



Experimentos importantes en la
Historia de la Física

Termodinámica

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019

Primera locomotora de vapor (1825)

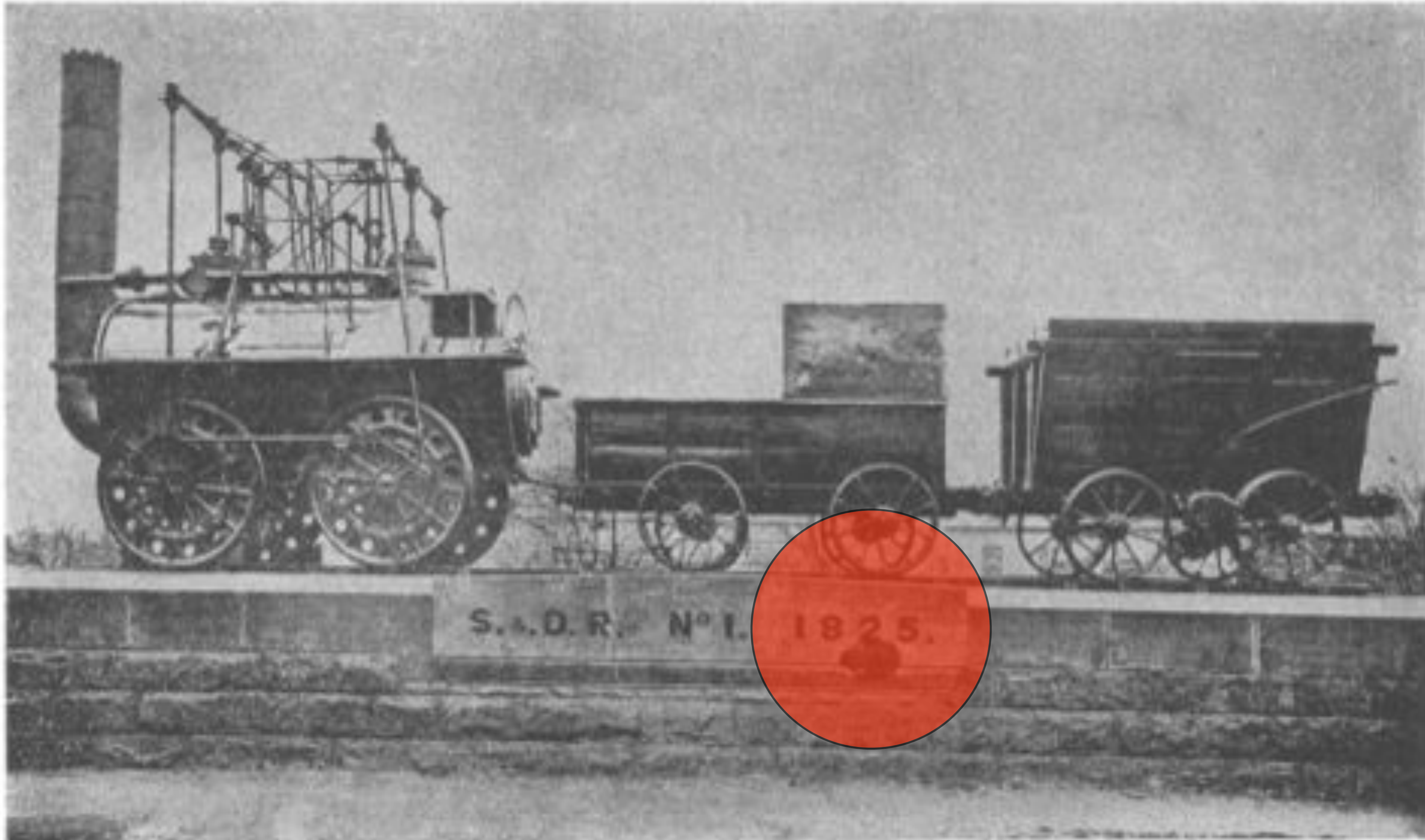


PLATE 2. The first locomotive used on a public railway.

Transporte de pasajeros

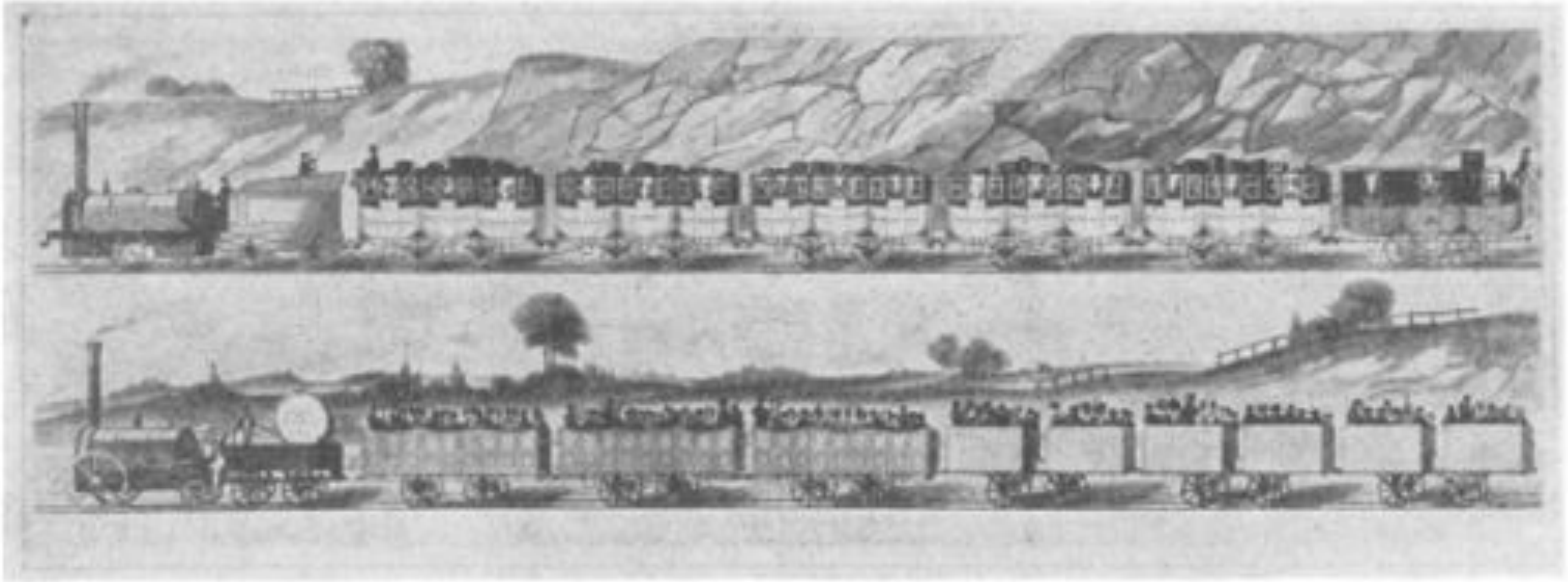


PLATE 1. Trains for passengers.



Joseph M W Turner.
Lluvia, vapor y velocidad



Joseph M W Turner.
Remolcador de vapor

Experimentos importantes en la historia de la física

Termodinámica

Thomas Savery. La fuerza del vacío y la fuerza del vapor

Robert Boyle. Ecuación de los gases

Julius Mayer. Experimentos numéricos

James Joule. Equivalente mecánico del calor

James Joule y William Thomson. Enfriamiento de gases

James y William Thompson. Regelación

Experimentos importantes en la historia de la física

La fuerza del vacío y la fuerza del vapor

Pistón neumático

Nube en botella

Molinete térmico. La revolución industrial

Balancín térmico. Principio de Pierre Curie

Cubo de Leslie. Color de las superficies

Efecto Seebeck. Termoelectricidad

Radiómetro de Crookes.

Pájaro bebedor. Mínimo de la función de Gibbs

Hielo y sal. Fabricando helados

Efectos térmicos producidos por efectos mecánicos

Aparato de Tyndall



El agua contenida en el recipiente hierve y aumenta tanto su presión, que hace saltar el tapón que cierra el recipiente.

