

Experiencias de Mayer. Datos disponibles

$$V = 1 \text{ L}$$

Diferencia de calores y trabajo

$$Q_P - Q_V = P_0 \Delta V$$

$$(0,267 - 0,189) \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 1 \text{ g} \cdot 1 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0,078 \text{ cal}$$

$$10^5 \text{ Pa} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \frac{1}{274} = 0,366 \text{ J}$$

$$1,0 \text{ cal} = 4,69 \text{ J}$$

El calor adicional añadido al gas durante el proceso a presión constante respecto del calor a volumen constante equivale al trabajo de expansión

Equivalente mecánico del calor

$$1,0 \text{ cal} = 4,69 \text{ J}$$

Experiencia de Mayer. Unidades SI

$$c_P = 0,267 \cdot 29 \cdot 4,18 = 32,36 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$c_V = 22,95 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

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

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

Experiencia de Mayer. Unidades SI

$$V = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Delta U_P = W_P + Q_P \quad W_P = -P_0 \Delta V \quad Q_P = c_P \Delta t$$

$$\Delta U_V = W_V + Q_V \quad W_V = 0 \quad Q_V = c_V \Delta t$$

$$\Delta U_P = \Delta U_V$$

$$(32,36 - 22,95) \cdot 1 \cdot 1 \approx 1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{274}$$

Se comprueba que el calor adicional en el proceso a presión constante respecto del proceso a volumen constante es igual al trabajo realizado

$$9,41 \text{ J} \approx 8,20 \text{ J}$$

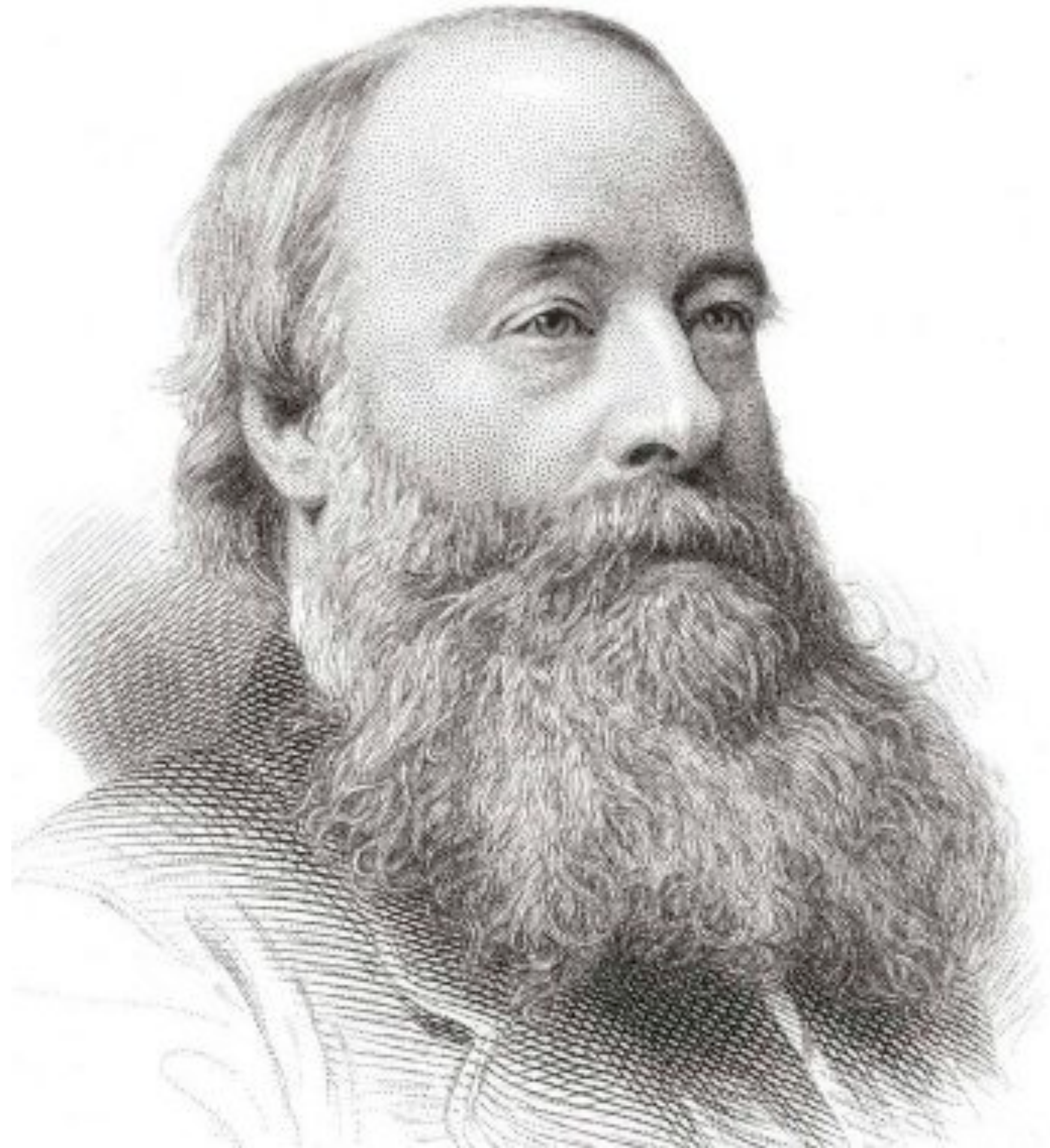
James Joule. Equivalente mecánico del calor



Experimento Joule-Kelvin



James P Joule (1818-1889)

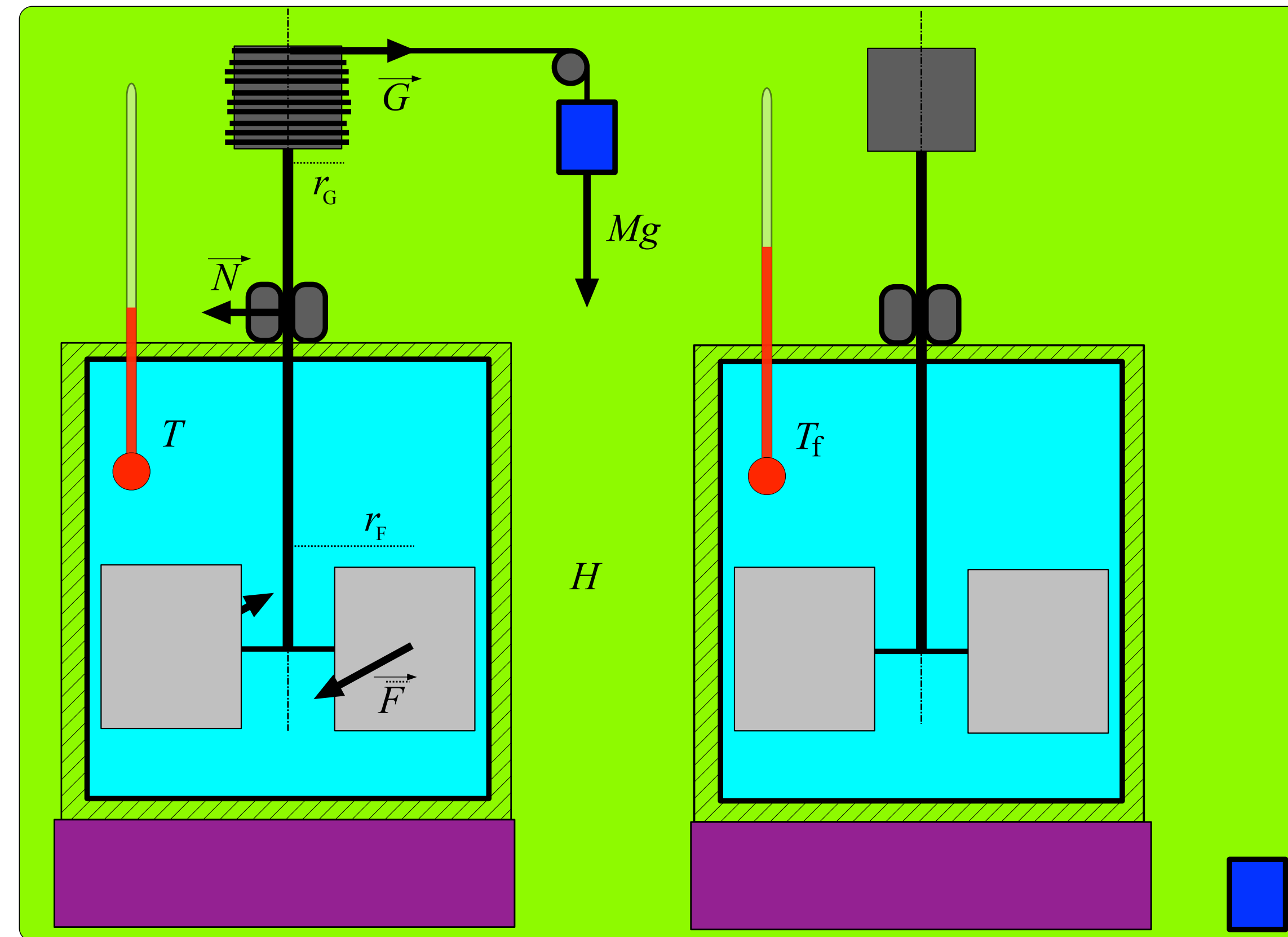


James P Joule

Rueda de paletas de Joule.



