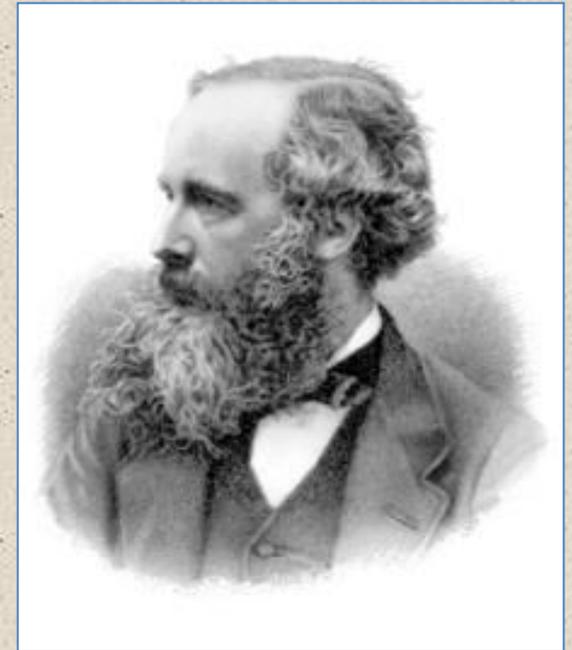


# *Demonio de Maxwell*

Experimento mental ideado por Maxwell en 1867, publicado en *Theory of Heat* (1871), que aparentemente violaba la segunda ley de la Termodinámica.

Relaciona la termodinámica clásica con la entonces naciente teoría cinética.

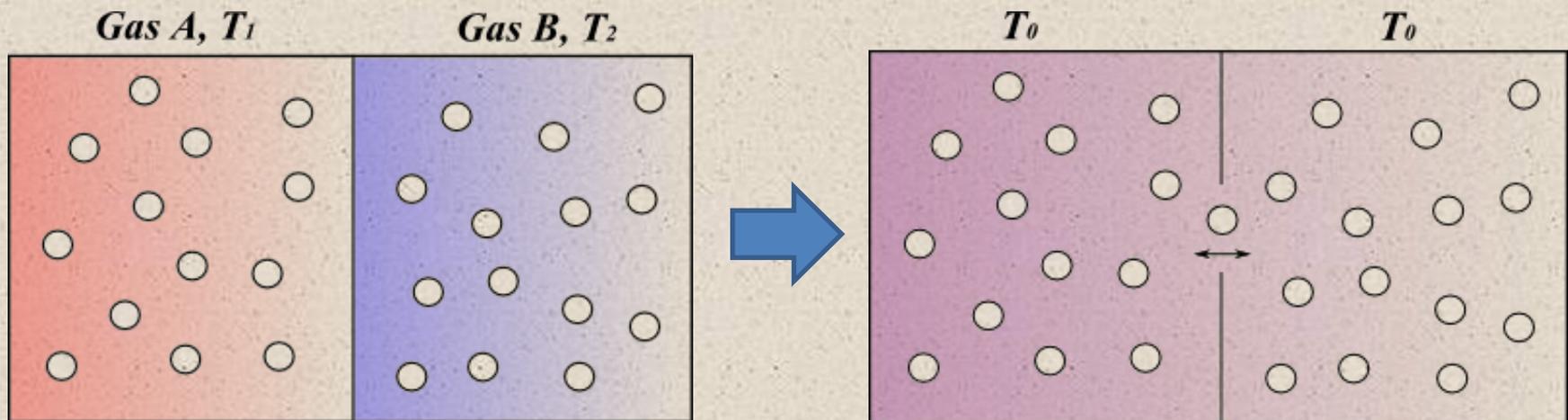


James Clerk Maxwell  
(1831 - 1879)