John Tyndall

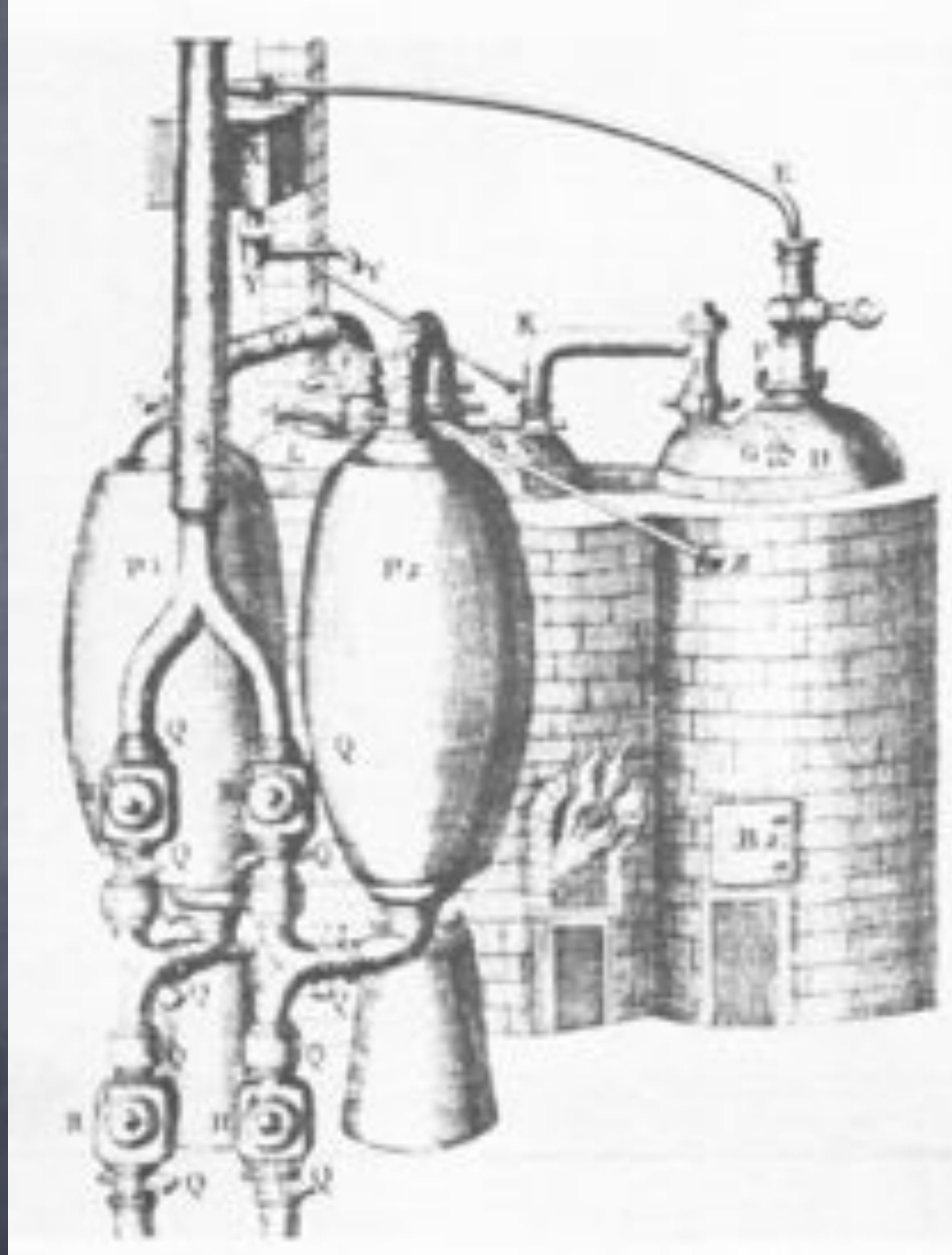


"The Scientific Use of the Imagination"
[From *Vanity Fair*, April 6, 1872]

Thomas Savery (1650-1715)



El amigo del minero



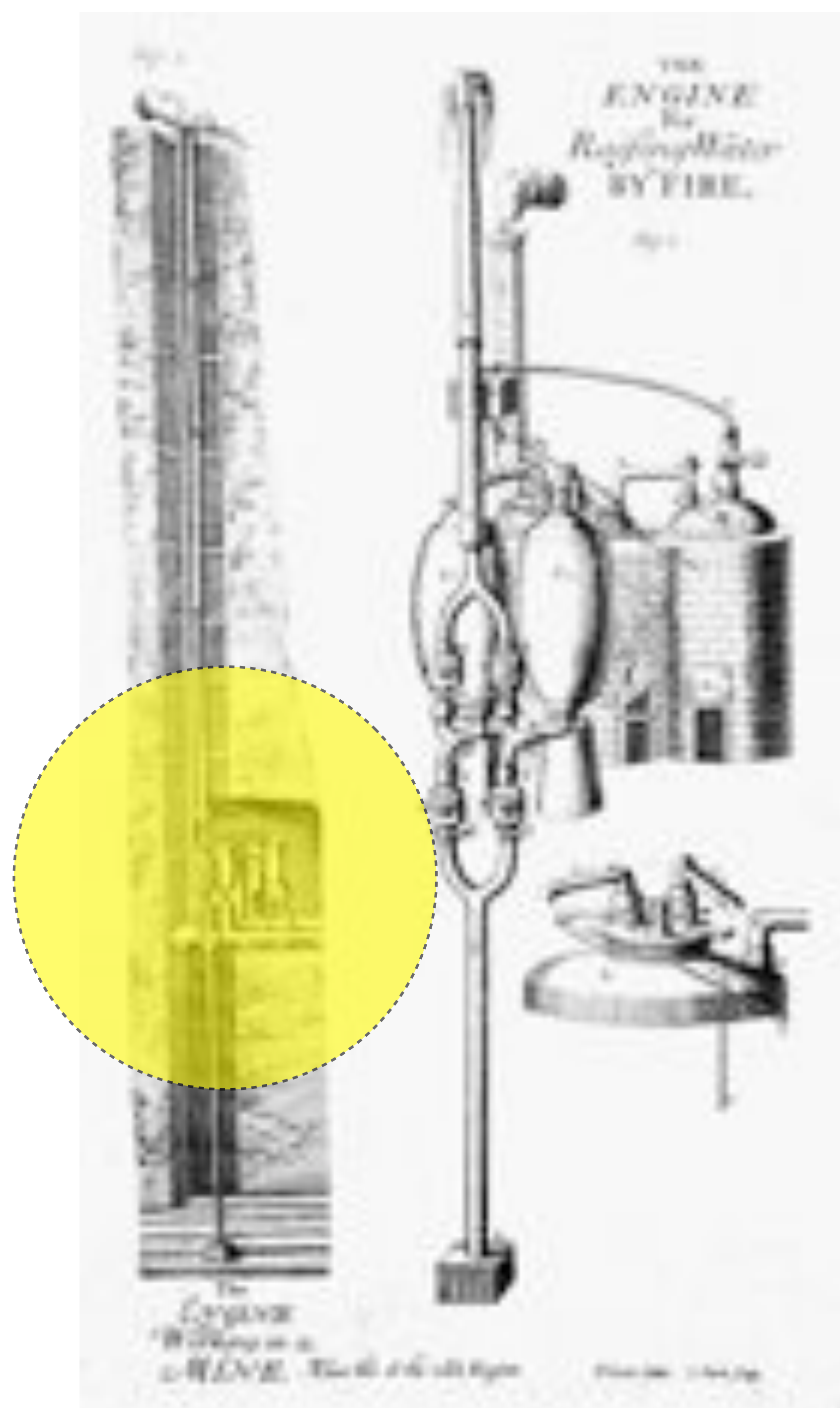
Thomas Savery

El amigo del minero.

Colocada en el interior de la mina, la máquina de Savery puede elevar el agua 11 metros gracias a la fuerza del vacío.

Aumentando la presión del vapor, puede elevar el agua 11 metros por cada sobrepresión de una atmósfera.

Hay que quemar carbón para elevar el agua.



Thomas Savery

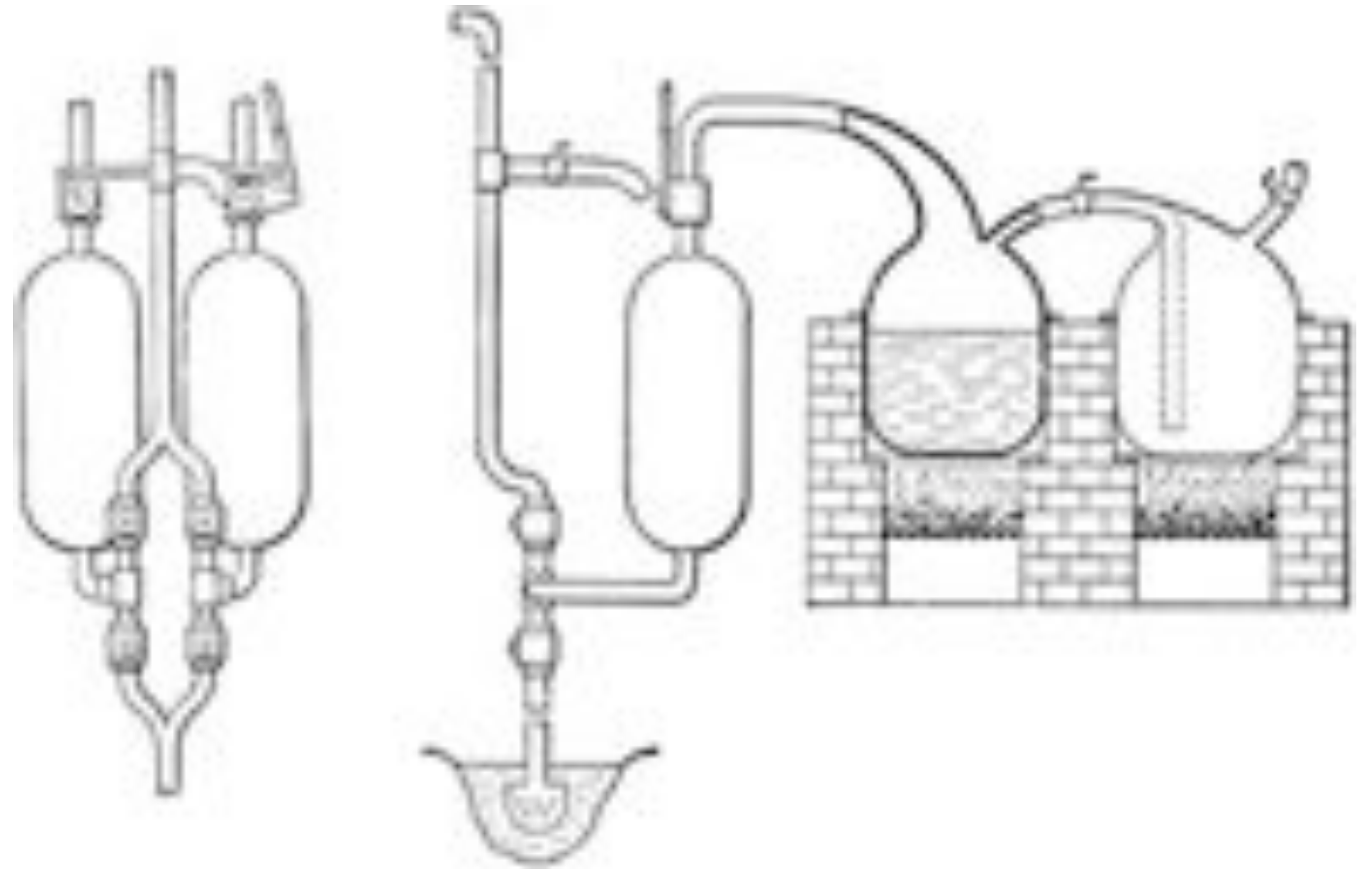
El amigo del minero.