James Prescott Joule



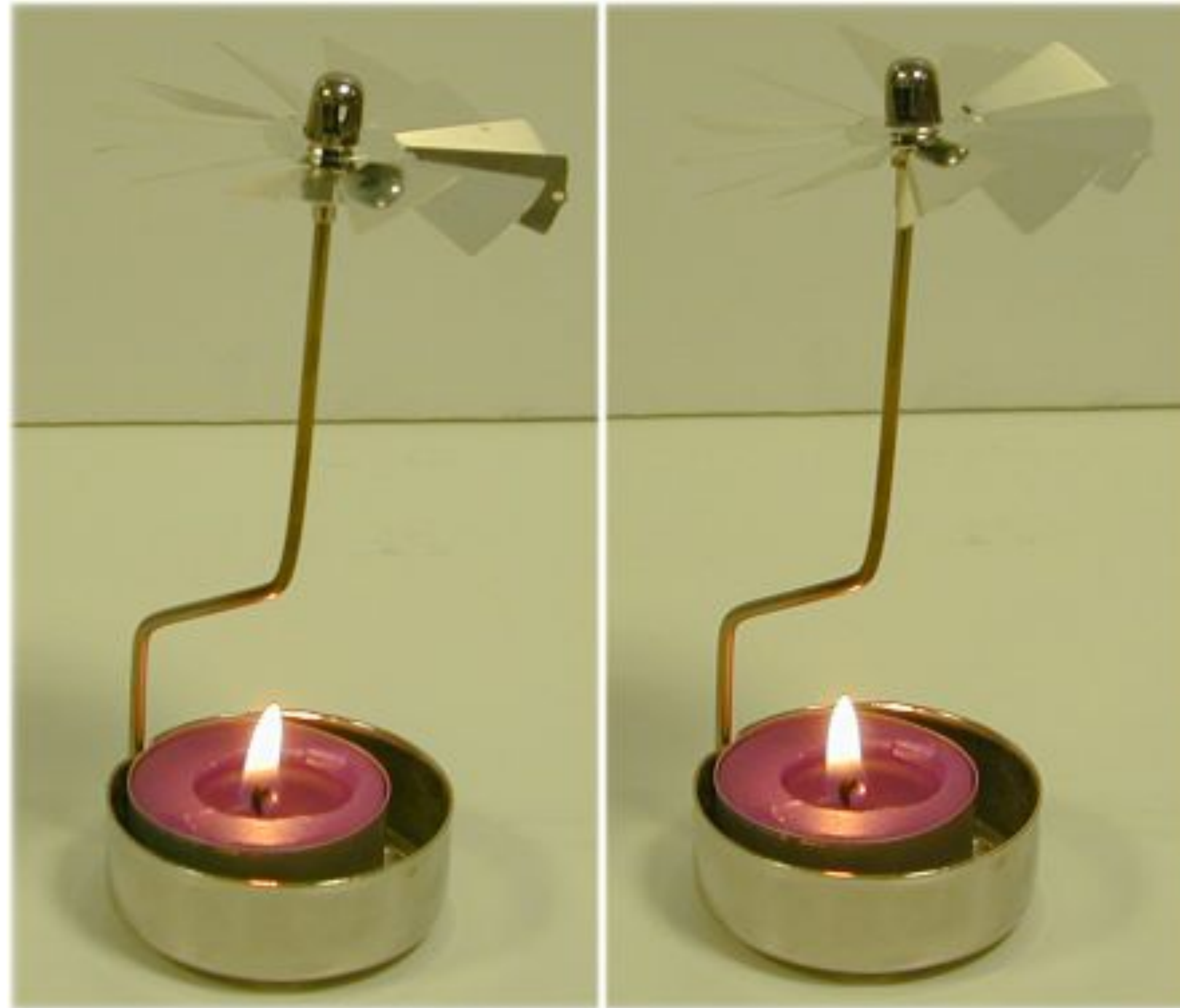
$$W_D = Mgh$$
$$Q = mc_L (T_f - T_i)$$

Trabajo disipativo. Rueda de paletas.

James Watt. Revolución industrial



Molinete térmico



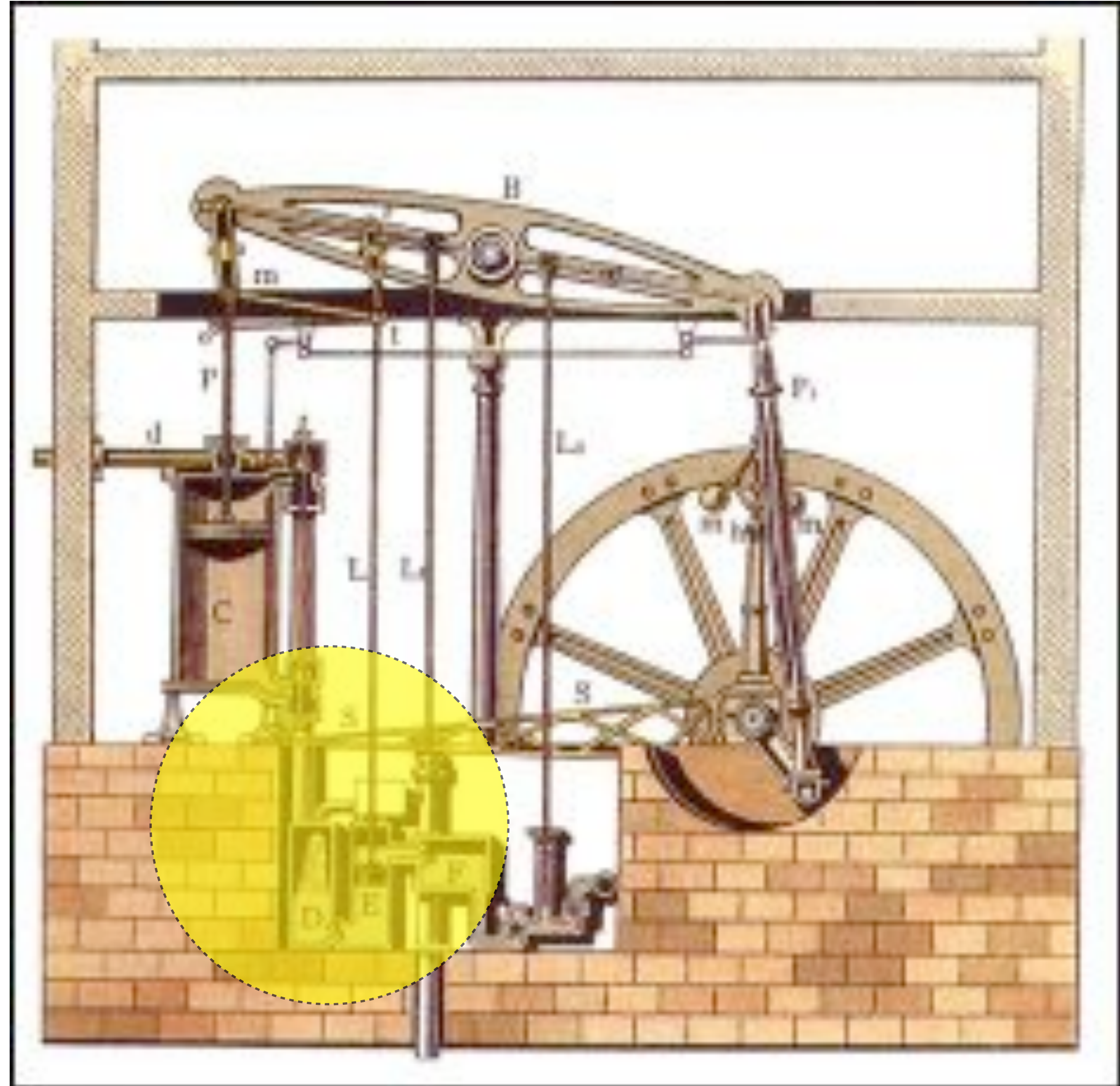
Hay que emplear algún tipo de combustible.
No todo el calor liberado se puede convertir en energía de rotación.

James Watt

Máquina de vapor de Watt.

Dotada de un émbolo móvil, capaz de mover un mecanismo rotatorio, la máquina funcionaba haciendo entrar vapor en un cilindro, elevando el émbolo, y enfriarlo a continuación en un otro cilindro externo o **condensador**, haciendo descender el émbolo.

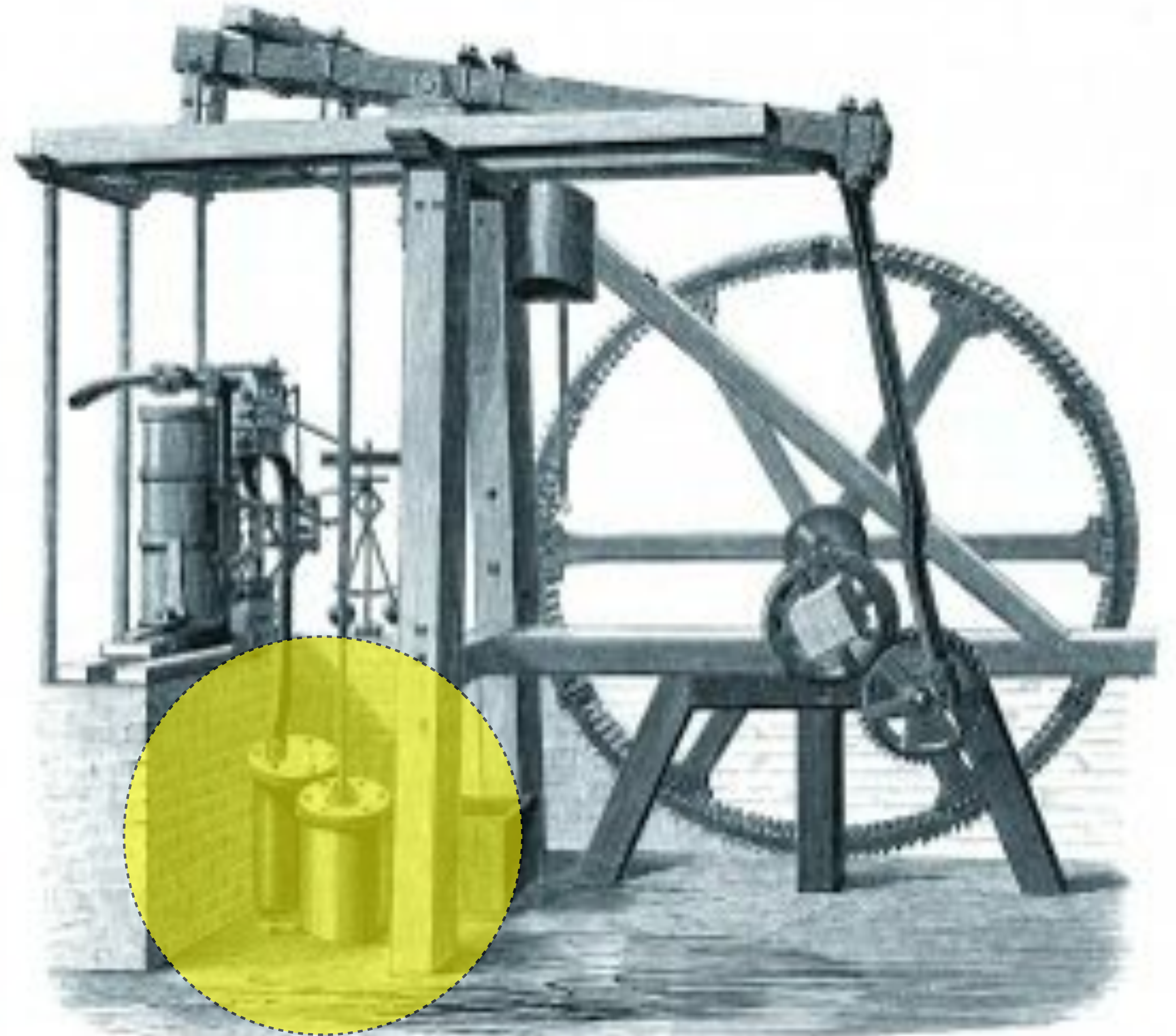
El **condensador** permitía mantener el cilindro siempre a elevada temperatura, lo que permitía ahorrar grandes cantidades de combustible.



Máquina de vapor de Watt.

James Watt

Al consumir poco combustible y hacerse más pequeñas, las máquinas de vapor de Watt ya pudieron instalarse relativamente lejos de las minas de carbón -- carbón que era trasladado a través de canales de agua que las propias máquinas de Watt contribuían a mantener llenos --, lo que permitió el rápido desarrollo industrial de Inglaterra (**Revolución industrial**).



James Watt

Máquina de vapor de Watt.