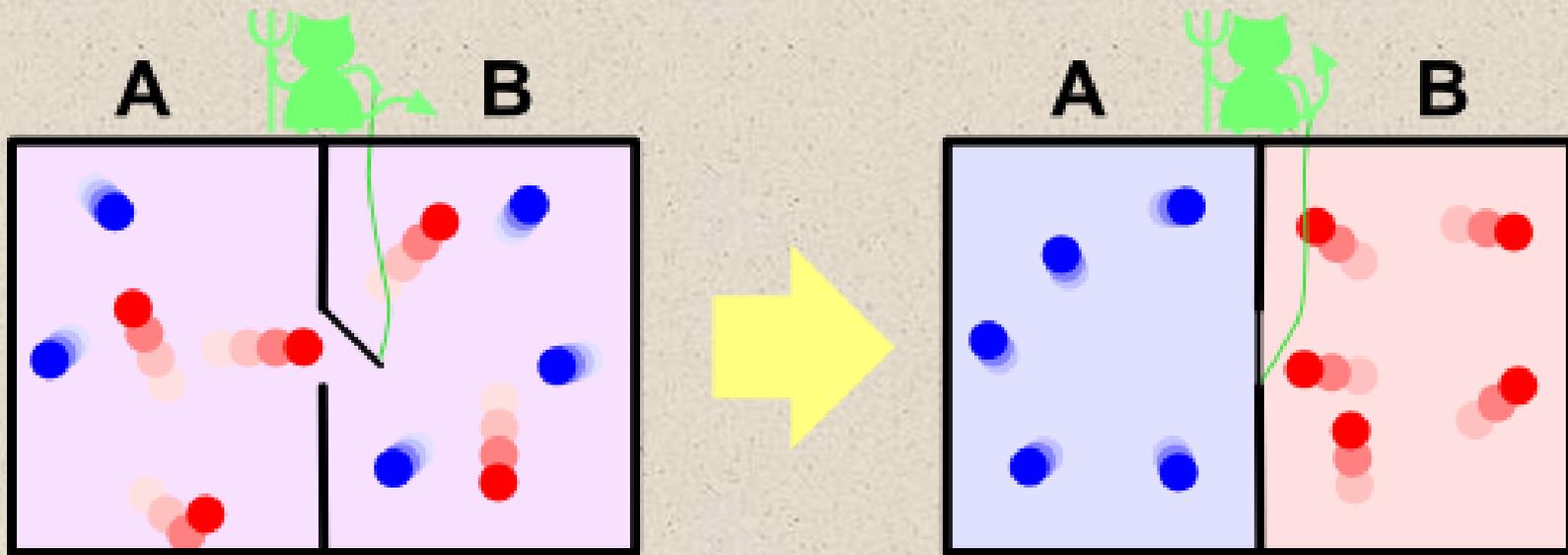
# Segunda ley de la termodinámica

*“La entropía total de un sistema aislado nunca decrece, sino que tiende a un equilibrio de máxima entropía”*

Ejemplo:



# El demonio y la segunda ley



El demonio sólo deja pasar las moléculas más rápidas hacia B, *sin realizar trabajo* sobre el sistema. La temperatura de B aumenta y la de A disminuye, violando la Segunda ley de la termodinámica.

*“La segunda ley de la termodinámica sólo es cierta estadísticamente”*

# *Cuestionando al demonio*

- ¿Viola el demonio la Segunda ley de la termodinámica?  
El demonio de Maxwell supuestamente no realiza trabajo sobre el sistema, ¿es realmente así?

# *Cuestionando al demonio*

- ¿Viola el demonio la Segunda ley de la termodinámica?. El demonio de Maxwell supuestamente no realiza trabajo sobre el sistema, ¿es realmente así?



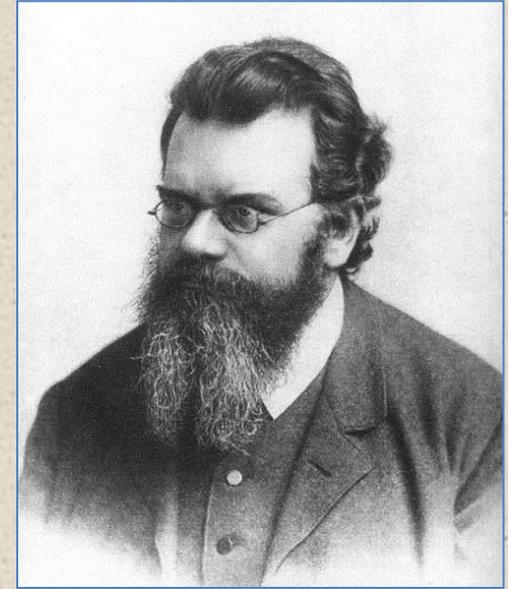
El *trabajo* lo realiza al obtener con precisión las trayectorias y velocidades de las moléculas.

