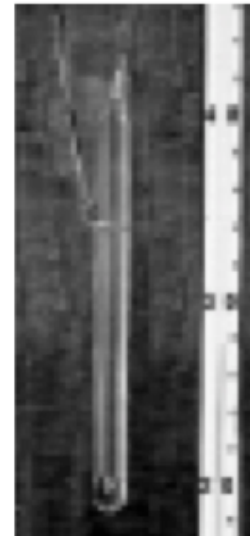
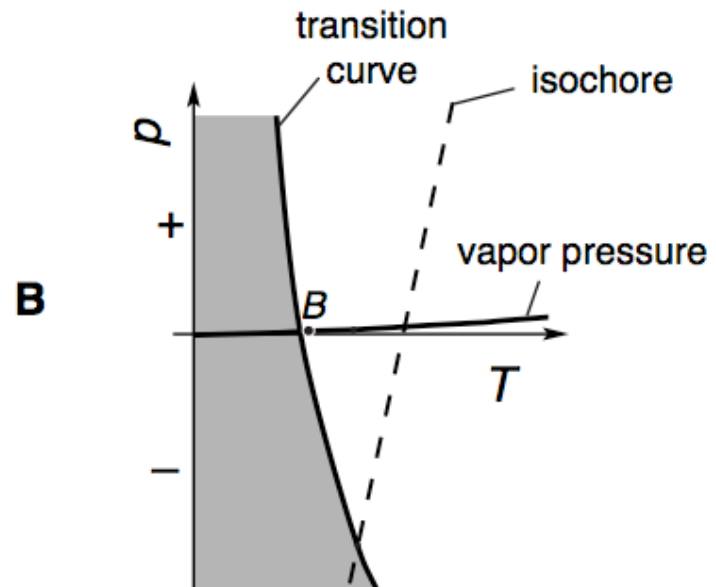
Berthelot



Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution
Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

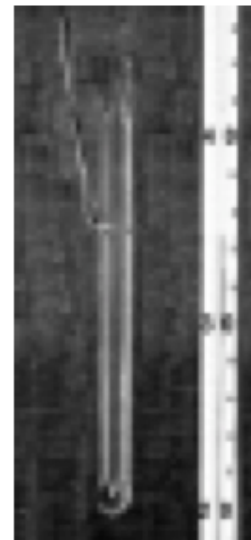
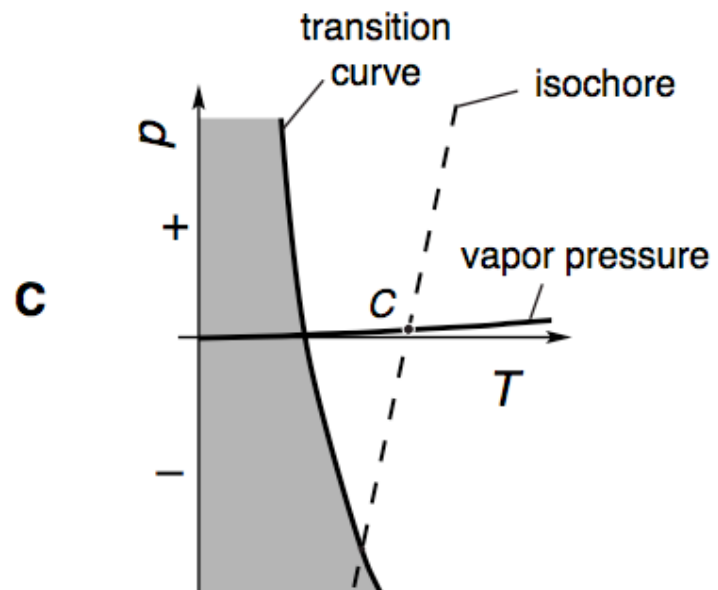
Berthelot



Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution
Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Berthelot