Al consumir poco combustible y hacerse más pequeñas, las máquinas de vapor de Watt ya pudieron instalarse relativamente lejos de las minas de carbón -- carbón que era trasladado a través de canales de agua que las propias máquinas de Watt contribuían a mantener llenos --, lo que permitió el rápido desarrollo industrial de Inglaterra.



Science Museum London 2008

**The 1788
Boulton And Watt
Steam Engine**

Original

Automóvil

Máquina
térmica que
se desplaza a
sí misma,
consumiendo
combustible.



Una de las primeras líneas de autocar

¡Un coche sin caballos, cuándo se ha visto eso!
Creo que pronto tendremos suficiente carne barata

Pierre Curie. Principio de Curie



Pierre Curie. Principio de Curie

El principio de Curie —propuesto por Pierre Curie en 1894— puede ser enunciado como el principio que establece que la simetría de una causa se preserva en los efectos:

“Cuando ciertas causas producen ciertos efectos, los elementos de simetría de las causas deben encontrarse en los efectos producidos”.

El principio fue formalizado por Curie de la siguiente manera:

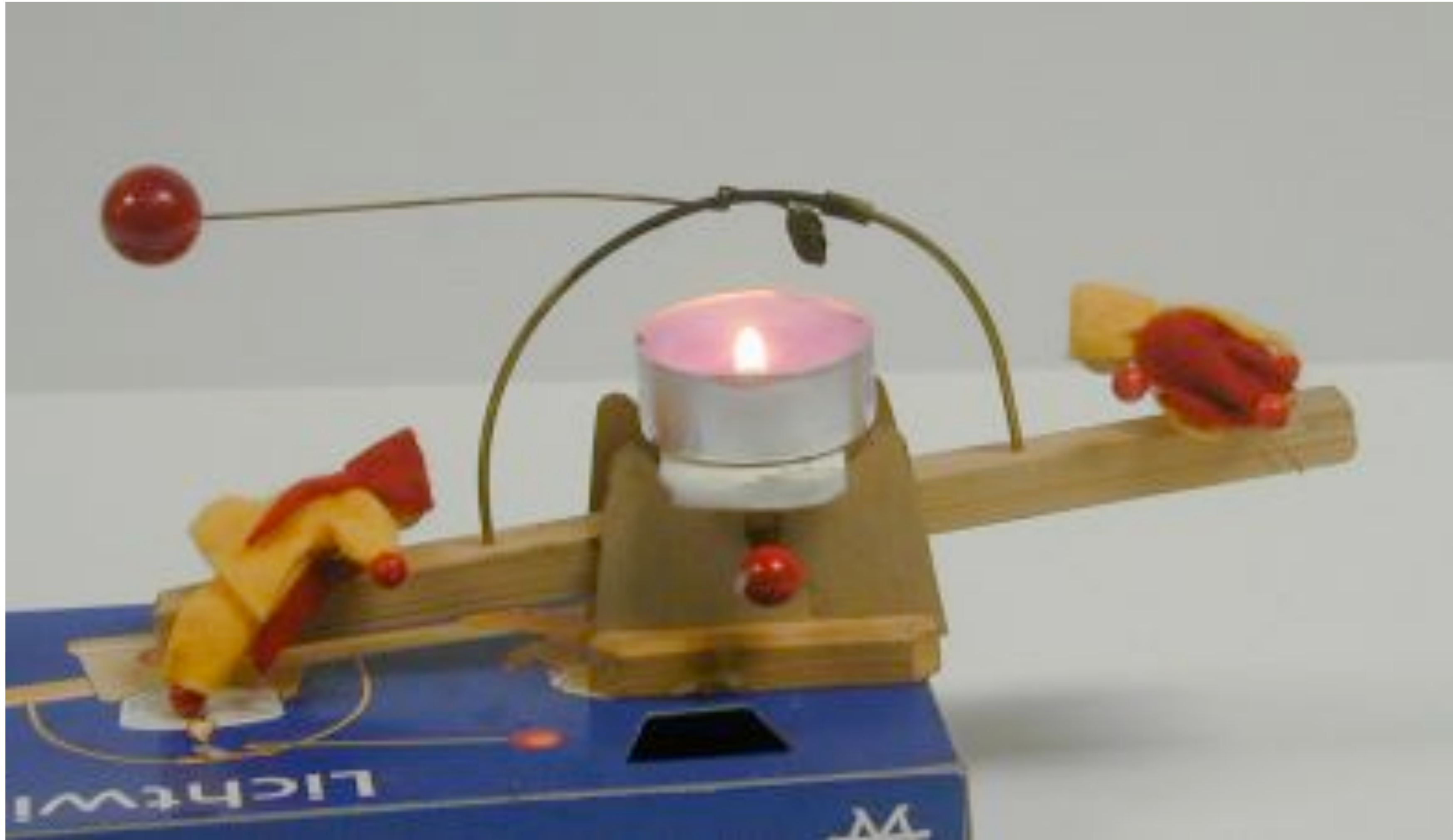
- 1- Si ciertas causas producen algún efecto conocido, los elementos simétricos de las causas deben encontrarse en los efectos generados.
- 2.- Si los efectos conocidos manifiestan cierta desimetría (ausencia de elementos simétricos) esto debe ser encontrado en las causas que han generado esos efectos.
- 3.- Lo converso a esas dos proposiciones previas no es correcto, al menos de manera práctica: es decir, los efectos pueden tener una simetría más alta que las causas que han generado esos efectos.

El principio fue reformulado, en 1920, por Jaeger de la siguiente manera:

“Los efectos pueden tener la misma simetría o una más alta que las causas, pero esas últimas no pueden tener una simetría más alta que los efectos producidos.

Generalmente se considera que el principio se aplica a cualquier situación física.

Balancín térmico



No todo el calor se convierte en trabajo.
El muelle debe ser bimetálico.