Para que siga valiendo la segunda ley, el aumento de entropía debido a la obtención de esta información debe compensar el descenso de entropía en el gas.

# *El exorcismo – Primera parte (1867 – 1929)*

Ludwig Boltzmann concluye que no existe una demostración puramente dinámica de la segunda ley, sólo probabilística.

Los sistemas se mueven hacia el equilibrio *simplemente* por que el número de estados moleculares que corresponden al equilibrio es mucho mayor que los estados ordenados de menor entropía.



Ludwig Boltzmann  
(1844 – 1906)

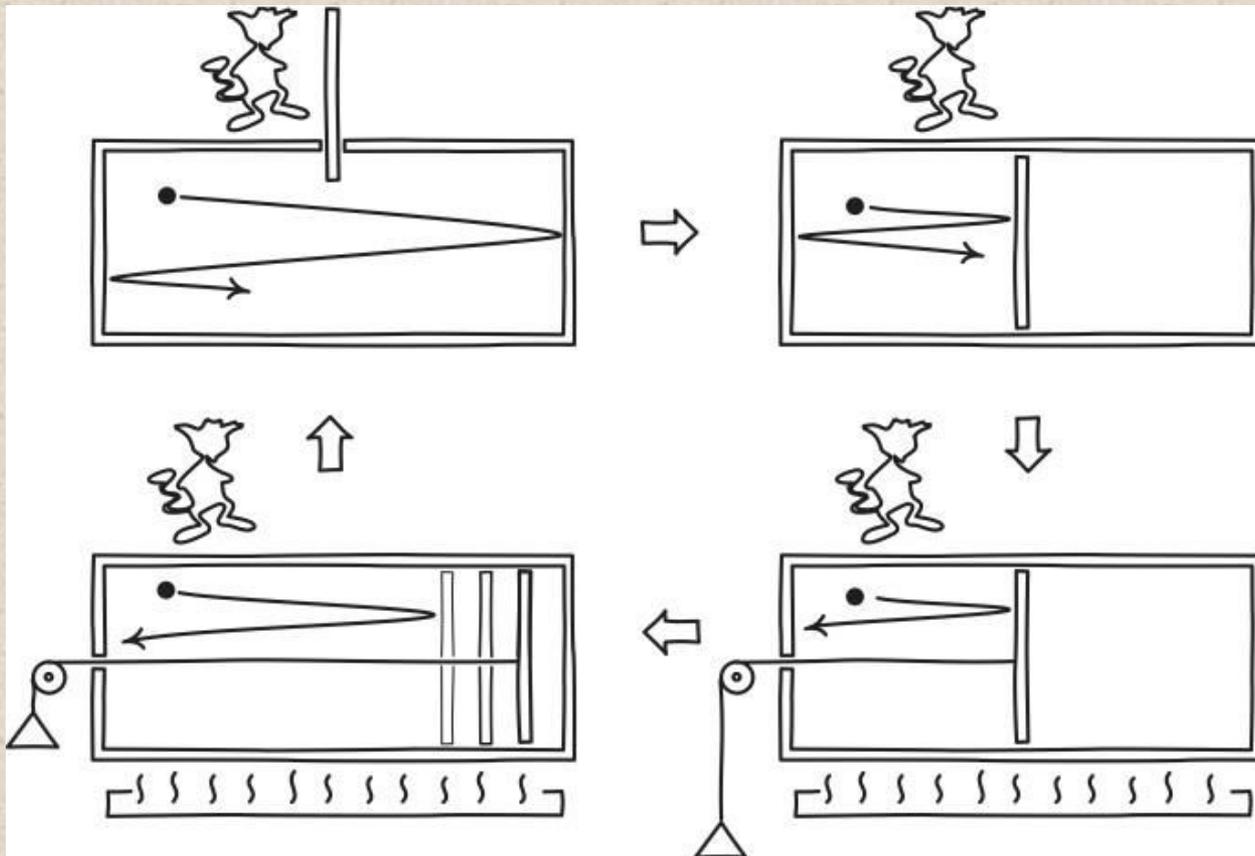


*“La segunda ley de la termodinámica sólo es cierta estadísticamente”*

- Maxwell’s Deamon and the Second Law of Thermodynamics – P. Radhakrishnamurty

# El exorcismo – Segunda parte (1929 – 1961)

En 1929 **Leo Szilard** determinó que el proceso de medición cuesta una entropía  $S = k \ln(2)$ , un *bit*.