Dos recipientes son alternativamente utilizados para hacer la fuerza del vacío y elevar agua del fondo de la mina y para hacer la fuerza del vapor y elevar el agua fuera de la mina.

Esta máquina no llegó a utilizarse en las minas

Se utilizó para elevar agua en algunas casas de Londres, hacia el año 1700.

Consume menos que una persona (que, al menos, necesita comer).

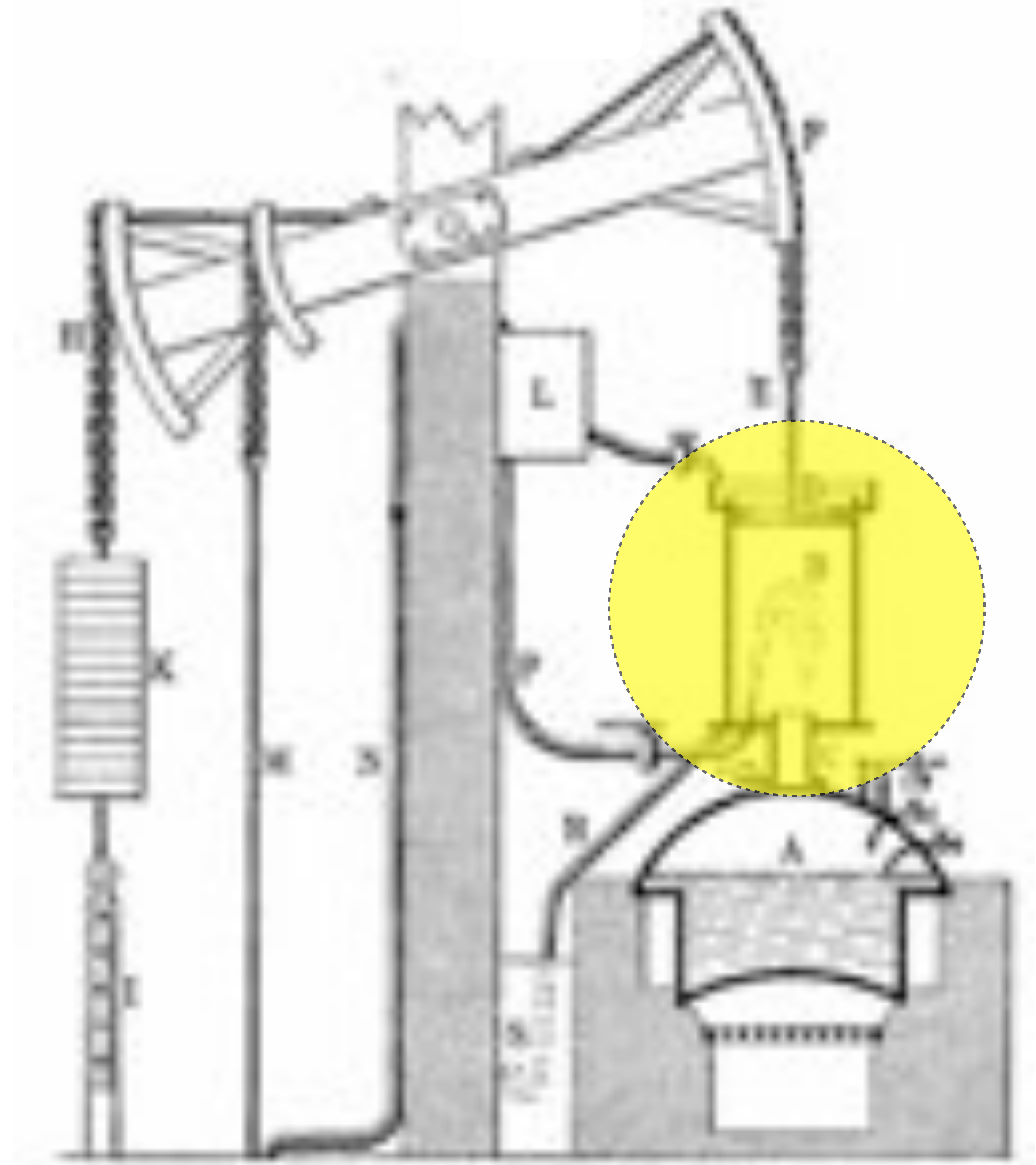


Thomas Newcomen

Máquina de vapor de Newcomen.

Dotada de un **émbolo móvil**, capaz de mover un mecanismo oscilatorio, la máquina funcionaba haciendo entrar vapor en un cilindro, elevando el émbolo, y enfriarlo a continuación, con un chorro de agua, haciendo descender el émbolo.

Esta máquina se utilizó para extraer agua de algunas minas hasta principios del siglo XX y algunas siguen funcionando hoy día.



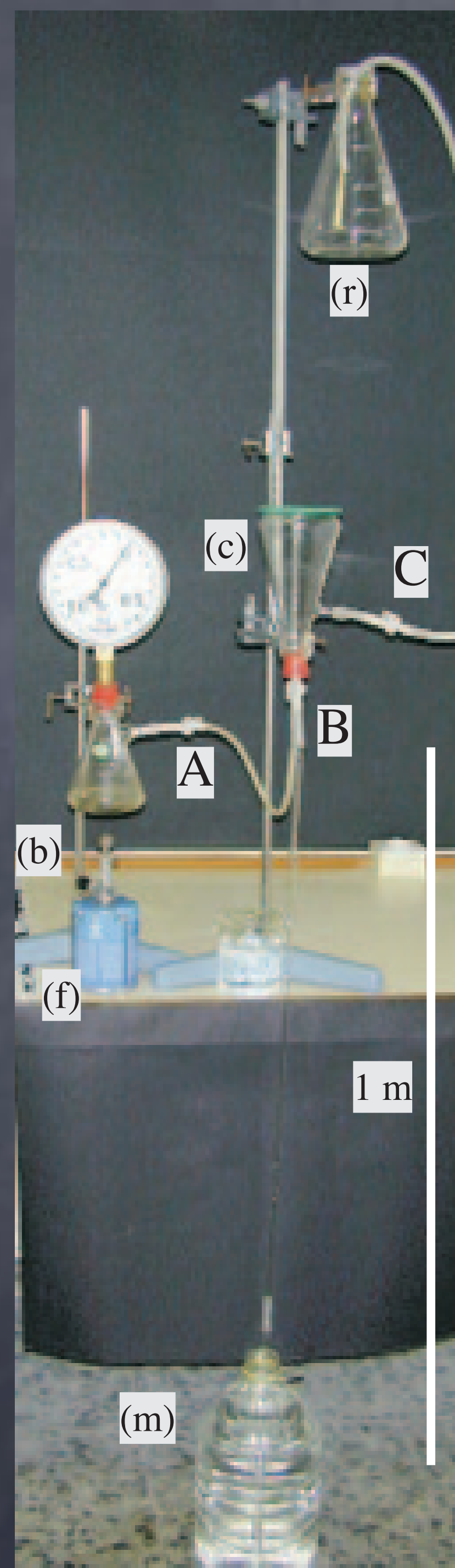
Experimento. La fuerza del vapor y la fuerza del vacío



Savery



Savery



Thomas Savery. Máquinas térmicas



Joseph Black (1728-1799)