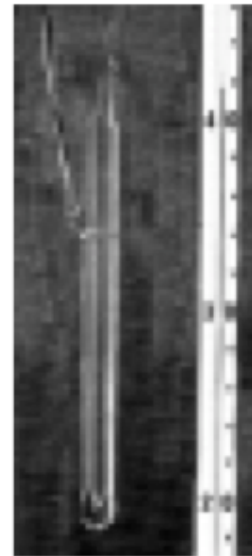
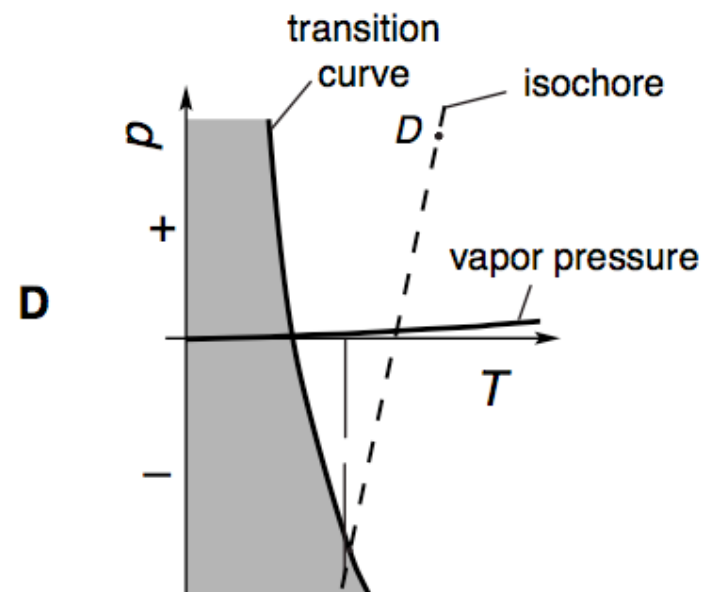


Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution

Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

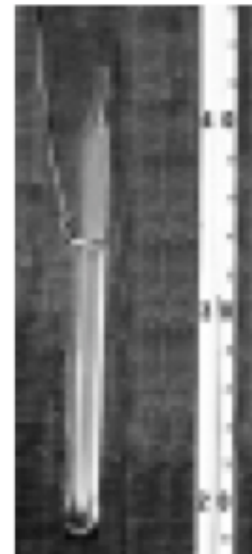
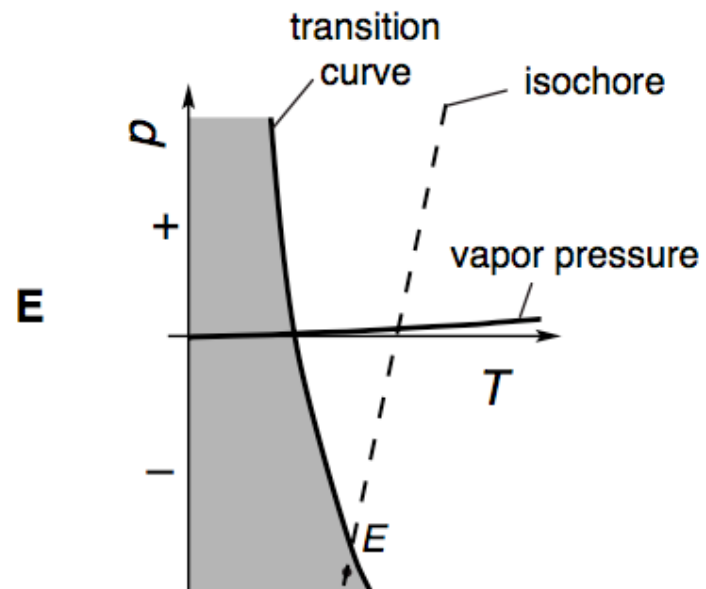
Berthelot



Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution
Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Berthelot