Leo Szilard  
(1898 – 1964)

# *El exorcismo – Segunda parte (1929 – 1961)*

**Léon Brillouin** extiende las ideas de Szilard, conectando medición con información. Argumentó que los fotones usados en la medición disipan energía, incrementando la entropía y salvando la segunda ley.

Los trabajos de Szilard y Brillouin fueron ampliamente aceptados. El demonio necesita información para operar, y su obtención cuesta lo suficiente como para salvar la segunda ley.



Nacimiento de la Teoría de la información

# *El exorcismo – Tercera parte (1961 –)*

En 1961 **Rolf Landauer** introduce el principio de *irreversibilidad lógica*.

- *Irreversibility and heat generation in the computing process*, R. Landauer, IBM Journal, 5-183, 1961

**Bennett** extendió el trabajo de Landauer. Para que el demonio observe una molécula, primero debe olvidarse las observaciones anteriores. Descartar información cuesta termodinámicamente: disipa energía, incrementando la entropía.

Notar que esto es independiente de utilizar fotones para obtener información. Se completa el exorcismo del demonio.

- Demonios, motores y la segunda ley – Charles H. Bennett

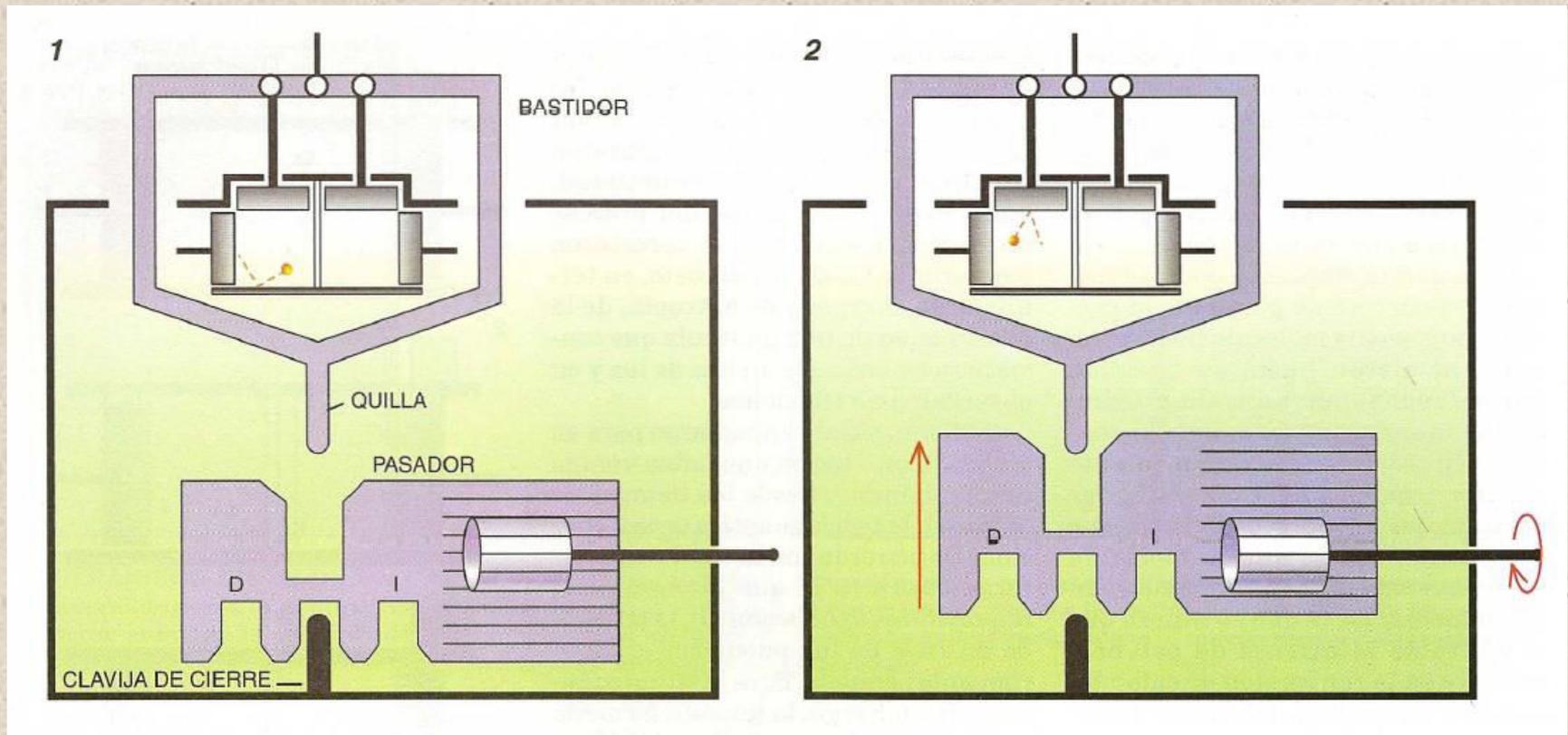


Rolf Landauer  
(1927 – 1999)

# Aparato de medición de Bennett

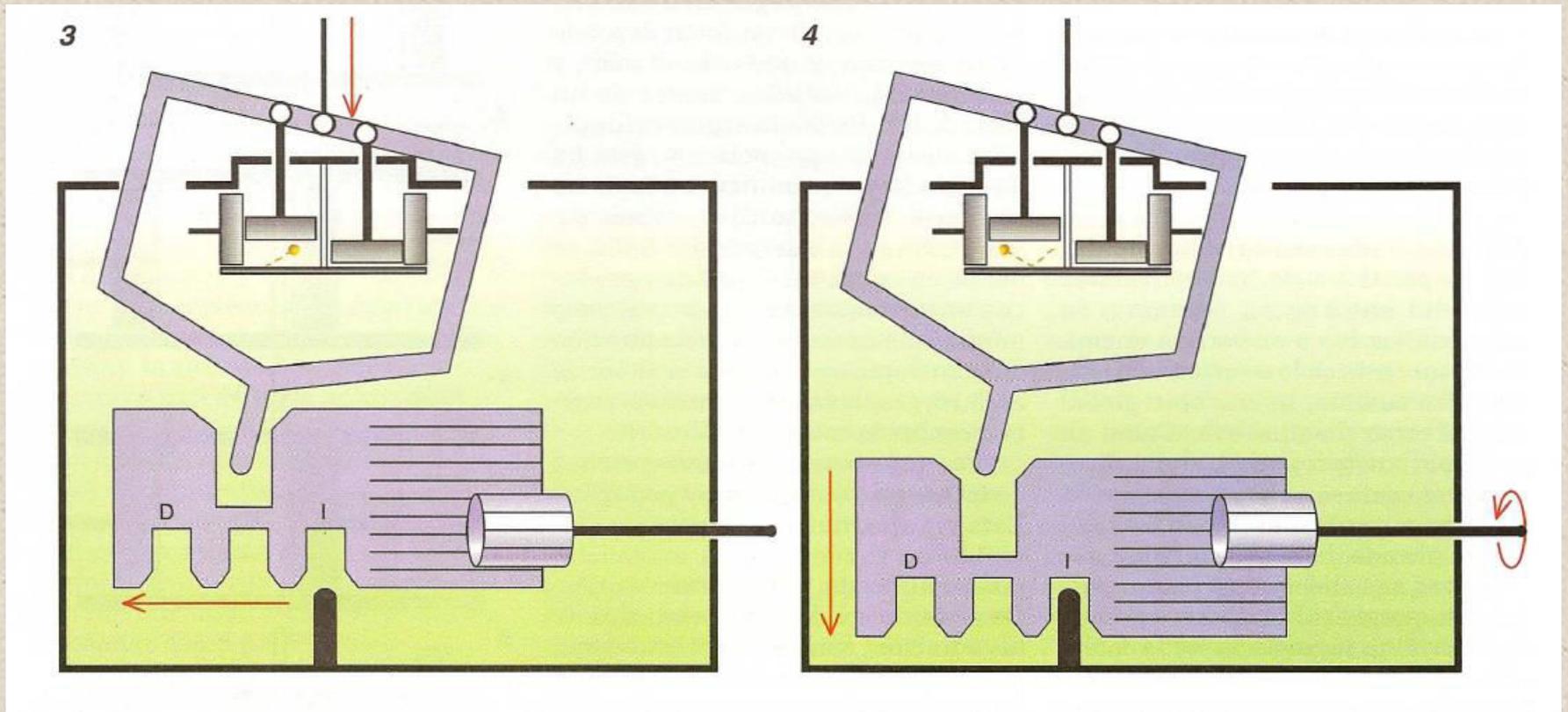
Según **Bennett**, la medición no es costosa termodinámicamente.