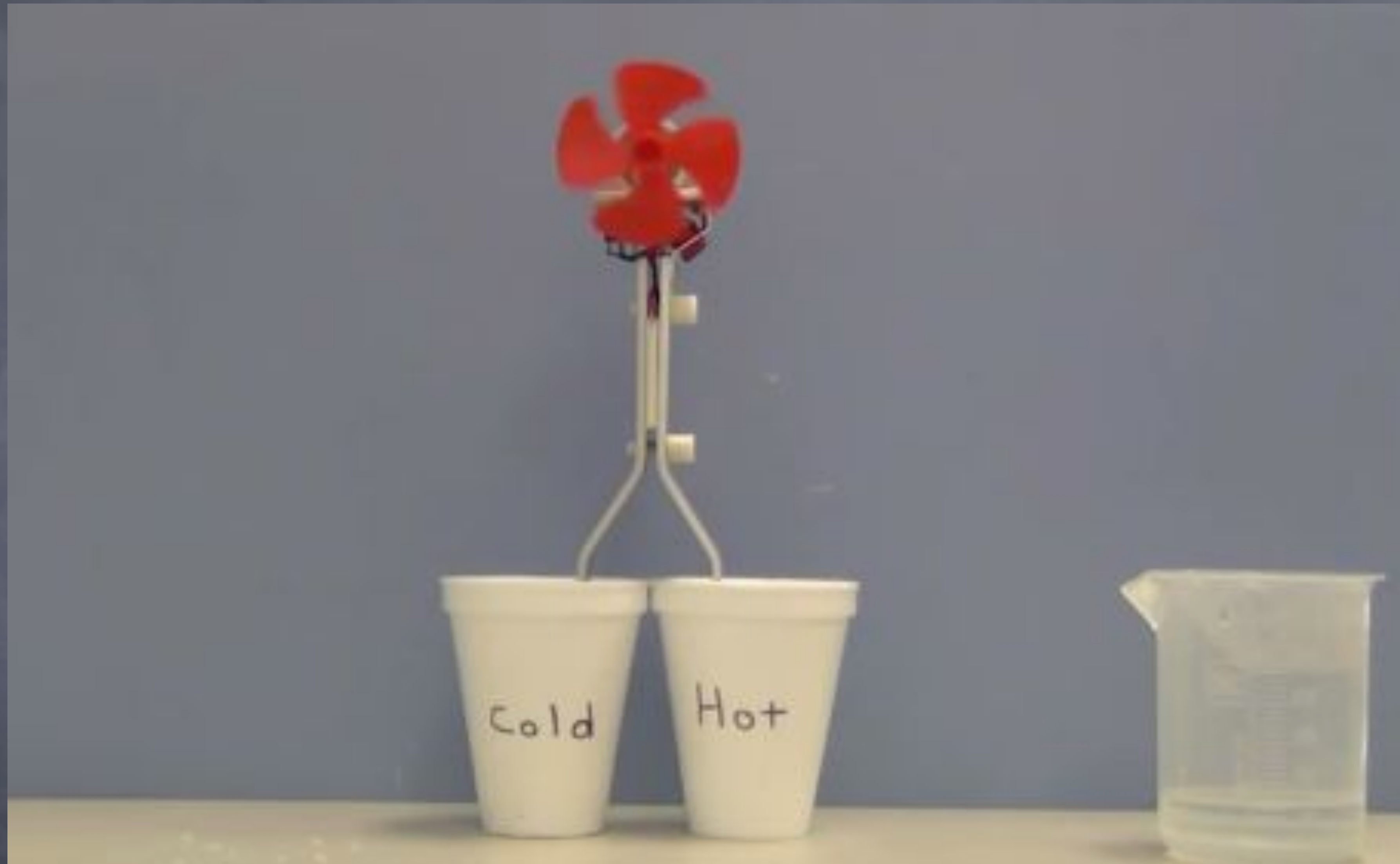
Alejandro Volta. Pila de Volta



Thomas Seebeck. Efecto termoeléctrico



Experimento. Termoelectricidad

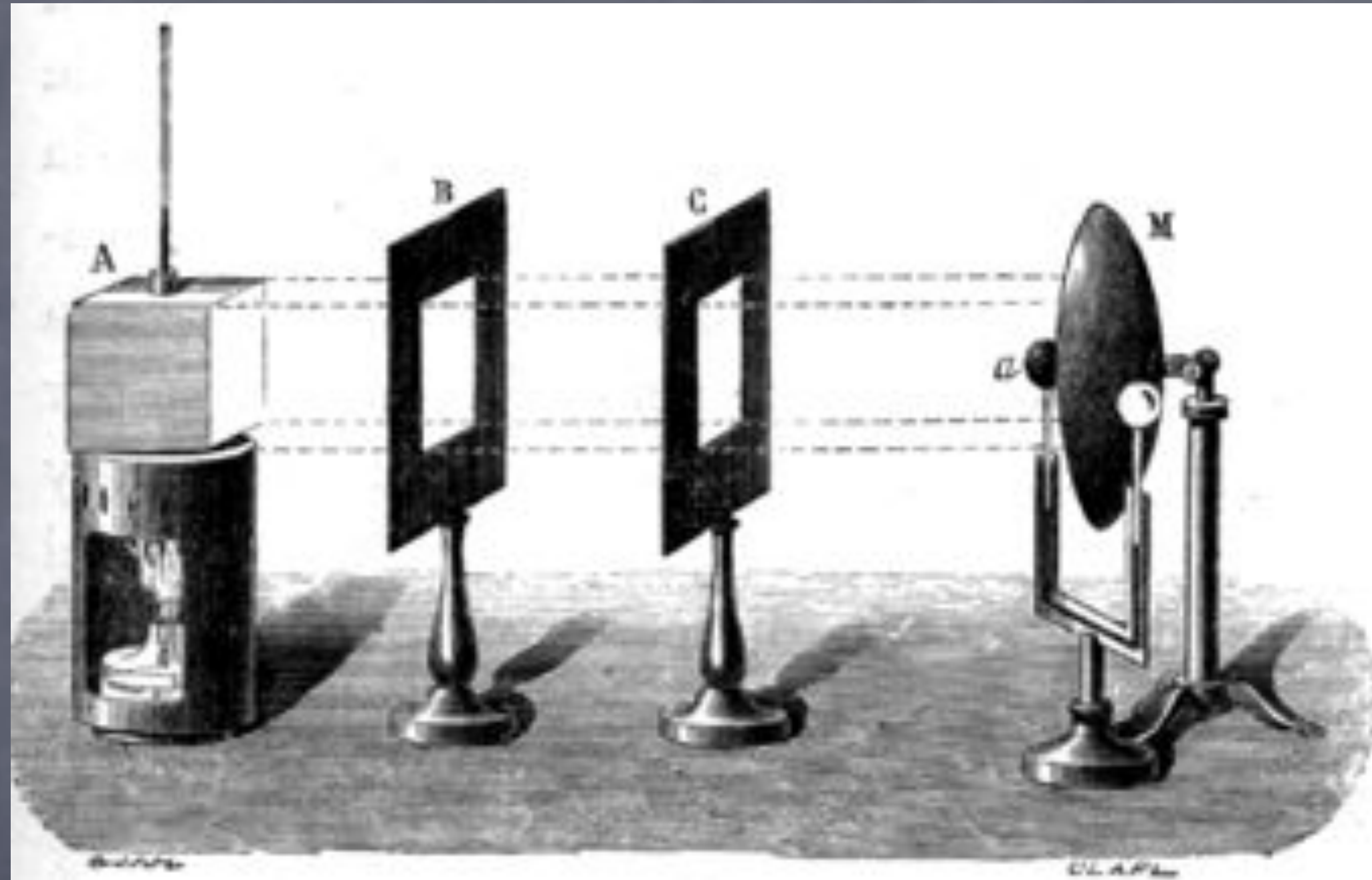


Placa Peltier

Radiación térmica. Cubo de Leslie



Cubo de Leslie



Espejos ustorios

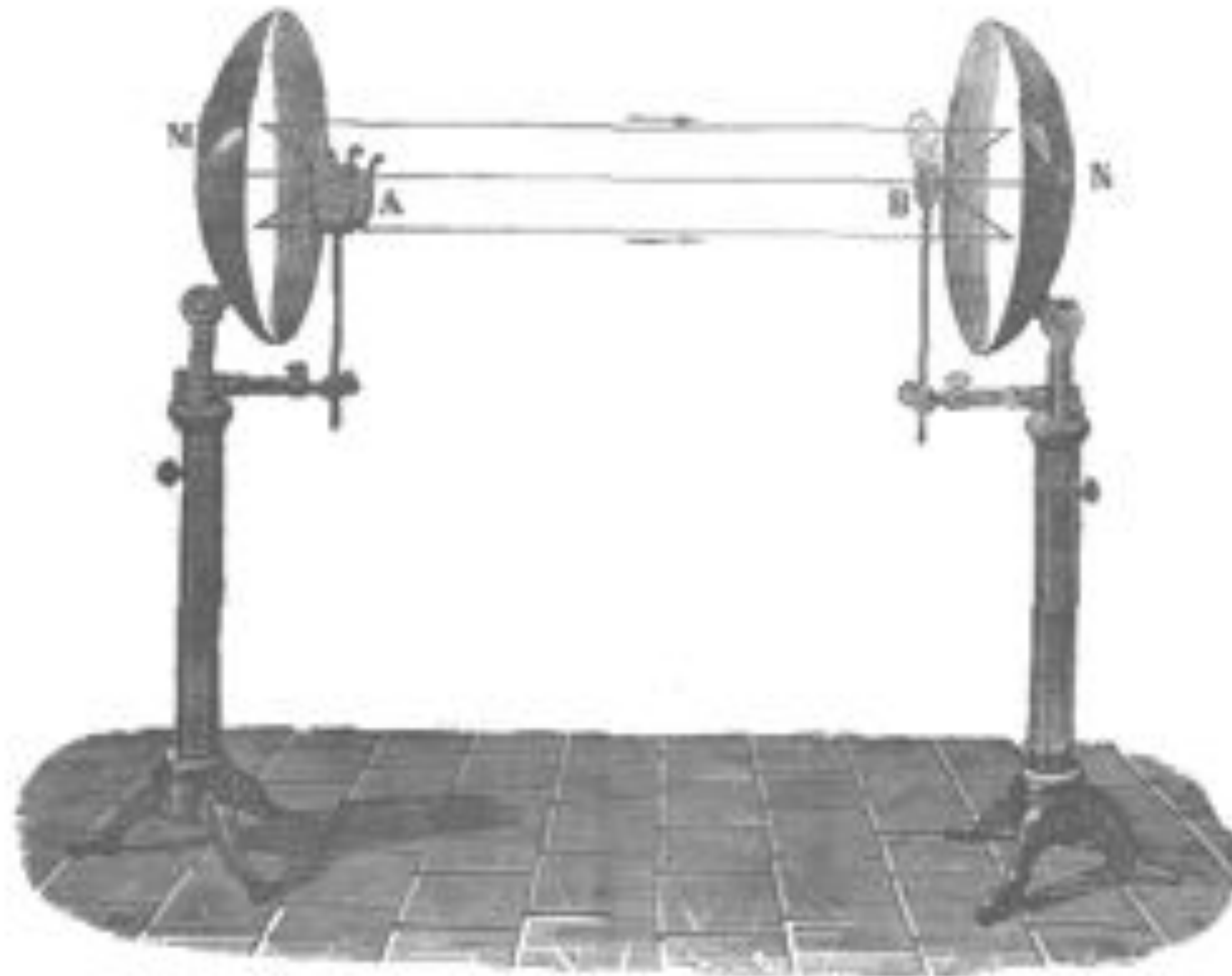


Fig. 240 ($a=4\text{ m}, 50$).

Experimento. Radiómetro de Crookes



El hervidor es un recipiente formado por dos esferas conectadas por un tubo y lleno de un líquido muy volátil.

Cuando la esfera de la parte inferior se calienta con la mano, el líquido hierve y asciende por el tubo hasta la esfera superior

El líquido asciende una cierta altura, lo que significa que se realiza un trabajo sobre el mismo.

Hervidor de mano



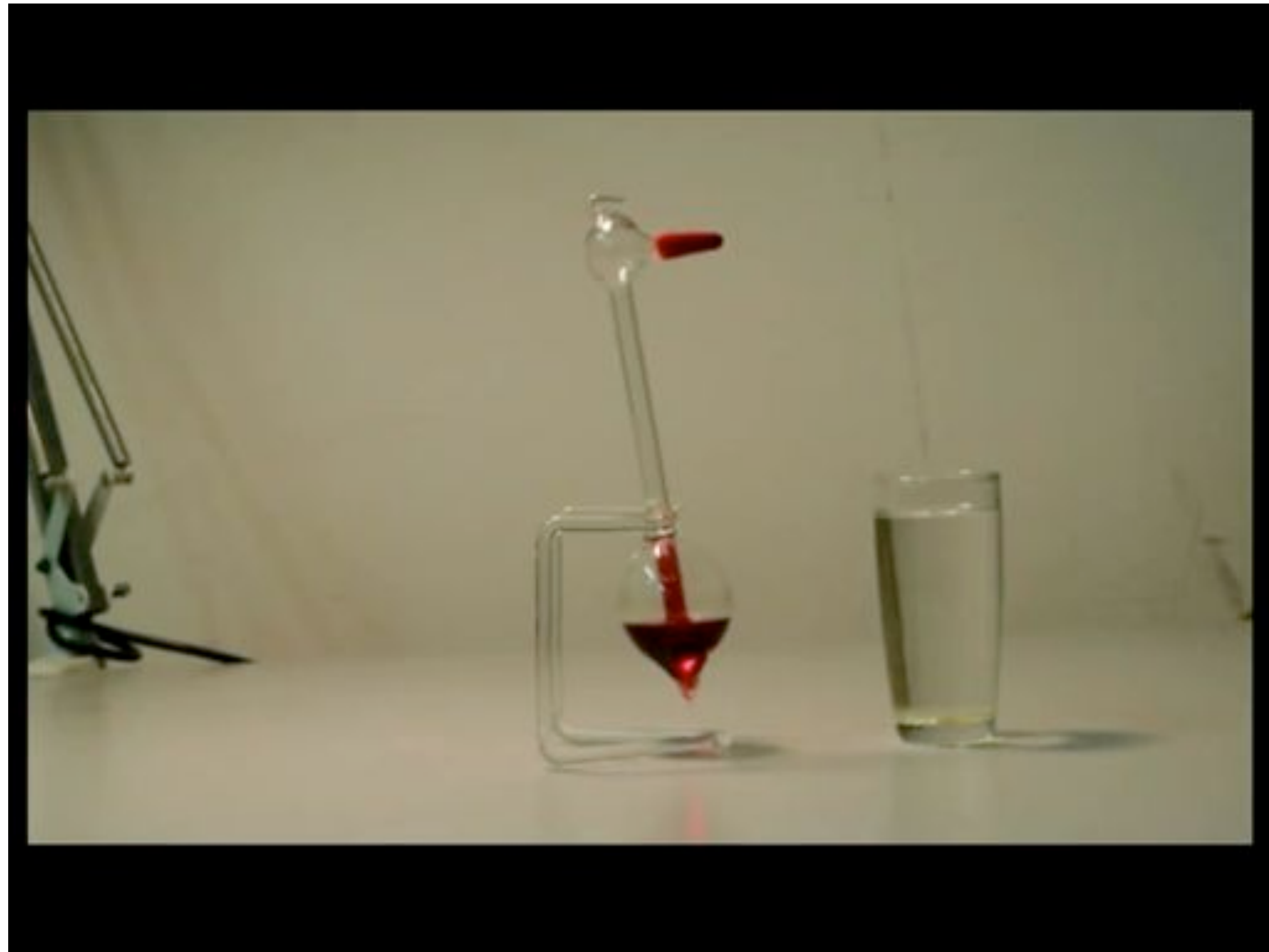
Procesos térmicos con efectos mecánicos.

Un móvil perpetuo de segunda especie

Transforma en trabajo mecánico mayor porcentaje de calor que el permitido por el Teorema de Carnot.

Cumple con el primer principio de la termodinámica (la conservación de la energía), pero viola el segundo principio de la termodinámica (la no disminución de la entropía del universo).