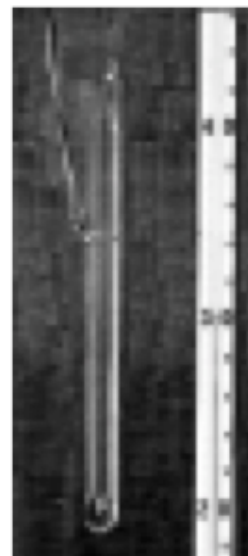
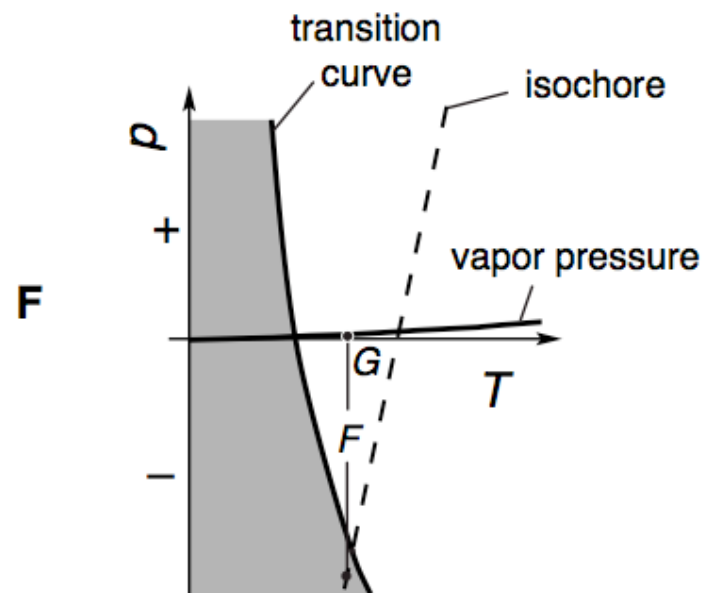


Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution

Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Berthelot



Achieving absolute negative pressures in liquids: precipitation phenomena in solution

Visak, Rebelo and Szydlovski, Journal of Chemical Education, 79, 7 (2002) 869-873

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

Berthelot

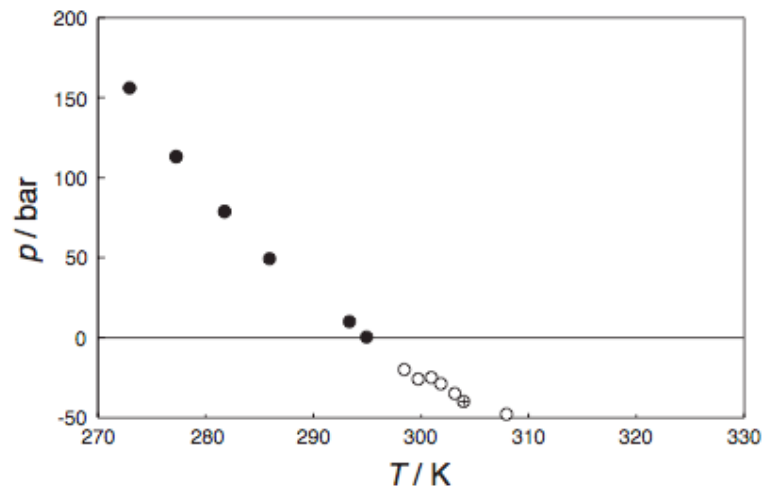


Figure 3. Experimental data in the (●) positive and (○) negative pressure regimes; ⊕ is the transition point described in this work.

$$\gamma_v = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T = \frac{\alpha_p}{\kappa_T}$$

$$P = P_{fill} + \gamma_v (T - T_{fill})$$

O Gás de Chaplygin



- A equação de Chaplygin:

$$P = -\frac{A}{\rho}$$

1901

- Sergeii Chaplygin (1869-1942)
 - Seus estudos de hidrodinâmica são as bases para o estudo da aerodinâmica em altas velocidades.

O Gás de Chaplygin generalizado



1901

- Chaplygin (1869-1942)

- A equação de Chaplygin generalizada:

$$P = -\frac{A}{\rho^\alpha}$$

- $P=P(S,V)$:
$$P = -\frac{A^{1/(\alpha+1)}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{V}\right)^{\alpha+1}\right]^{\alpha/(\alpha+1)}}$$