Aparato de medición en el motor de Szilard:



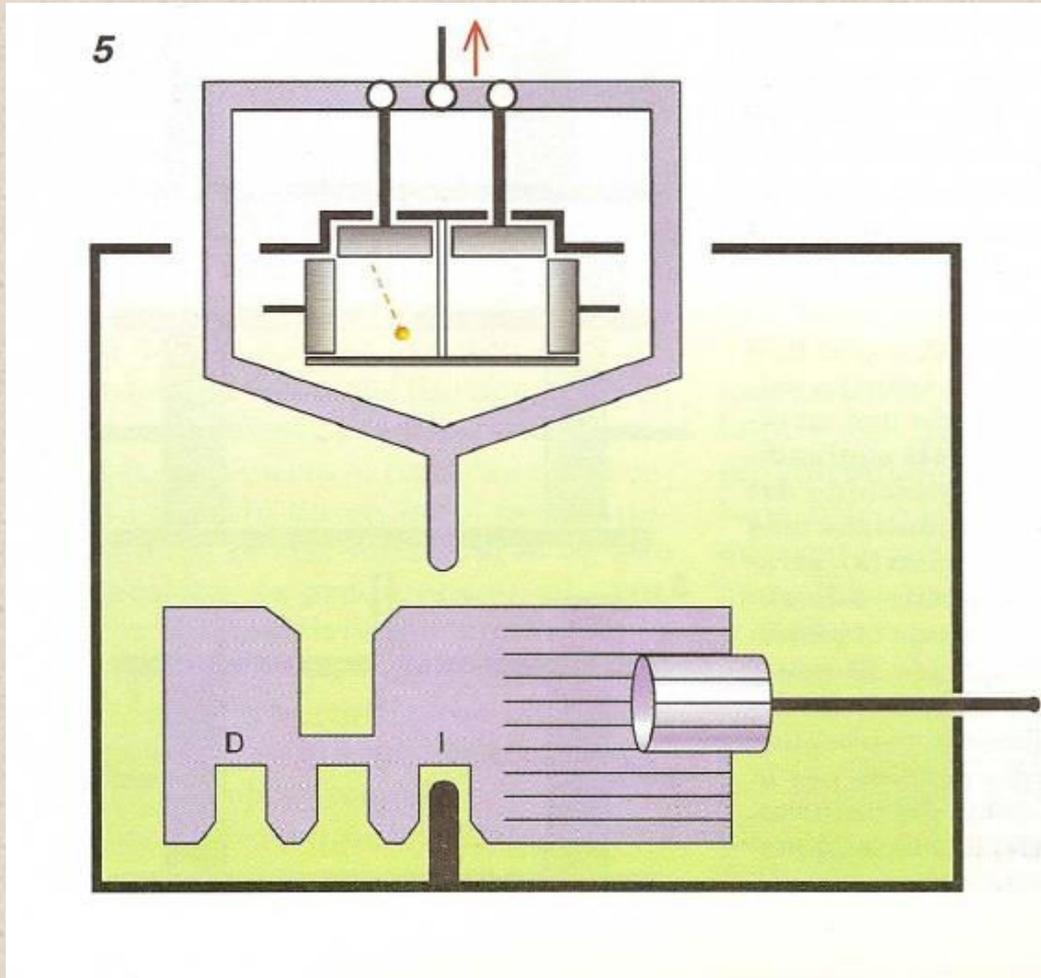
- Demonios, motores y la segunda ley – Charles H. Bennett