¿Móvil perpetuo de segunda especie?



Pájaro bebedor

Máquina de Gibbs.

Un pájaro bebedor transforma en trabajo la diferencia de la función de Gibbs entre el vapor de agua en la atmósfera y la función de Gibbs en la cabeza mojada. Funciona mientras la humedad sea menor del 100%.

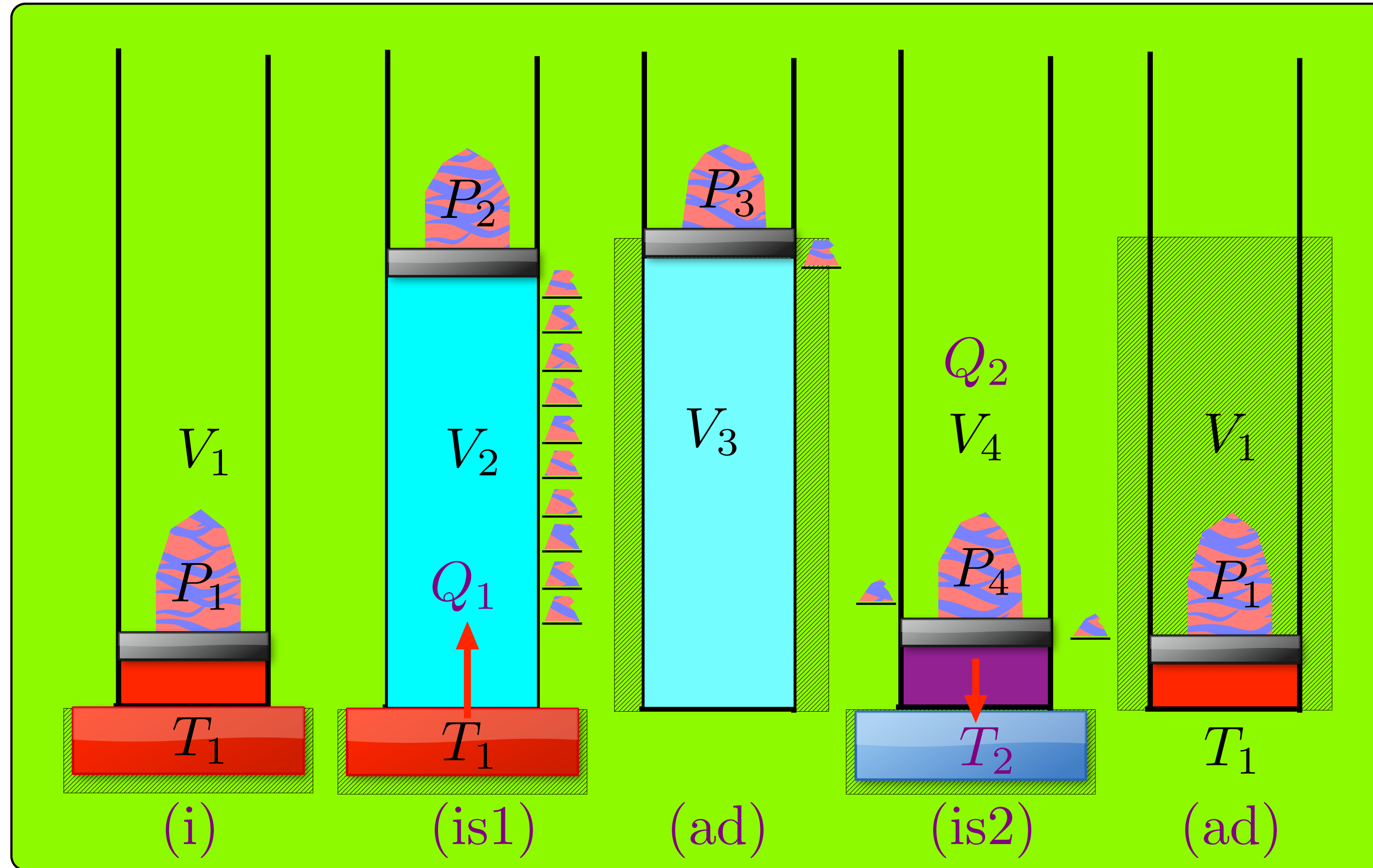
La temperatura de la cabeza disminuye en $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, está un grado por debajo de la temperatura del agua.



Sadi Carnot (1796-1832)



Sadi Carnot



El ciclo de Carnot consta de cuatro pasos.

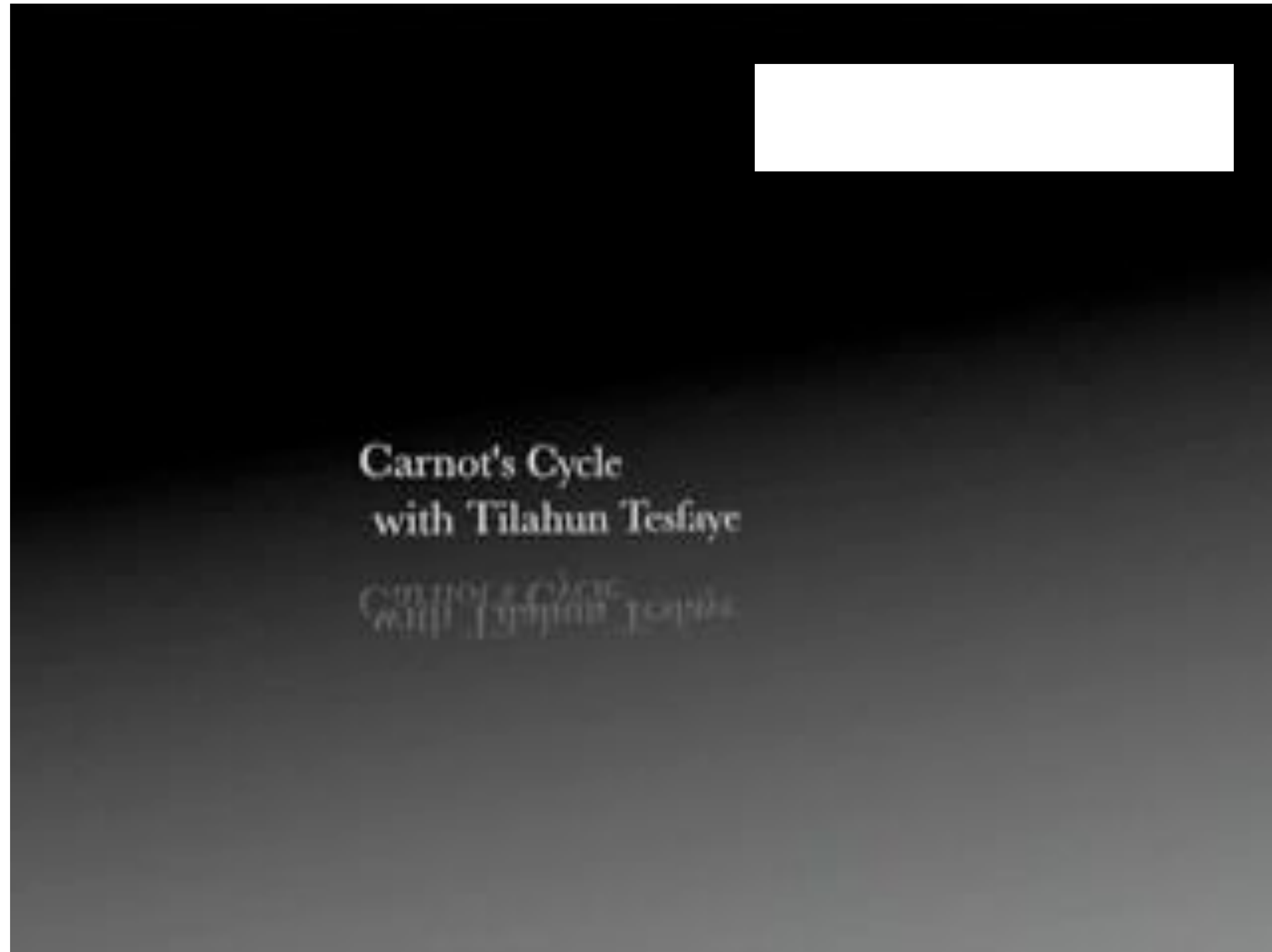
(is1) Proceso a temperatura constante alta, realizando trabajo. (ad) Proceso adiabático, el gas se expande y se enfría. (is2) Proceso a temperatura constante, consumiendo trabajo. (ad) Proceso de compresión adiabática, el gas se calienta.

Ciclo de Carnot con un gas.

Al alta temperatura, la presión es mayor y se realiza mucho trabajo al expandirse. A baja temperatura se gasta menos trabajo en comprimir el gas.

En las fases adiabáticas, cambia la temperatura del gas, aumentando cuando se comprime y enfriándose cuando se expande.