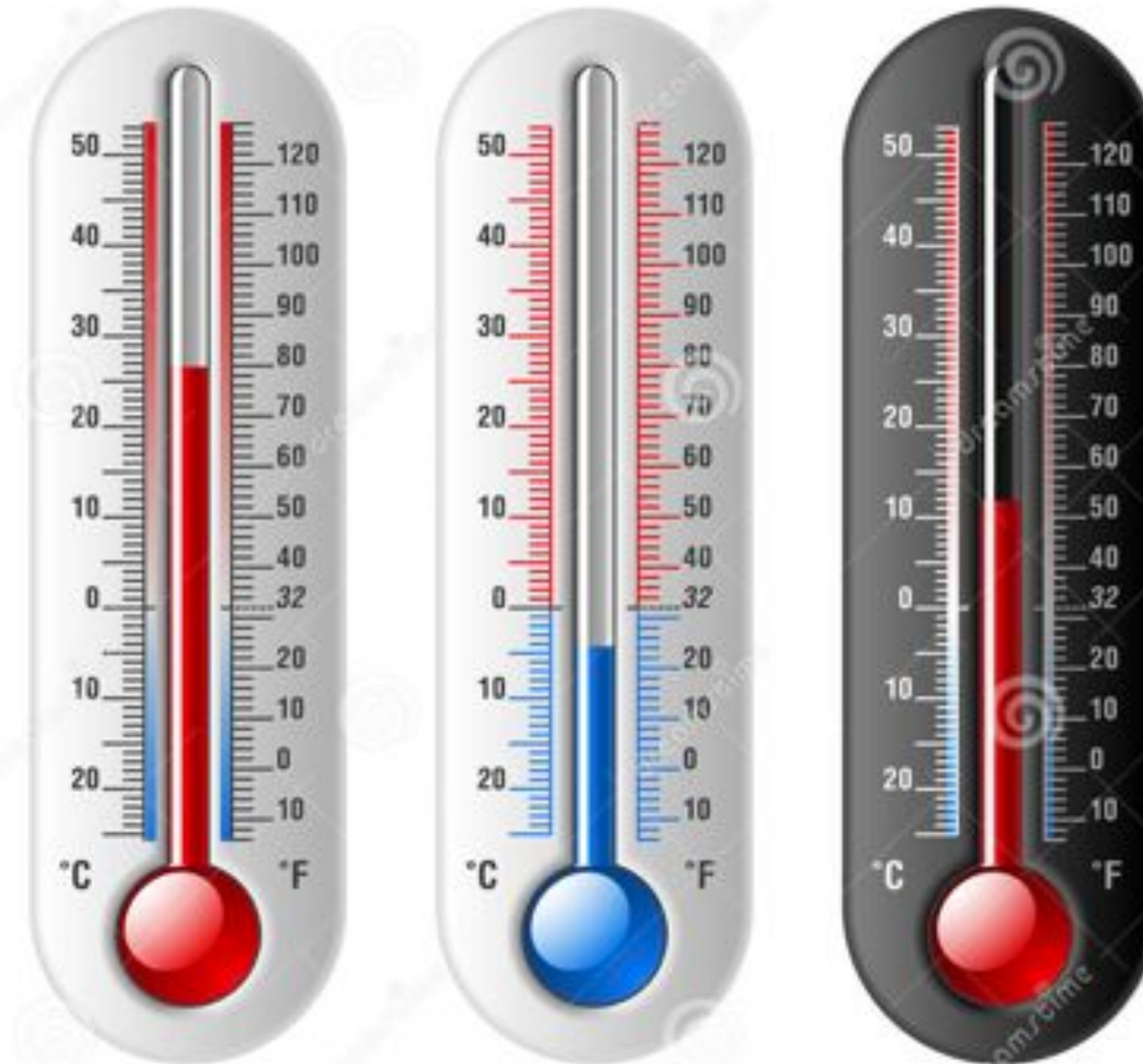


Joseph Black



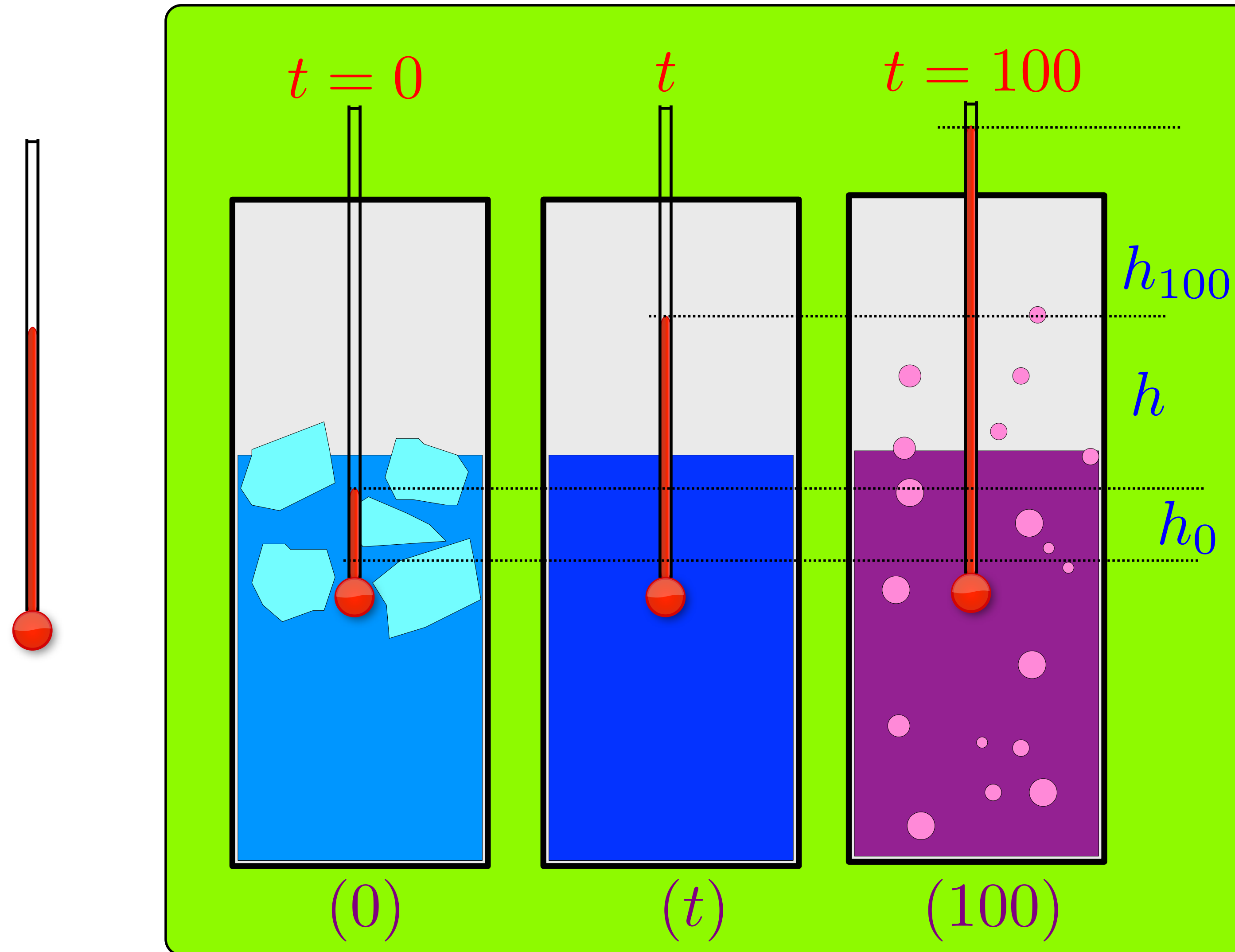
Lecturing. [Caricature by John Kay.]

¿Qué es la temperatura?



La temperatura empírica es lo que marca un termómetro correctamente construido.

Escalas de temperatura. Termómetros



Temperatura empírica.

Escala Celsius de dos puntos fijos. Se utilizan dos puntos fijos, el punto del hielo (0), que se elige como 0°C , y el punto de vapor (100), que se escoge como 100°C , para construir la escala Celsius empírica de temperaturas.

Escalas de temperatura. Termómetros

$$t(h) = 100 \frac{h - h_0}{h_{100} - h_0}$$

Temperatura empírica.

Escala Celsius de dos puntos fijos. Se utilizan dos puntos fijos, el punto del hielo (0), que se elige como 0 °C, y el punto de vapor (100), que se escoge como 100 °C, para construir la escala Celsius empírica de temperaturas.

Teoría del calórico

La suposición fundamental de la teoría del calórico es la idea de que el **calor** es un efecto producido por un fluido capaz de penetrar todo el espacio y de fluir hacia y desde todas las sustancias.

Tal fluido incoercible --Tres eran los fluidos incoercibles, es decir, que no se pueden mantener encerrados en un recipiente, en la Física del siglo XVIII: el **calórico**, la **luz** y el **eter**. Otros fluidos, como el fluido eléctrico o el fluido magnético, también se estudiaban-- se denomina calórico.

Las hipótesis más importantes de la acción del calórico son que es un fluido auto-repulsivo que, a su vez, es fuertemente atraído por la materia.





Laboratorio de Lavoisier

Teoría del calórico

La materia se supone compuesta por partículas discretas atraídas entre sí mediante una fuerza gravitacional atractiva. Para evitar la conclusión de que si sólo actuara esta fuerza la materia se debería encontrar fuertemente compactada, se postula una fuerza repulsiva debida al calórico adherido a cada una de las partículas que forman la materia.

Esta hipótesis supone adoptar previamente la hipótesis atómica de la materia, o al menos, la discontinuidad de la misma.

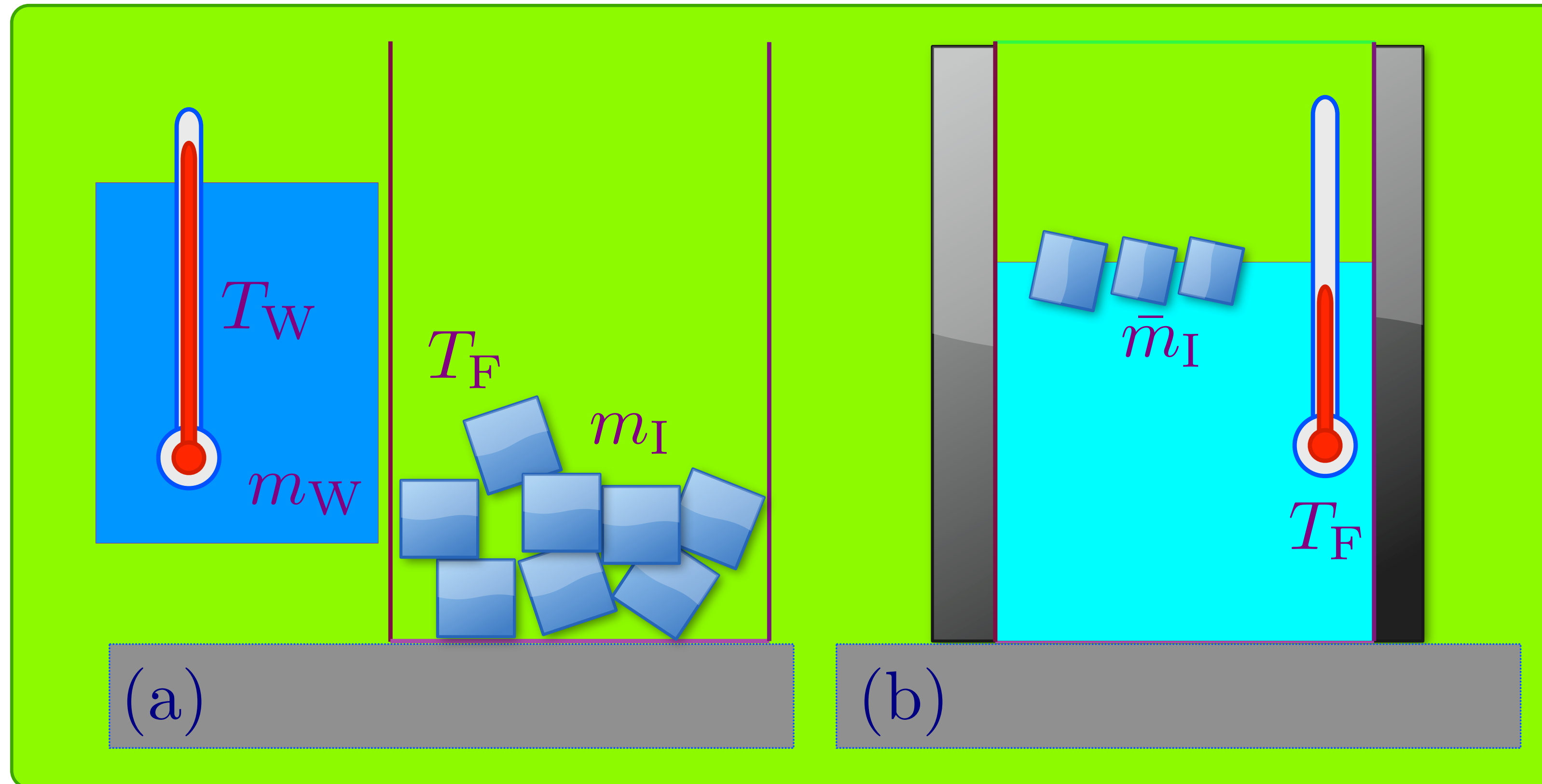
La teoría del calórico permite explicar de forma sencilla algunos hechos experimentales.