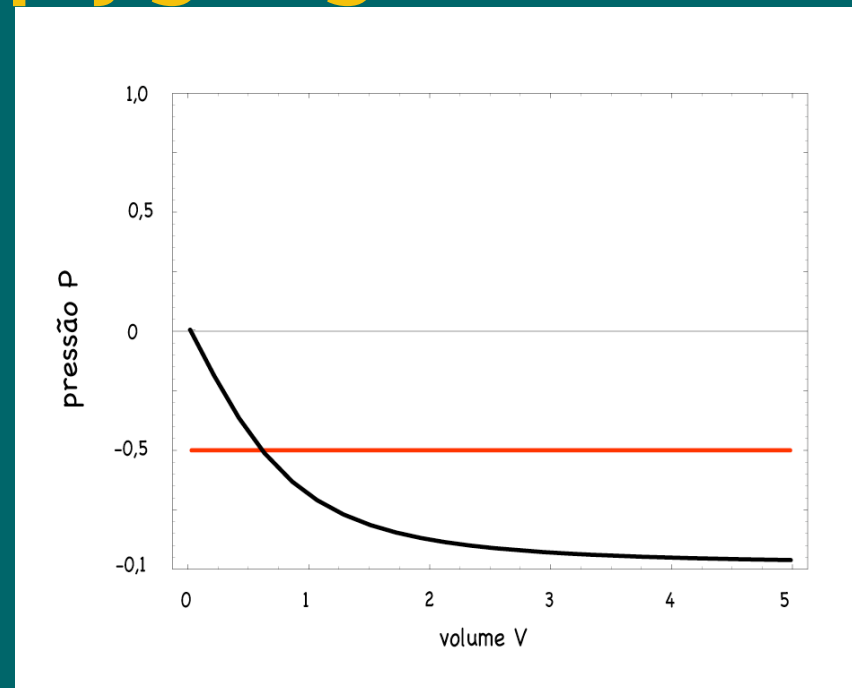
- $P=P(T,V)$:
$$P = -A^{1/(\alpha+1)} \left[1 - \left(\frac{T}{T^*}\right)^{(\alpha+1)/\alpha}\right]^{\alpha/(\alpha+1)}$$

O Gás de Chaplygin generalizado

$$P = -\frac{A}{\rho^\alpha}$$

$$P = -\frac{A^{1/(\alpha+1)}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{V}\right)^{\alpha+1}\right]^{\alpha/(\alpha+1)}}$$

$$P = -A^{1/(\alpha+1)} \left[1 - \left(\frac{T}{T^*}\right)^{(\alpha+1)/\alpha}\right]^{\alpha/(\alpha+1)}$$



On the thermodynamic stability of the generalized Chaplygin gas

Santos, Bedran e Soares, PLB 636, 2(2006) 86-90

@2009 V. Soares, Mestrado em Ensino de Física — IF-UFRJ

O Gás de Chaplygin modificado



1901

- Chaplygin (1869-1942)

- A equação de Chaplygin modificada:

$$P = B\rho - \frac{A}{\rho^\alpha}$$

- $P=P(S,V)$:
$$P = - \frac{[A/(B+1)]^{1/(\alpha+1)}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{V}\right)^{\alpha+1}\right]^{\alpha/(\alpha+1)}}$$

- $T=T(\rho)$:
$$\beta T = \rho^{\frac{B}{B+1}} \left[1 - \frac{A}{(B+1)\rho^{\alpha+1}} \right]^{(R-1)/R}$$