Ciclo de Carnot

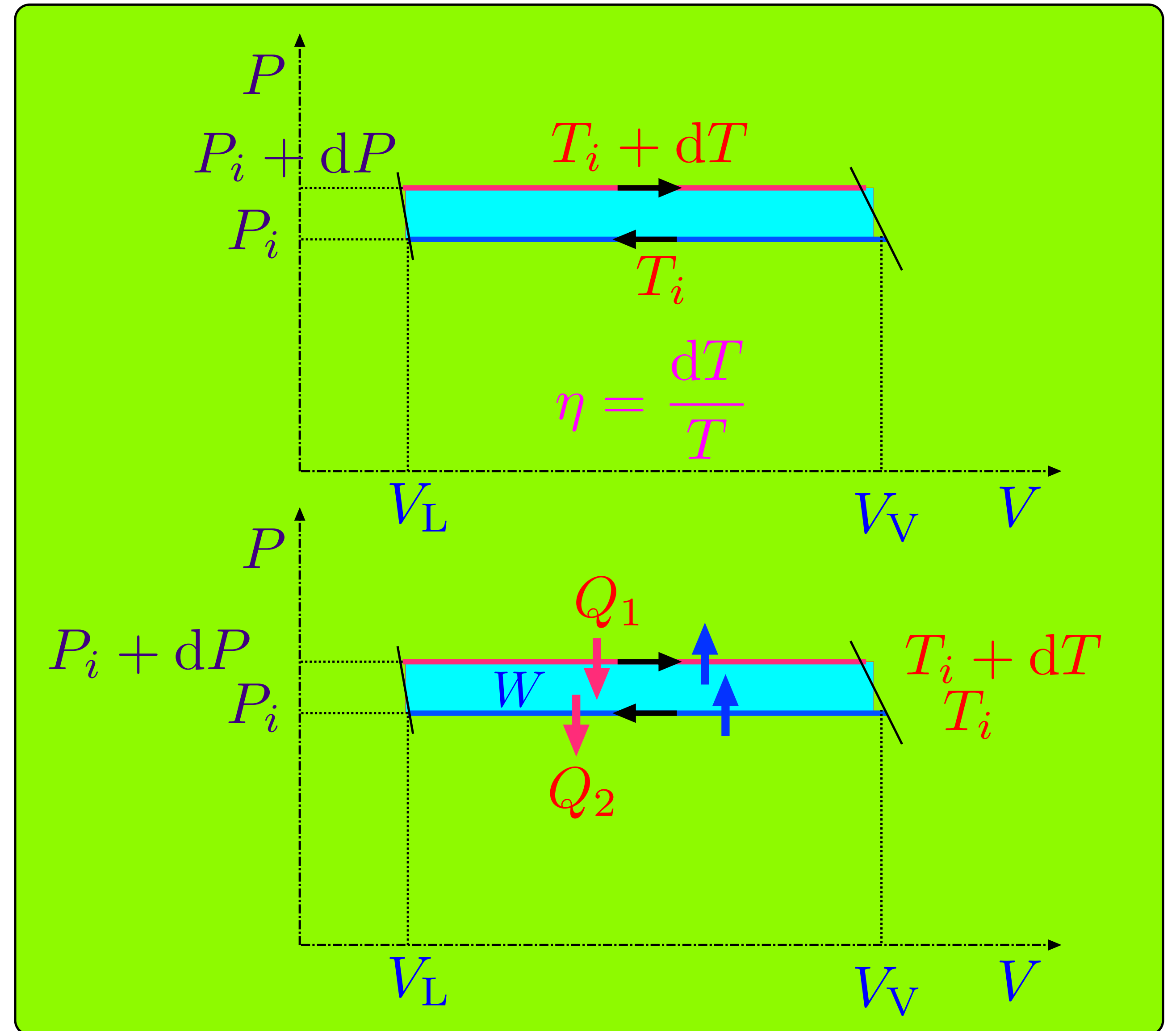


Sadi Carnot

Ciclo de Carnot con vapor de agua.

El ciclo que mejor estudió Carnot fue aquel que se realizaba con agua líquida que pasaba a vapor de agua.

La ganancia en volumen es tan grande que se produce mucho trabajo.



Sadi Carnot

$$\eta_C = \frac{W}{Q_C}$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Se necesita una diferencia de temperaturas para producir trabajo.

El rendimiento, es decir, la proporción de calor absorbido de un foco caliente que puede ser transformado en trabajo útil, es igual a 1 menos la razón entre la temperatura absoluta del foco frío y la temperatura absoluta del foco caliente.

No todo el calor absorbido se puede transformar en trabajo.

¿Cómo funciona un frigorífico?

Nube en botella

Se coloca una pequeña cantidad de alcohol etílico en el interior de una botella. Se introduce gas a presión con una bomba neumática y se espera hasta que la presión del gas es tal que el tapón de la botella sale disparado.

Se observa entonces la formación de una pequeña nube en el interior de la botella.

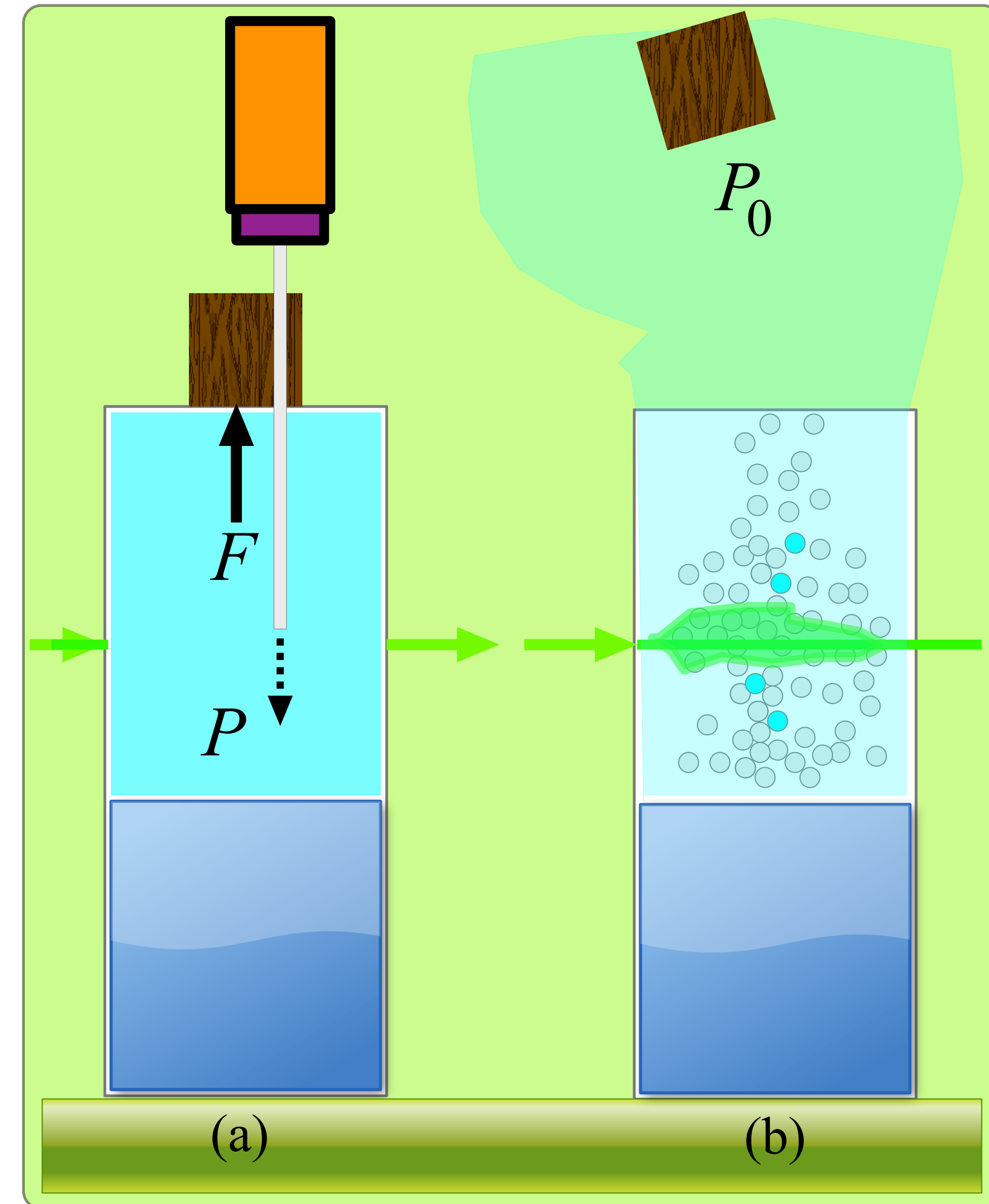


Cuando un gas se expande contra una presión externa, se enfría. En el serpentín interior del frigorífico, eso es lo que sucede.

Nube en botella

Se introduce aire a presión con un sacacorchos sin retorno y se espera hasta que la presión del aire es tal que el tapón de la botella salta.

Se observa entonces la formación de una pequeña nube en el interior de la botella.



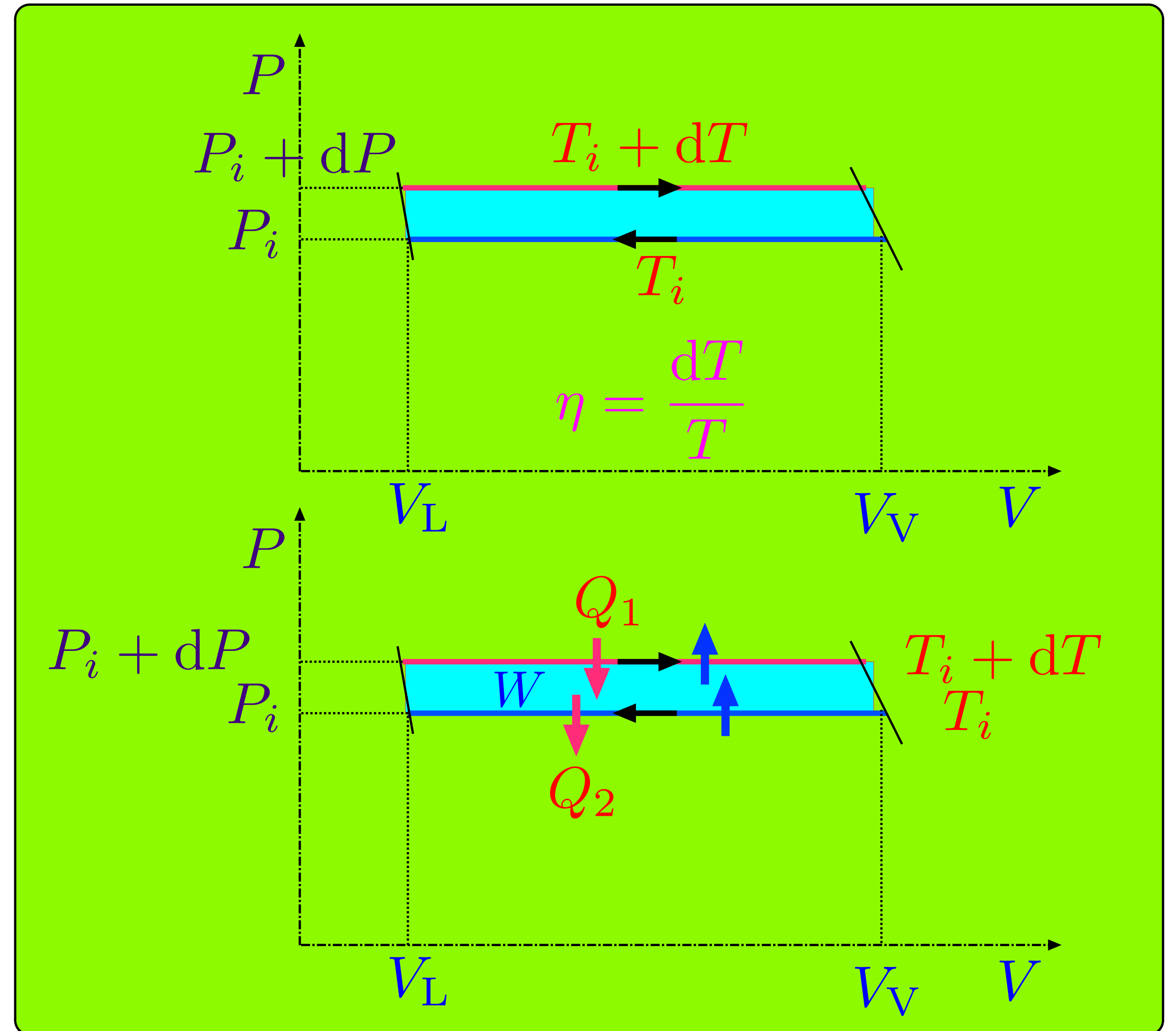
Cuando un gas se expande contra una presión externa, se enfría. En el serpentín interior del frigorífico, eso es lo que sucede.

Sadi Carnot

Ciclo de Carnot con vapor de agua.

El ciclo que mejor estudió Carnot fue aquel que se realizaba con agua líquida que pasaba a vapor de agua.

La ganancia en volumen es tan grande que se produce mucho trabajo.