Joseph Black

$$q_V = 450c_W$$

J. Black introdujo el concepto de **calor latente** para explicar el hecho de que en una transición de fase -- fusión del hielo, ebullición del agua, etc.-- un sistema puede ganar o perder calor sin que varíe su temperatura. Experimentalmente obtuvo que el **calor latente de ebullición del agua**, la cantidad de calor necesaria para convertir en vapor 1 gramos de agua, es igual a 450 veces el calor específico del agua, la cantidad de calor necesaria para que 1 gramo de agua eleve su temperatura en un grado Celsius.

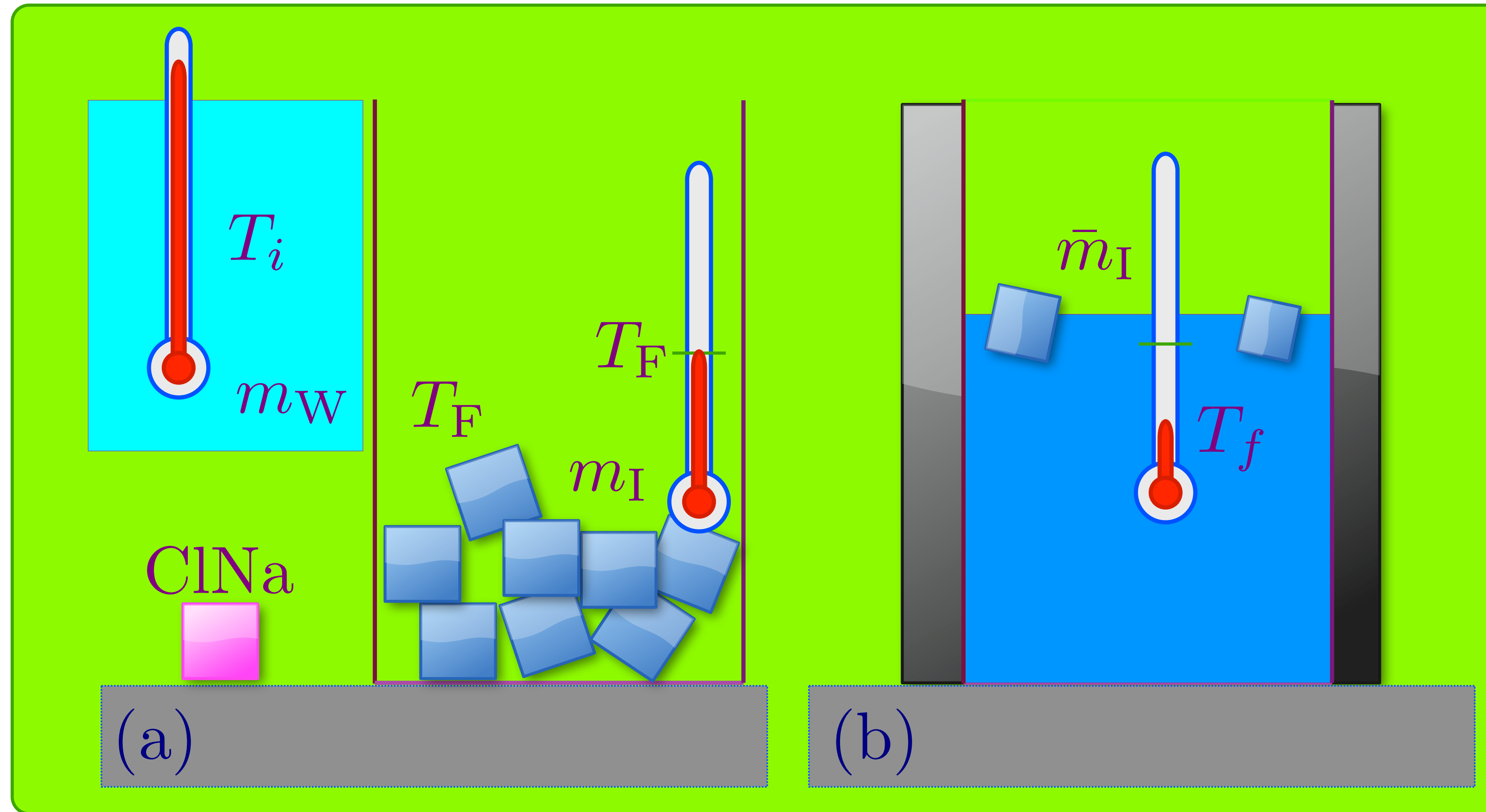
Joseph Black



Dispositivo experimental para medir el calor latente de fusión del hielo. (a) Masas conocidas de agua y de hielo, a temperatura conocida, (b) se mezclan en un calorímetro adiabático, midiéndose la temperatura final y la masa de hielo que queda sin fundir.

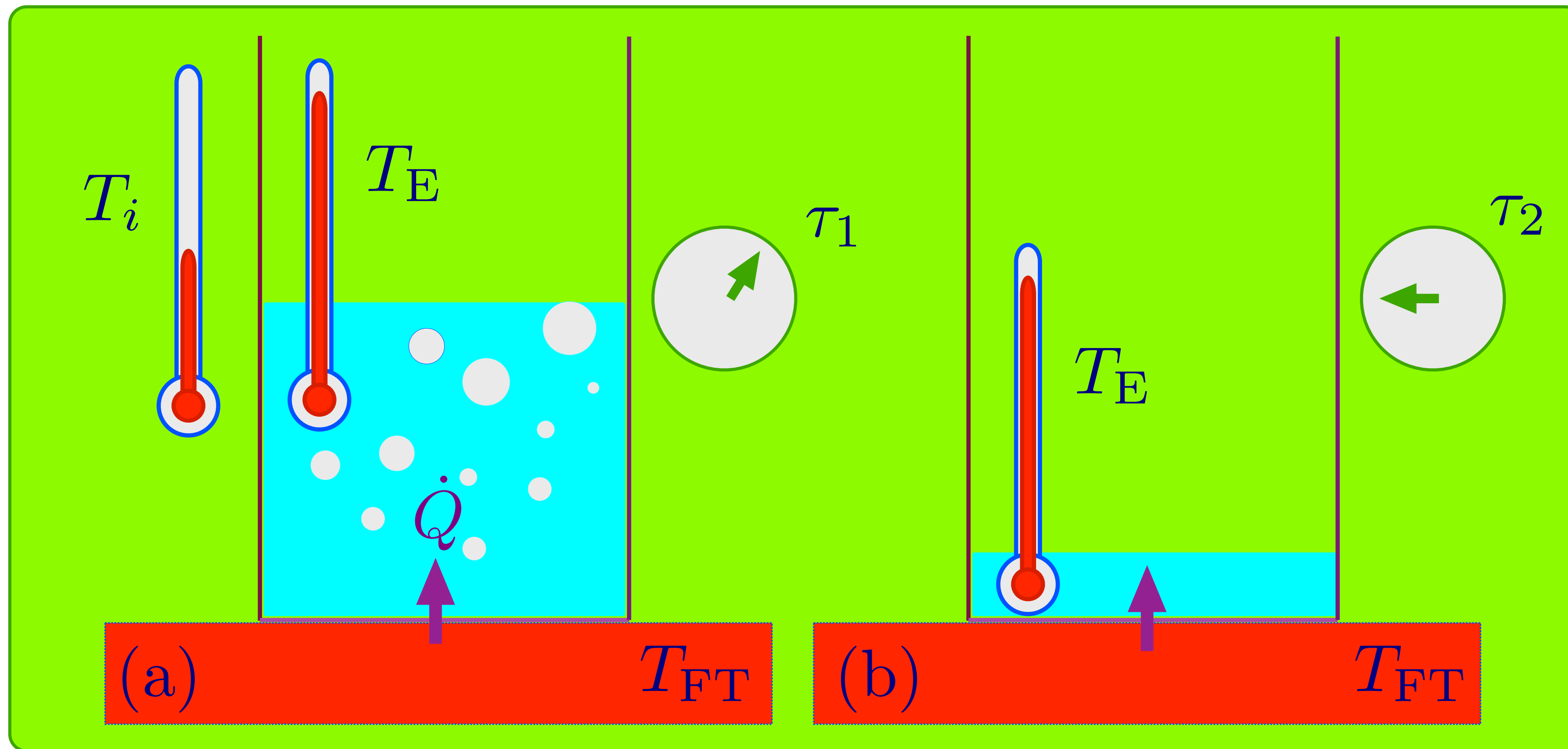
Black también obtuvo experimentalmente que el calor latente de ebullición del hielo, la cantidad de calor necesaria para convertir en agua 1 gramo de hielo, es igual a 80 veces el calor específico del agua, la cantidad de calor necesaria para que 1 gramo de agua eleve su temperatura en un grado Celsius.