$$R = (B+1)(\alpha+1)$$

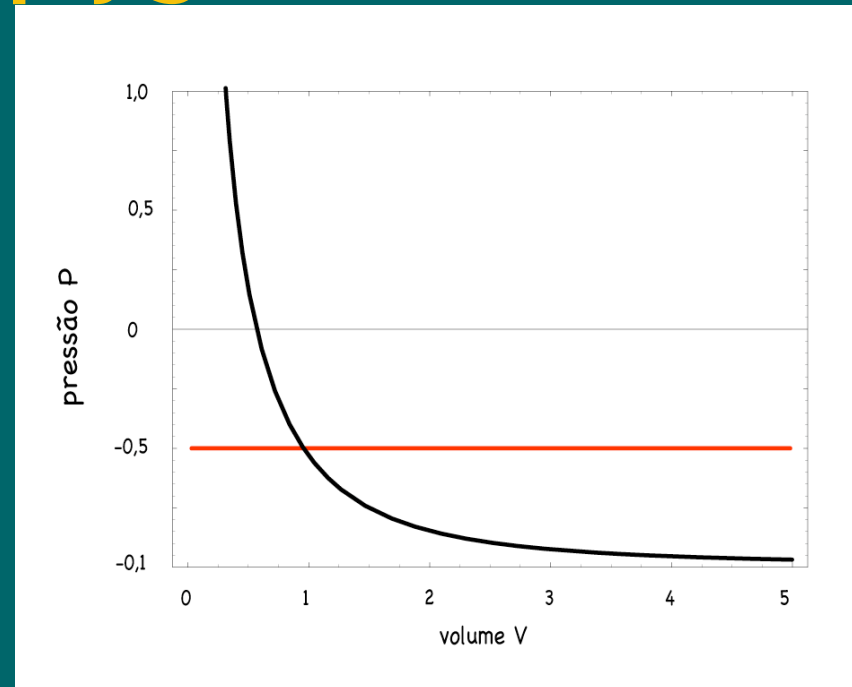
O Gás de Chaplygin modificado

$$P = B\rho - \frac{A}{\rho^\alpha}$$

$$P = - \frac{\left[\frac{A}{(B+1)} \right]^{1/(\alpha+1)}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{V} \right)^{\alpha+1} \right]^{\alpha/(\alpha+1)}}$$

$$\beta T = \rho^{\frac{B}{B+1}} \left[1 - \frac{A}{(B+1)\rho^{\alpha+1}} \right]^{(R-1)/R}$$

$$R = (B+1)(\alpha+1)$$



On the thermodynamic stability of the modified Chaplygin gas
Santos, Bedran e Soares, PLB 646, 5-6 (2007) 215-221

Gás de Chaplygin modificado na Cosmologia

A métrica de um universo homogêneo e isotrópico no modelo de Friedmann-Robertson-Walker é dada por

$$ds^2 = dr^2 - a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right]$$

onde $a(t)$ é o fator de escala e $k (=0, \pm 1)$ é o fator de curvatura.

As equações de Einstein são:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{k}{a^2} = \frac{1}{3}\rho; \quad \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{1}{6}(\rho + 3P)$$

Gás de Chaplygin modificado na Cosmologia

As equações de Einstein são:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{k}{a^2} = \frac{1}{3}\rho; \quad \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{1}{6}(\rho + 3P)$$

Para o GCG:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{\rho}{6} \left(1 + 3 \frac{P}{\rho} \right) = -\frac{\rho}{6} \left(1 - 3 \frac{A}{\rho^{\alpha+1}} \right) > 0; \quad \rho \sim A^{1/(\alpha+1)}$$

Para o GCM:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{\rho}{6} \left(1 + 3 \frac{P}{\rho} \right) = -\frac{\rho}{6} \left(1 - 3 \frac{[A/(B+1)]}{\rho^{\alpha+1}} \right) > 0; \quad \rho \sim \left[\frac{A}{B+1} \right]^{1/(\alpha+1)}$$

Conclusões

- Antes de tudo, considero que não se deve falar sobre os **segredos da natureza** [...] sob pena de todos ficarem sabendo.
- [...] Ora, a causa deste sigilo entre a gente sábia é o desdém e a negligência dos **segredos** pelos que não sabem usar dessas coisas que são das mais excelentes.
- [...] De modo que, pior que louco é quem publica qualquer **segredo**, a menos que o oculte da multidão, e de tal modo o transmita que mesmo o estudioso e letrado o compreenda a custo.
- *Essa tem sido a conduta que gente sábia tem observado desde o início, e que, por meios vários, tem ocultado os segredos da sabedoria da gente comum.*



Roger Bacon (c. 1212-94)
De secretis operibus artis et naturae, et de nullitate magiae,
sec XIII. [Trad. como “The Art
and Nature” em *The Mirror of
Alchemy*. Londres, 1975.]

Conclusões

- *Saper Vedere* (“saber ver”) era a chave para desvendar as criações naturais e, com esse conhecimento, imaginar e projetar mecanismos que reproduzam as características naturais em que estamos interessados.



Leonardo da Vinci (1452 -1519). Arquiteto, inventor, engenheiro, escultor e pintor da Renascença italiana. Considerado o arquétipo do homem da Renascença.

Conclusões

- **Primeira Lei**
 - Quando um cientista consagrado afirma que alguma coisa é possível, ele estará quase certamente correto. Quando ele afirma que alguma coisa é impossível, ele estará muito provavelmente errado.
- **Segunda Lei**
 - A única maneira de descobrirmos os limites do possível é nos aventurarmos um pouquinho além, na direção do impossível.
- **Terceira Lei**
 - Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível da mágica.



Sir Arthur Clarke, CBE
Chancellor, University of
Moratuwa, Sri Lanka;
Chancellor, International Space
University;
Patron, Arthur C. Clarke
Institute for Modern
Technologies.

•Arthur C, Clarke, *Profiles of the Future*