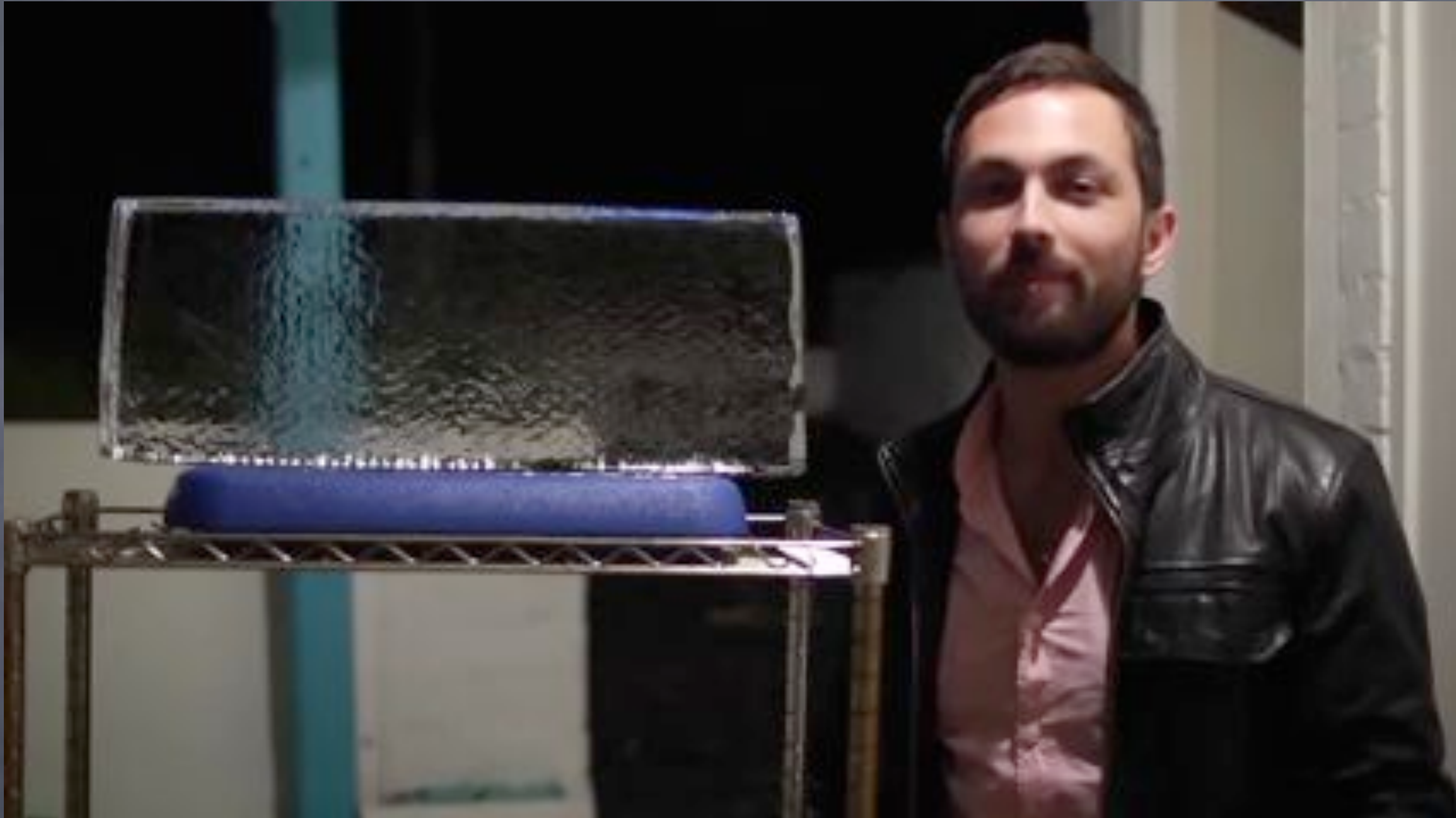


Regelación



Teorema de Carnot

Regelación



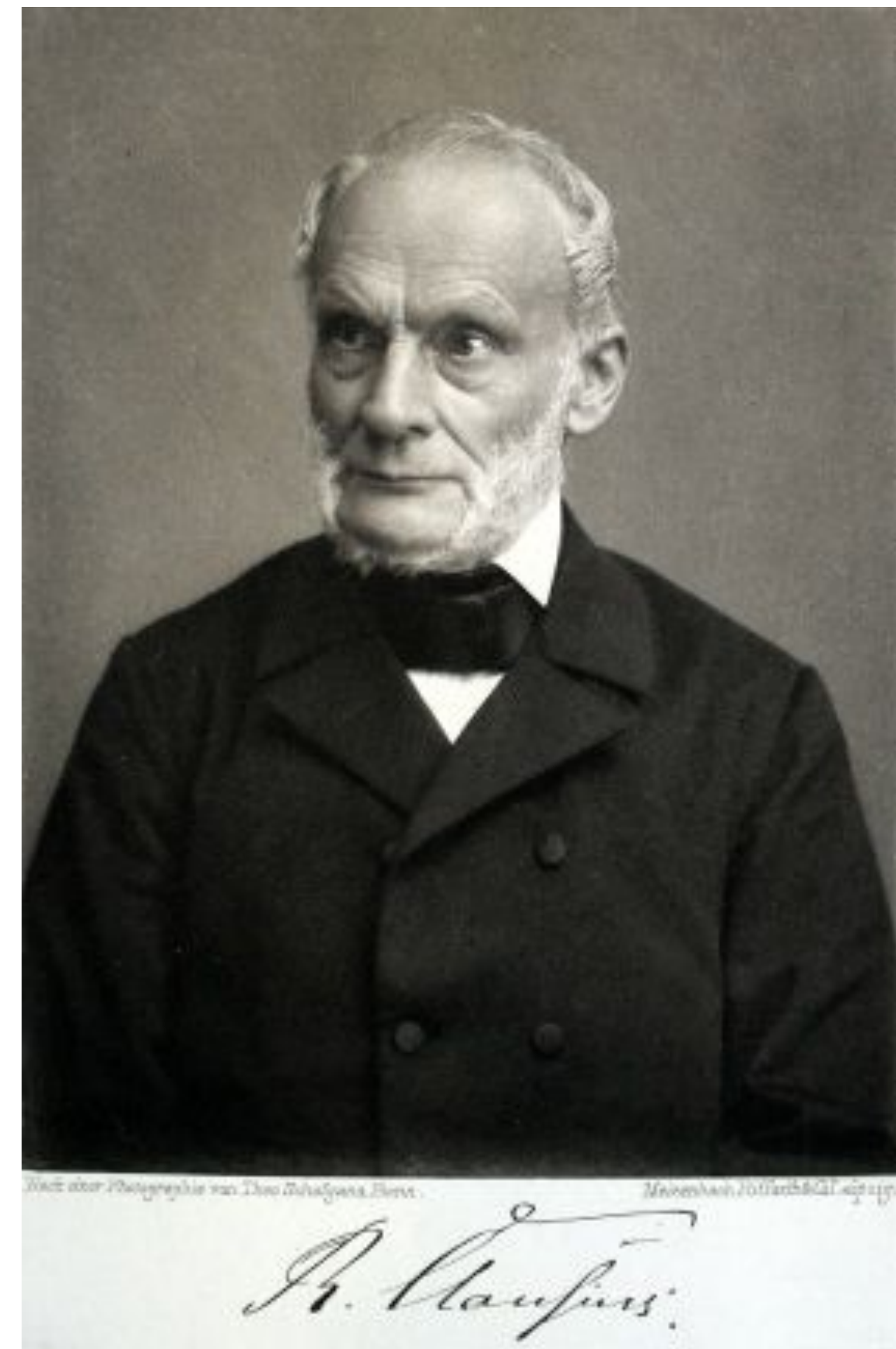
La cuerda metálica lastrada corta el hielo, que vuelve a solidificar

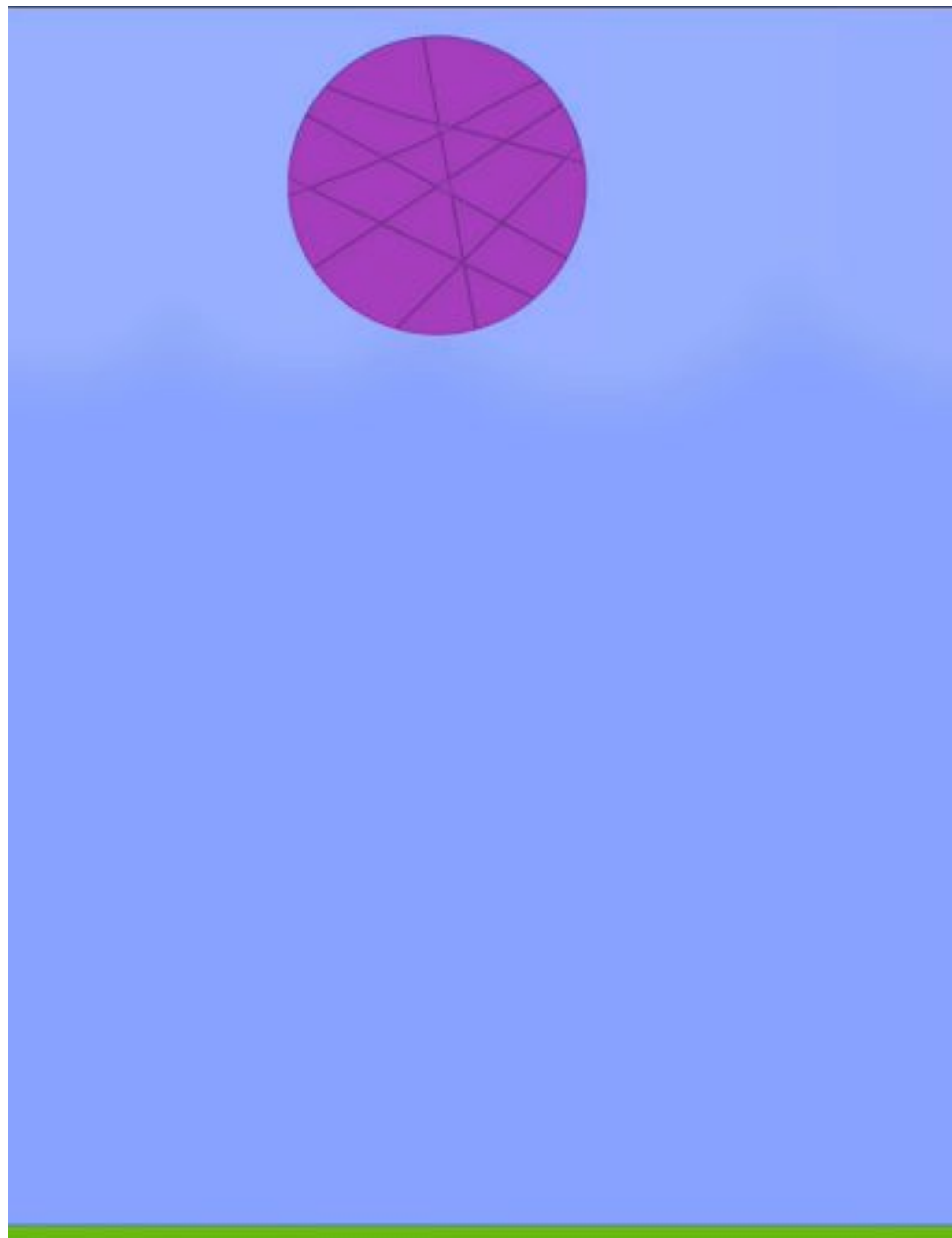
Rudolf Clausius

(Rudolph Julius Emanuel Clausius; Koszalin, actual Polonia, 1822-Bonn, 1888)

Físico alemán. Excepcionalmente dotado para las matemáticas y la física teórica, Rudolf Clausius fue uno de los fundadores de la termodinámica. Hacia 1845, James Joule y Robert Mayer habían aclarado la naturaleza del calor y su equivalente mecánico, llegando a la enunciación del primer principio de la termodinámica. En 1850, Clausius enunció el segundo principio de la termodinámica como la imposibilidad de flujo espontáneo de calor de un cuerpo frío a otro caliente sin la aplicación de un trabajo externo: "el calor no puede pasar de un cuerpo frío a uno más cálido espontáneamente". Este famoso enunciado se halla en la memoria *Sobre la fuerza motriz del calor*, que fue presentada a la Academia de Ciencias de Berlín en 1850. Un año después su colega británico Lord Kelvin enunció también este principio, de forma distinta pero equivalente.