Joseph Black



Cuando a una cierta cantidad de hielo, a su temperatura de fusión, se le añade sal común (cloruro sódico), parte del hielo funde, la sal se disuelve y el conjunto puede llegar a alcanzar temperaturas (si el recipiente se encuentra bien aislado) próximas a los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Joseph Black



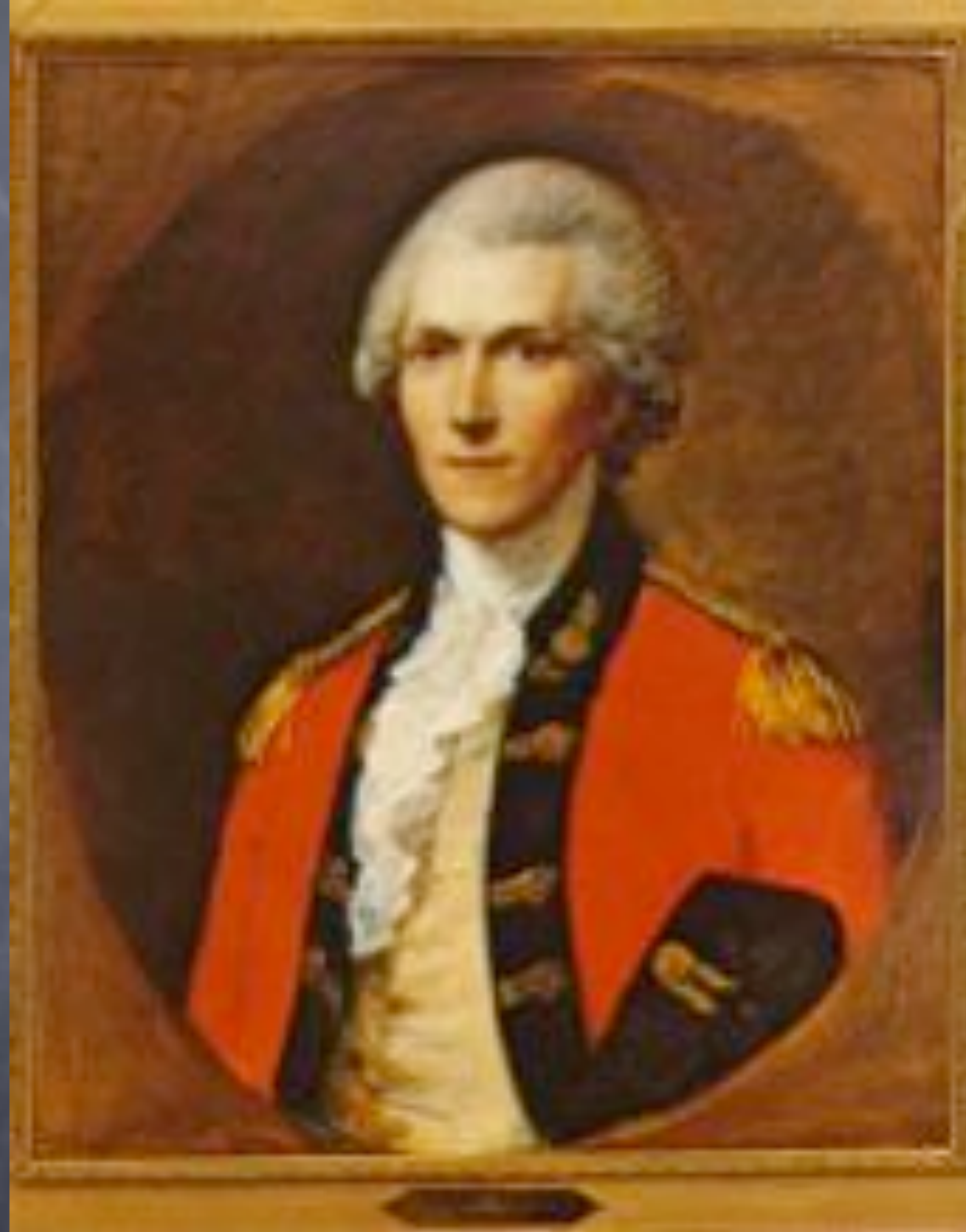
Esquema de montaje experimental de Black para medir el calor latente de ebullición del agua en función de su calor específico. (a) Recipiente plano, de cobre, con agua y en contacto con la placa calefactora. Con el calefactor ya caliente, disipando energía eléctrica de forma estacionaria, se mide el tiempo, τ_1 , hasta que el agua alcanza la temperatura de ebullición. (b) Se mide el tiempo τ_2 , que el agua tarda en evaporar por completo.

Experimento. Mezclas de hielo y sal.

Josiah W Gibbs (1839-1903)



Count Rumford (1753-1814)



Count Rumford



Caricature of Count Rumford by James Gillray.

Calor por fricción

Experiencia de producir fuego frotando dos maderas secas.

Se frotan dos maderas secas y se consiguen virutas a temperatura tan alta que, con ayuda de yesca seca, se puede producir fuego (800 °C).

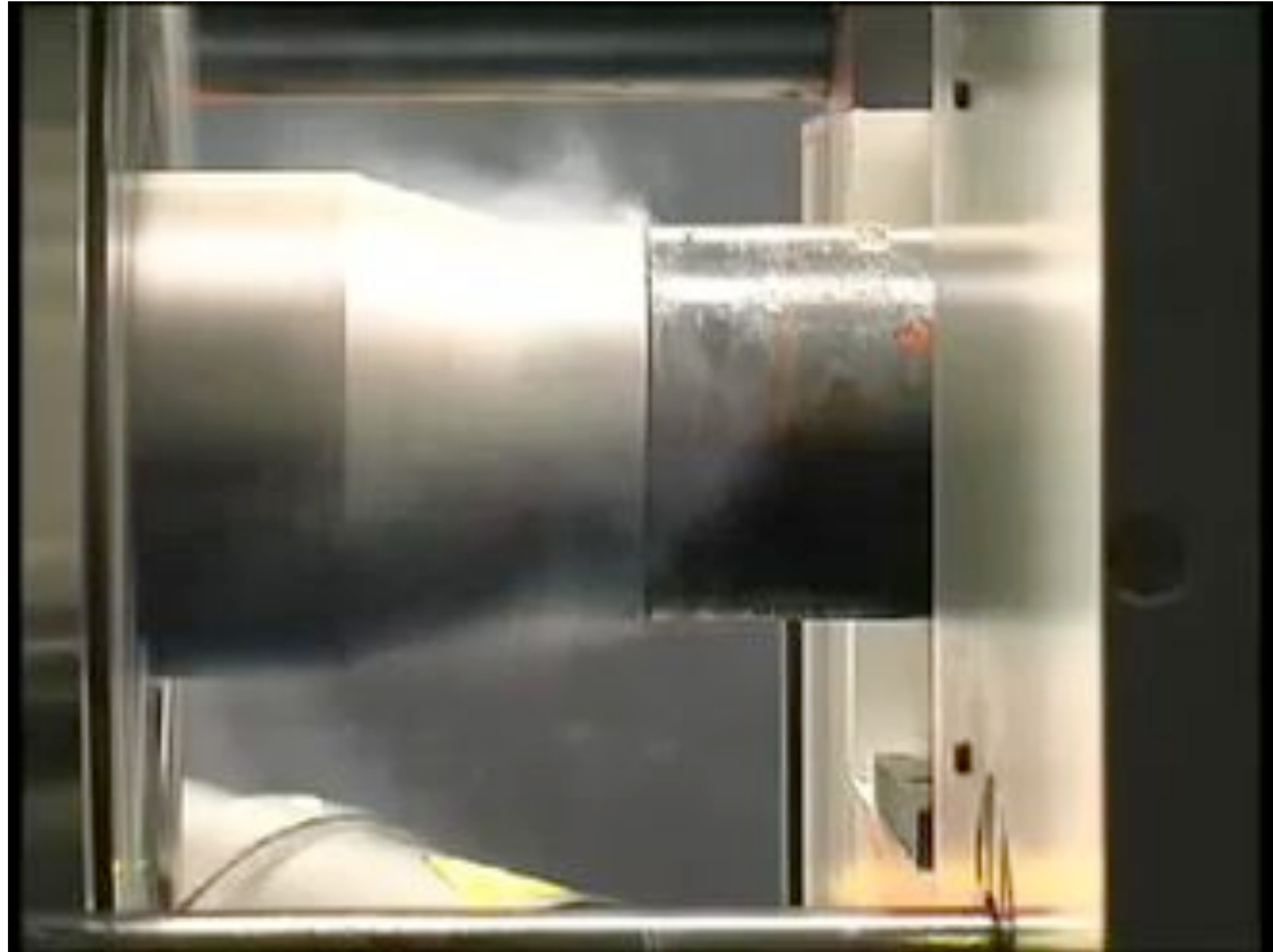


Aumento de temperatura por fricción entre dos cuerpos que giran.

Count Rumford

Cuando dos superficies metálicas se hacen girar rápidamente y rozar, el calor producido es tan grande que los metales llegan a fundirse y a unirse.