# *Aparato de medición de Bennett*



- Demonios, motores y la segunda ley – Charles H. Bennett

# Aparato de medición de Bennett



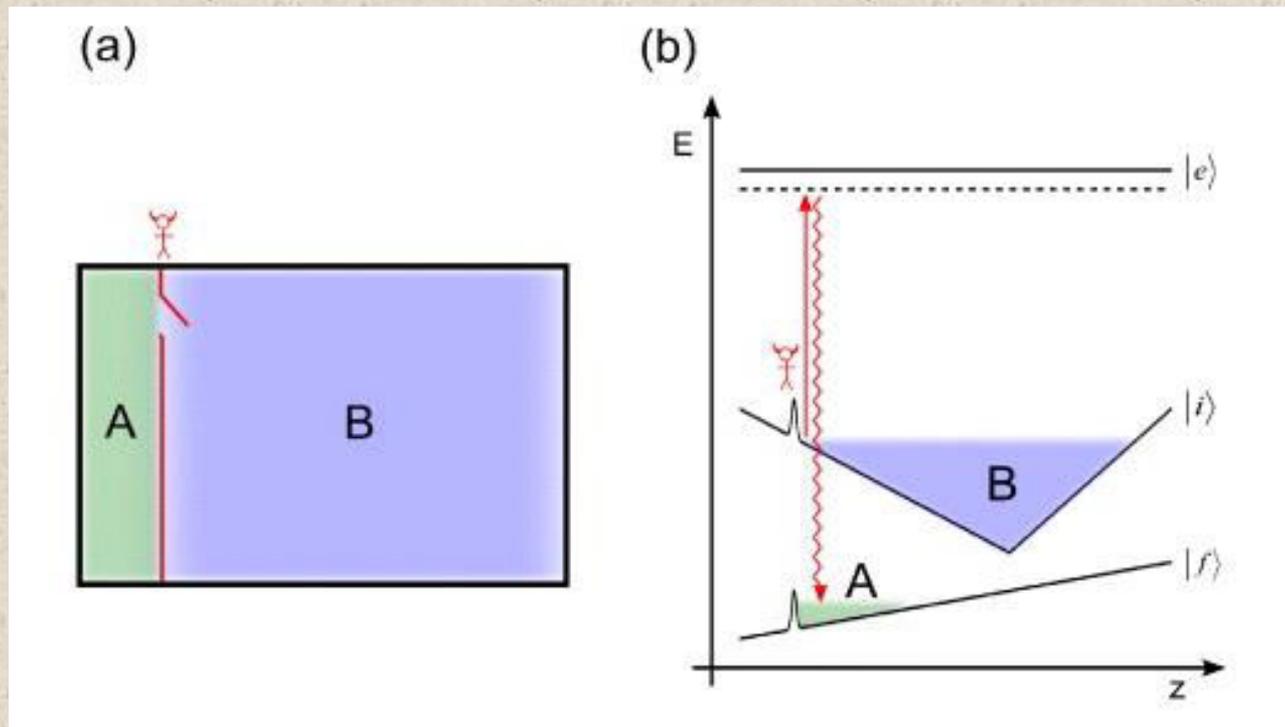
El trabajo requerido para efectuar la operación puede hacerse despreciable.

Para invertir la operación y volver a empezar, se seguirían los distintos pasos en el orden inverso.

# Aplicaciones experimentales

La idea del Demonio de Maxwell ha sido aplicada experimentalmente en los últimos años. Se aplica principalmente como **método de enfriamiento**.

Single - photon cooling:



Baja eficiencia: 2%

Pudieron obtener átomos a  $4.3\mu\text{K}$ , empezando a  $53\mu\text{K}$ .

El aumento de entropía viene de los fotones.

- Single-photon cooling at the limit of trap dynamics: Maxwell's demon near maximum efficiency – S. Bannerman, G. N Price, K. Viering and M. G Raizen