En 1865, partiendo de las demostraciones de Carnot sobre los ciclos de calor, introdujo el término **entropía**, definido como la proporción de energía de un sistema que no es capaz de desarrollar trabajo, y demostró que la entropía de un sistema se incrementa en un proceso irreversible. El progreso de la máquina de vapor se debe en parte a sus estudios.





¿Qué es la entropía?

La entropía es una magnitud física asociada a la calidad de la energía. Cuando aumenta la entropía, la energía pierde calidad. Y una vez aumenta la entropía, ya no puede disminuir espontáneamente.

Cuando la bola se rompe aumenta la entropía de la energía implicada. Si subiera recompuesta espontáneamente, se violaría el segundo principio.



Rudolf Clausius

Procesos irreversibles.

Aunque la energía se conserva tanto cuando el huevo cae y se rompe o cuando se reordena y asciende, el primer proceso se observa, pero no el segundo. En el primer caso aumenta la entropía, mientras que en el segundo caso disminuye (lo que no está permitido)



¿Qué es la entropía?

Aunque se tiene la misma energía al principio que al final, al final de la voladura la misma energía está más desorganizada, tiene más entropía. Si espontáneamente volviera a elevarse el silo, se violaría el segundo principio de la termodinámica.

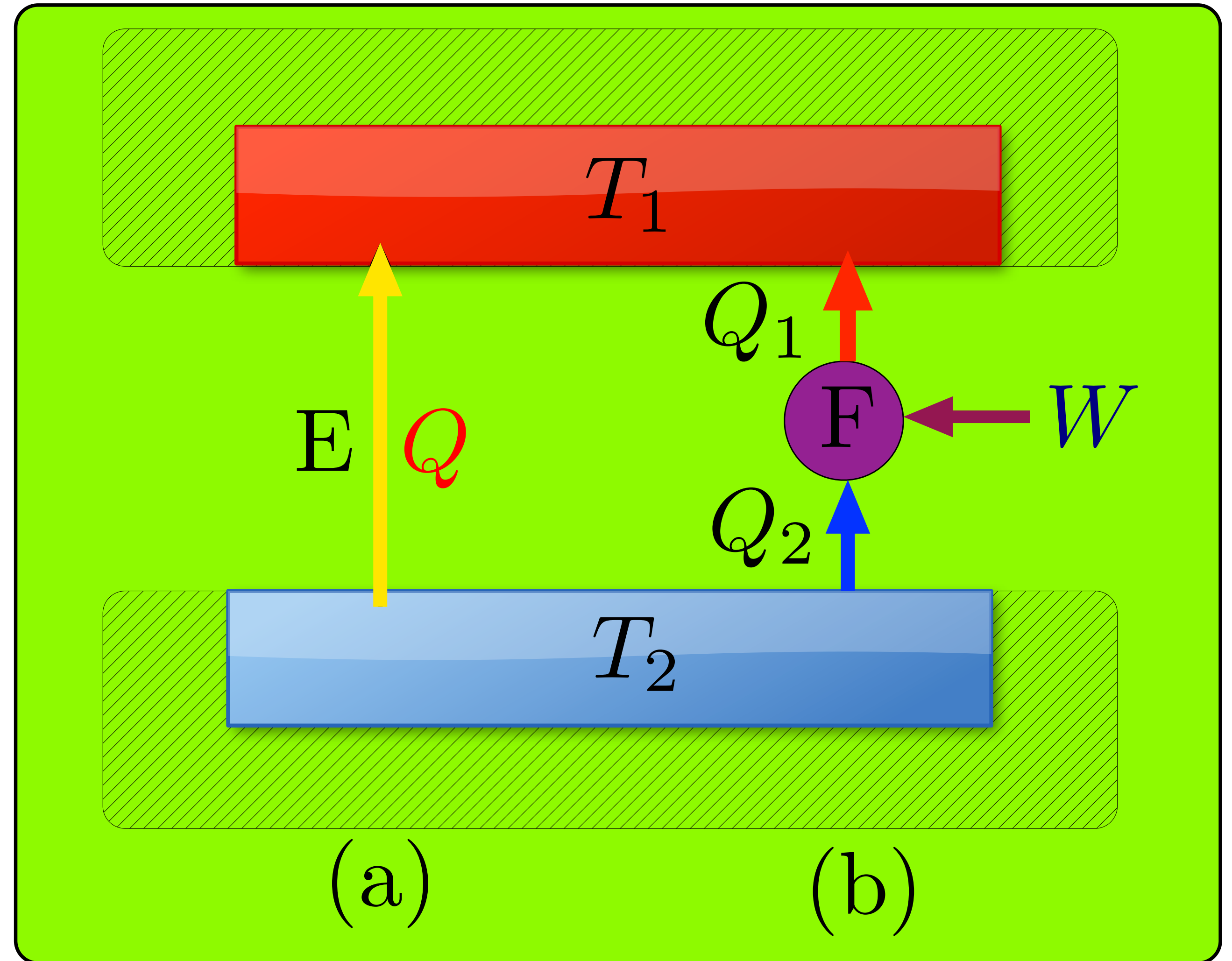


Rudolf Clausius

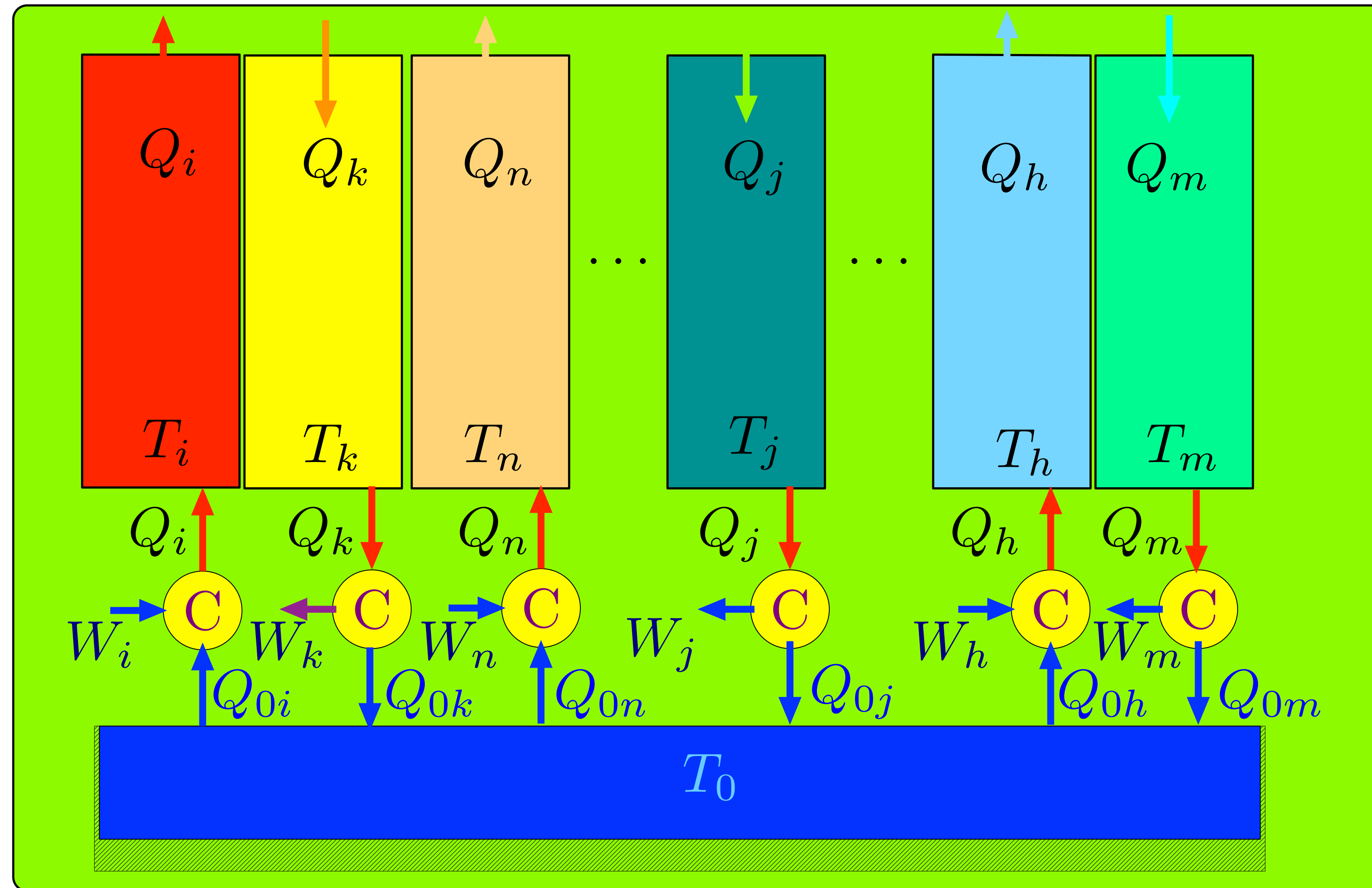
Formulación de Clausius del segundo principio.

El calor no pasa espontáneamente de un foco frío a un foco caliente.

Para que el calor pase de un foco frío a un foco caliente hay que utilizar un frigorífico y gastar energía libre.



Teorema de Clausius



Esquema, con focos de calor, máquinas de Carnot y un foco a temperatura T_0 , para demostrar el Teorema de Clausius. Se llevan a cabo ciclos de Carnot entre los focos de calor y el foco a temperatura T_0 .



FIN

Experimentos importantes en la
Historia de la Física

Termodinámica

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019