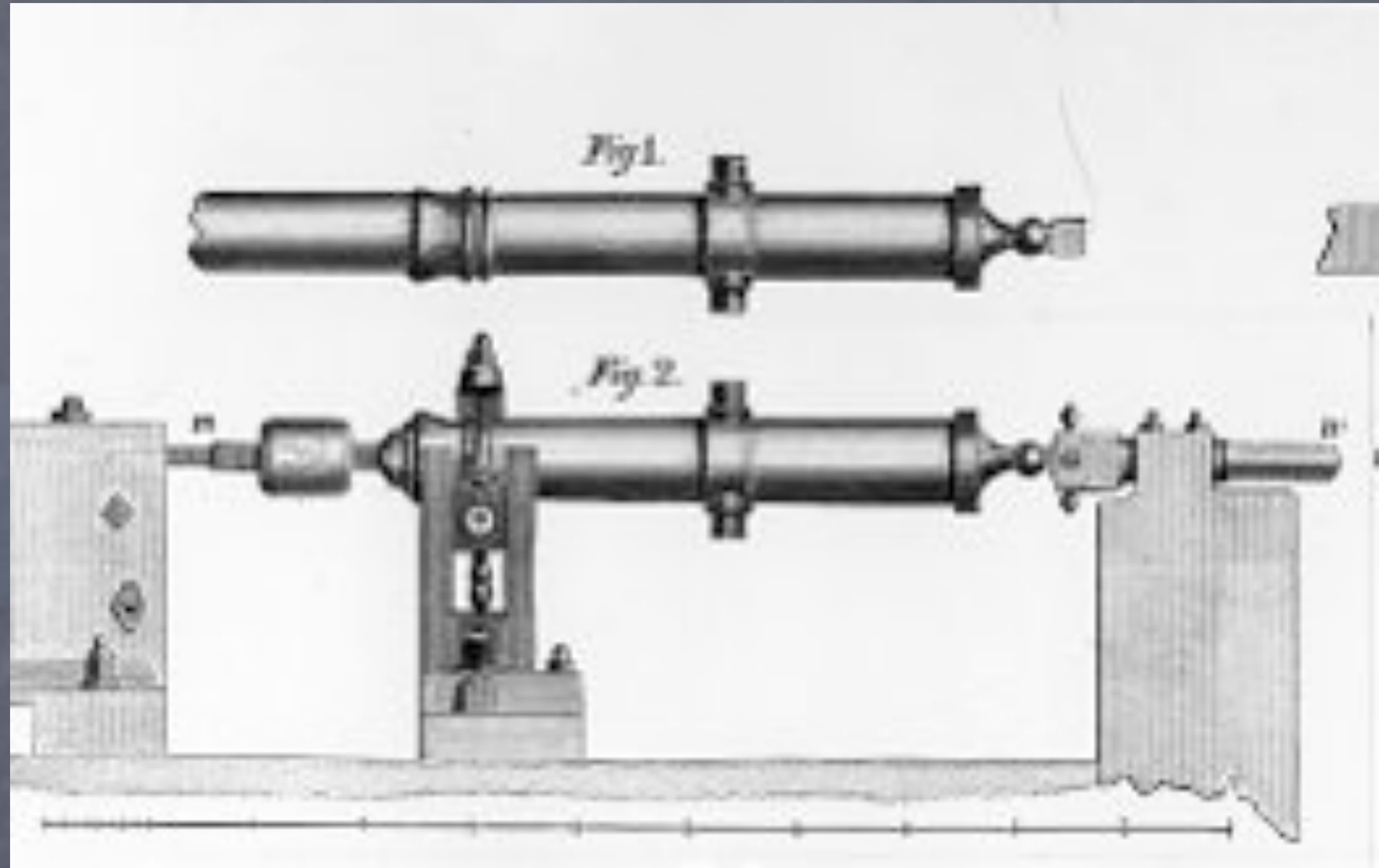
Torno del dentista. Hay que añadir mucha agua para que la broca que gira no aumente la temperatura del diente.



Experiencia de torneear el
ánima de un cañón.

A medida que se va
perforando el ánima de
un cañón -- con una broca
poco afilada -- utilizando
la fuerza de dos caballos
para hacerlo, la
temperatura del cañón --
y la del agua que lo rodea
-- va aumentando hasta
llegar a hervir.

Cuando los caballos
dejan de girar, la
temperatura del cañón
deja de subir y el agua
cesa en su ebullición.



Count Rumford

Experiencia de tornear el
ánima de un cañón.

A medida que se va
perforando el ánima de
un cañón -- con una
broca poco afilada --
utilizando la fuerza de
dos caballos para
hacerlo, la temperatura
del cañón -- y la del agua
que lo rodea -- va
aumentando hasta llegar
a hervir.

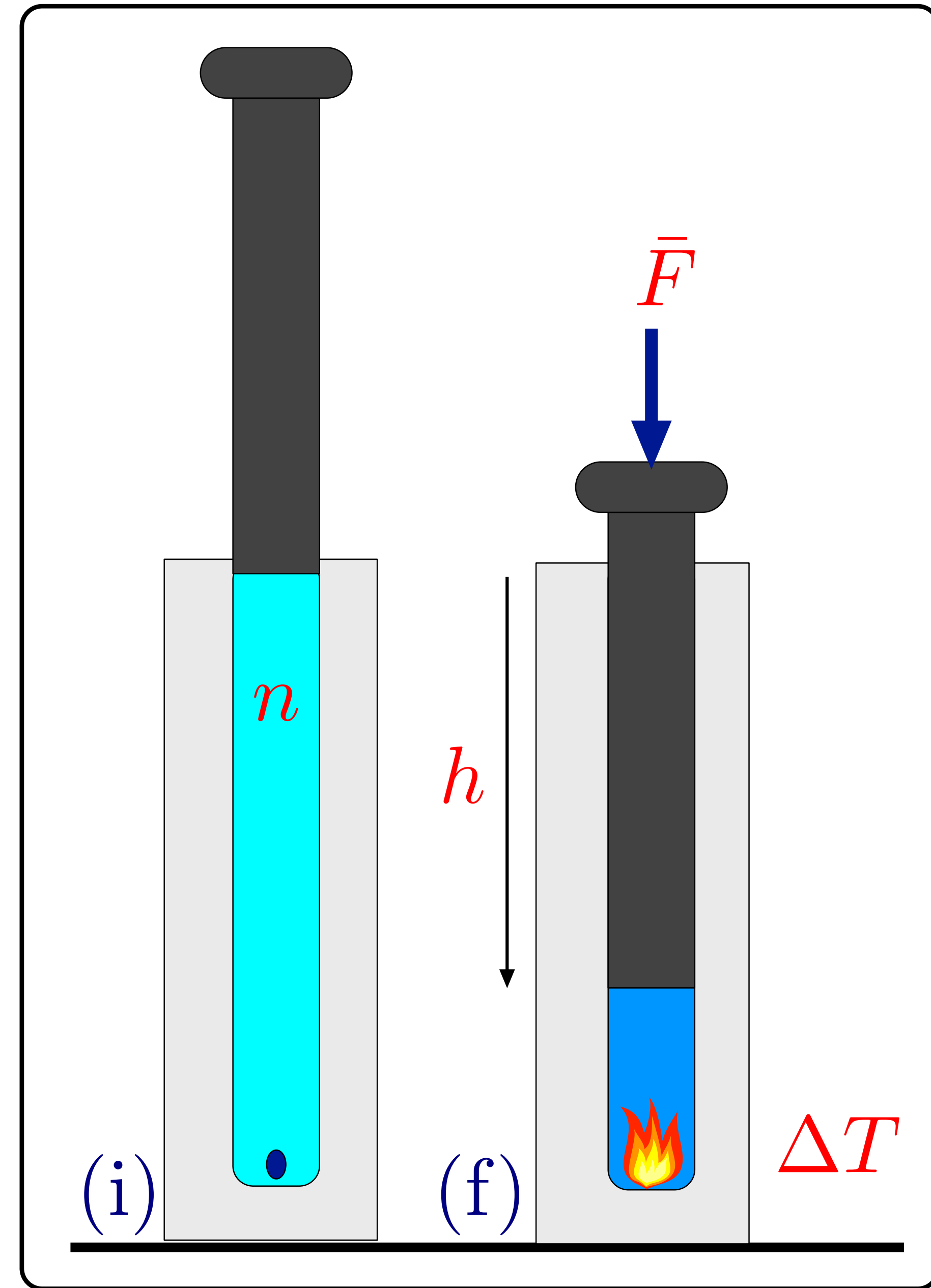
Cuando los caballos
dejan de girar, la
temperatura del cañón
deja de subir y el agua
cesa en su ebullición.



Pistón neumático

Se coloca un trozo de algodón (celulosa) dentro de un tubo cerrado por su base y cerrado por un pistón móvil (émbolo) en su parte superior.

Cuando el émbolo se desplaza bruscamente y se comprime el gas contenido en el tubo, se observa la formación de una llama.



¿Cómo funciona un frigorífico?

Pistón neumático

Se coloca un trozo de algodón (celulosa) dentro de un tubo cerrado por su base y cerrado por un pistón móvil (émbolo) en su parte superior.

Cuando el émbolo se desplaza bruscamente y se comprime el gas contenido en el tubo, se observa la formación de una llama.



Cuando un gas se comprime bruscamente, aumenta su temperatura. Eso es lo que sucede en el serpentín trasero y exterior de un frigorífico

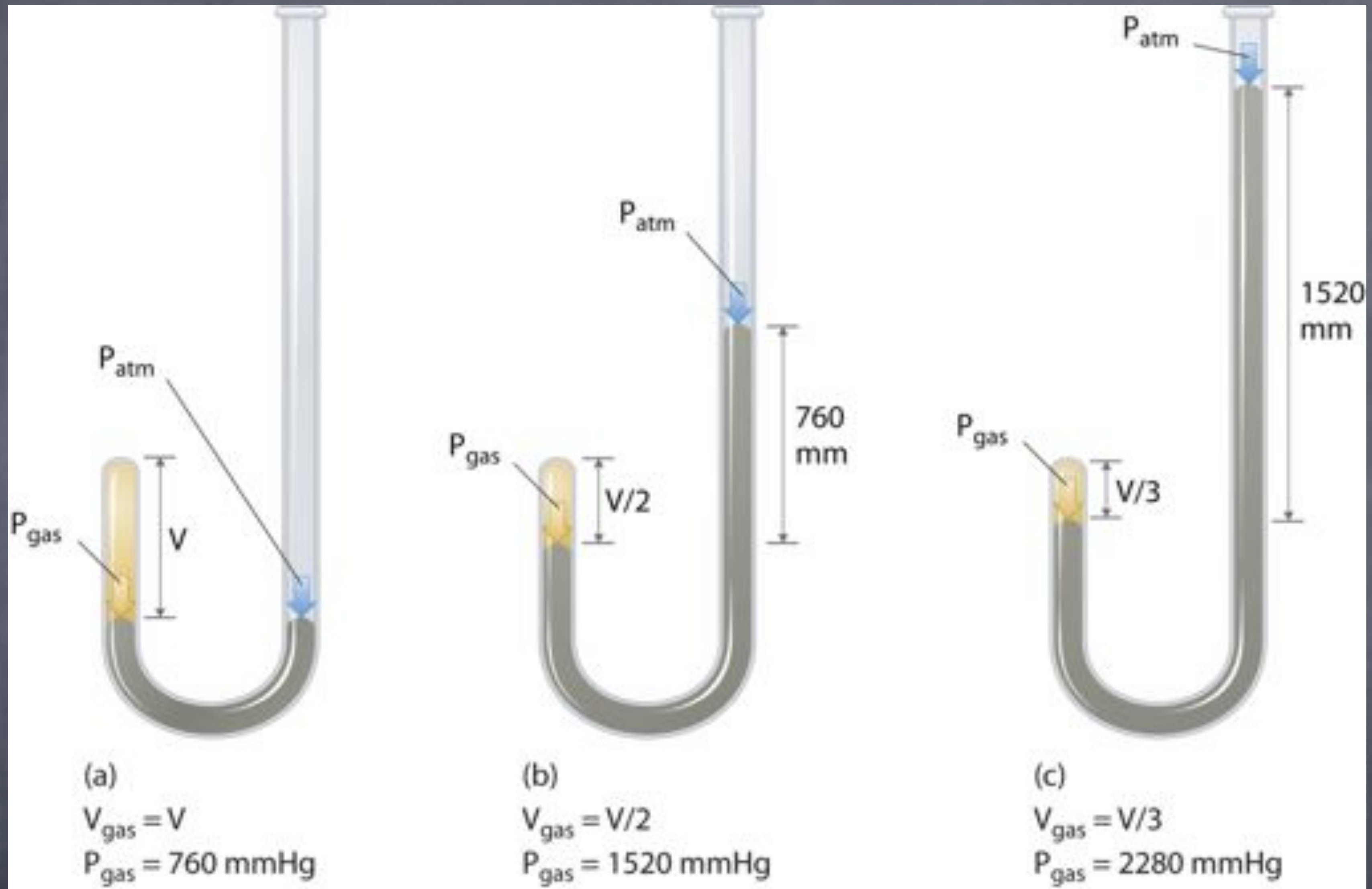
Experimento. Encendedor neumático



Robert Boyle (1627-1691)



Robert Boyle. Experimentos con gases



Robert Boyle. Experimentos con gases



Robert Hooke. Bomba de vacío

Robert Boyle. Experimentos con gases

A table of the compressions of the air.

A	B	C	D	E
21.00	100	100	100	100
20.00	100.5	100.5	100.5	100.5
19.00	101.0	101.0	101.0	101.0
18.00	101.5	101.5	101.5	101.5
17.00	102.0	102.0	102.0	102.0
16.00	102.5	102.5	102.5	102.5
15.00	103.0	103.0	103.0	103.0
14.00	103.5	103.5	103.5	103.5
13.00	104.0	104.0	104.0	104.0
12.00	104.5	104.5	104.5	104.5
11.00	105.0	105.0	105.0	105.0
10.00	105.5	105.5	105.5	105.5
9.00	106.0	106.0	106.0	106.0
8.00	106.5	106.5	106.5	106.5
7.00	107.0	107.0	107.0	107.0
6.00	107.5	107.5	107.5	107.5
5.00	108.0	108.0	108.0	108.0
4.00	108.5	108.5	108.5	108.5
3.00	109.0	109.0	109.0	109.0
2.00	109.5	109.5	109.5	109.5
1.00	110.0	110.0	110.0	110.0
0.00	110.5	110.5	110.5	110.5

A. The number of equal parts in the shorter leg, that contained the same quantity of air directly extended.

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

C. The height of the mercury in the shorter leg, that contained the pressure of the atmosphere.

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

E. What the pressure should be according to the hypothesis, that supposes the pressure and extension to be in reciprocal proportion.

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

1. That the tube being in use, that we could not conveniently make use of it in a chamber, we were fain to use it on a pair of scales, which yet were very lightness, the error being for preservation's sake by being its dependence, that is did have more the less probably to be avoided.

2. The lower unobscured part of the pipe was placed in a box of wood, of a good breadth and depth, to prevent the loss of the equilibrium, that might fall upon the translation from the wall into the pipe, and to receive the whole quickly in case the tube should break.

3. That we were fain to make the observation together, the one to take notice of the balance, the other to observe the state of 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 equilibrium was proved to last by trials and trials, according to the direction of how the column below, is being for better or worse in some, than in others any, or such was much of what had been proved to.

Robert Boyle. Experimentos con gases

A	B	C	D	E
48	00		29 2/16	29 2/16
46	01 7/16	P_{atm}	30 9/16	30 6/16
44	02 13/16		31 15/16	31 12/16
42	04 6/16		33 8/16	33 1/7
40	06 3/16	$29\frac{2}{16}$	35 5/16	35
38	07 14/16		37	36 15/19
36	10 2/16		39 5/16	38 7/8
34	12 8/16		41 10/16	41 2/17
32	15 1/16		44 3/16	43 11/16
30	17 15/16		47 1/16	46 3/5
28	21 3/16		50 5/16	50
26	25 3/16		54 5/16	53 10/13
24	29 11/16		58 13/16	58 2/8
23	32 3/16		61 5/16	60 10/23
22	34 15/16		64 1/16	63 6/11
21	37 15/16		67 1/16	66 4/7
20	41 9/16		70 11/16	70
19	45		74 2/16	73 11/19
18	48 12/16		77 14/16	77 2/3
17	53 11/16		82 12/16	82 4/17
16	58 2/16		87 14/16	87 3/8
15	63 15/16		93 1/16	93 1/5
14	71 5/16		100 7/16	99 6/7
13	78 11/16		107 13/16	107 7/13
12	88 7/16		117 9/16	116 4/8

Robert Boyle. Ecuación de los gases

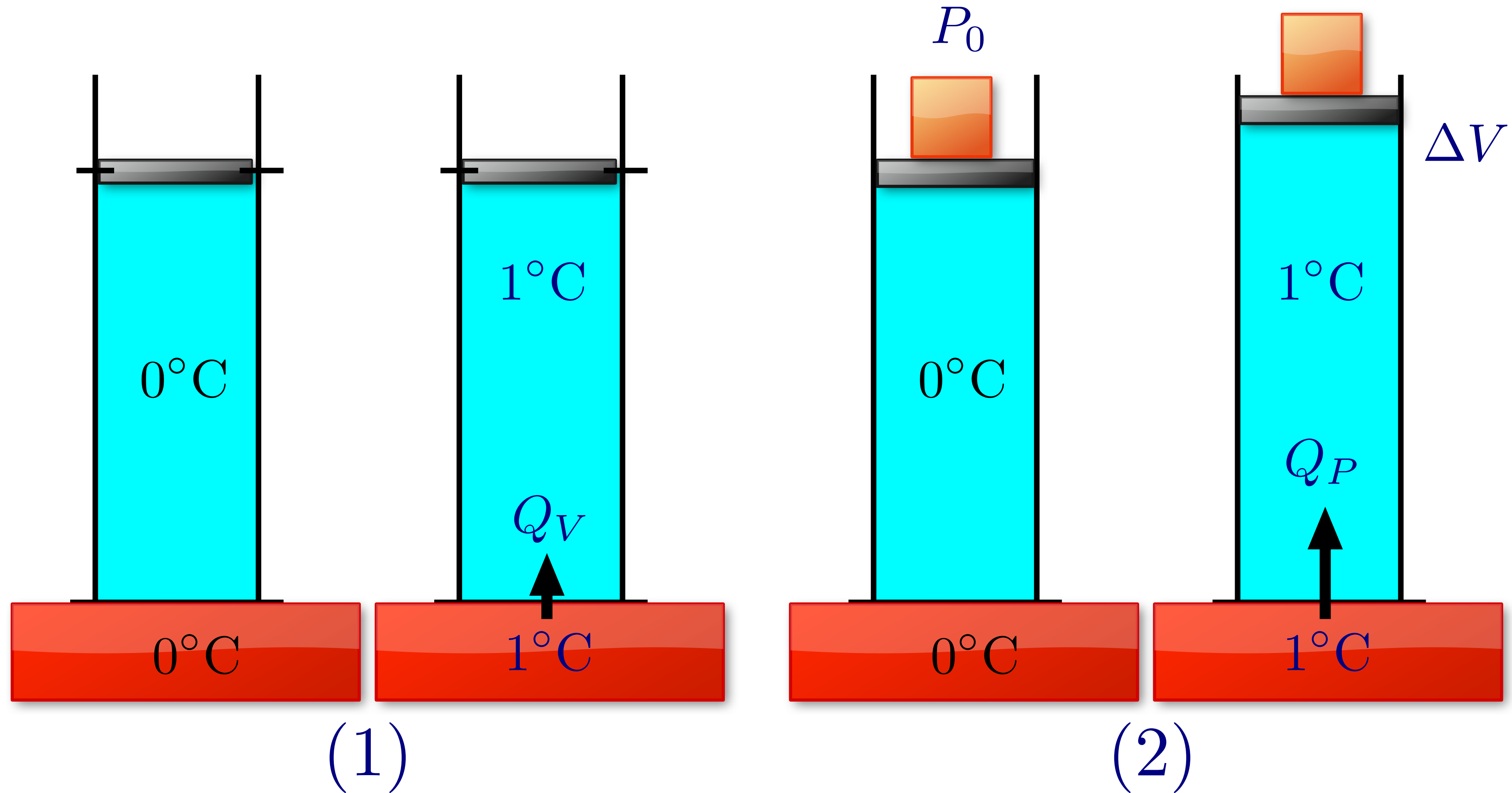


Robert J Mayer (1845)



Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum.

Experiencias imaginadas de Mayer



Mayer analiza, física y matemáticamente, el calentamiento de un gas en condiciones (1) de volumen constante y (2) de presión constante.

La diferencia entre los calores necesarios para aumentar en 1 grado Celsius la temperatura del gas es igual al trabajo necesario para aumentar el volumen del gas contra la presión ejercida, en el segundo caso.

Experiencias de Mayer. Datos disponibles

Capacidad calorífica a presión constante

$$c_P = 0,267 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Capacidad calorífica a volumen constante

$$c_V = \frac{c_P}{\gamma} = \frac{0,267}{1,41} = 0,189 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Presión atmosférica

$$P_0 = 760 \text{ mmHg}$$

Densidad del mercurio

$$\rho(\text{Hg}) = 13,5 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\Delta t = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Variación, relativa, de volumen al aumentar 1°C la temperatura del gas

$$\Delta V = \frac{1}{274} V$$