

El problema de la irreversibilidad temporal: primera parte

Olimpia Lombardi

CONICET – Universidad de Buenos Aires

Seminario mensual

Grupo de filosofía de las ciencias de Buenos Aires

Buenos Aires, 11 de Agosto de 2021



CONTENIDO

- **¿Qué es la mecánica estadística?**
- **Los orígenes de la termodinámica**
- **La ley de distribución de Maxwell**

CONTENIDO

- **¿Qué es la mecánica estadística?**
- Los orígenes de la termodinámica
- La ley de distribución de Maxwell

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Rama de la física que combina las leyes de la mecánica con procedimientos estadísticos, a fin de explicar y predecir las propiedades mensurables de los sistemas mecánicos macroscópicos en función del comportamiento de sus constituyentes microscópicos

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Rama de la física que combina las leyes de la mecánica con procedimientos estadísticos, a fin de explicar y predecir las propiedades mensurables de los sistemas mecánicos macroscópicos en función del comportamiento de sus constituyentes microscópicos



Sistemas de muchos grados de libertad
(muchísimas partículas)

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Rama de la física que combina las leyes de la mecánica con procedimientos estadísticos, a fin de explicar y predecir las propiedades mensurables de los sistemas mecánicos macroscópicos en función del comportamiento de sus constituyentes microscópicos



Sistemas de muchos grados de libertad
(muchísimas partículas)



conocimiento incompleto
(probabilidad por ignorancia)

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Primera aplicación

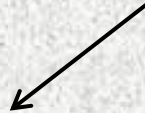
Explicación mecánica de la termodinámica

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Primera aplicación

Explicación mecánica de la termodinámica



Estado: posición y momento
(momento = masa \times velocidad)

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Primera aplicación

Explicación mecánica de la termodinámica



Estado: posición y momento
(momento = masa \times velocidad)



Volumen, presión, energía,
temperatura, entropía

¿Qué es la mecánica estadística?

Mecánica estadística

Primera aplicación

Explicación mecánica de la termodinámica



Estado: posición y momento
(momento = masa \times velocidad)



Volumen, presión, energía,
temperatura, entropía

Problema de la irreversibilidad

Cómo lograr la compatibilidad entre la evolución macroscópica irreversible de los sistemas termodinámicos y la dinámica microscópica t -invariante de sus componentes mecánicos

CONTENIDO

- ¿Qué es la mecánica estadística?
- **Los orígenes de la termodinámica**
- La ley de distribución de Maxwell

Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas –máquinas que transforman energía térmica en trabajo mecánico– comenzaron a construirse en Inglaterra en el s. XVIII bajo la presión de la primera Revolución Industrial.

Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas –máquinas que transforman energía térmica en trabajo mecánico– comenzaron a construirse en Inglaterra en el s. XVIII bajo la presión de la primera Revolución Industrial.

- 1698: Thomas Savery patentó una máquina de vapor para extraer agua en las minas de carbón.
- 1705: Thomas Newcomen y John Cawley mejoraron el modelo original, iniciando la fabricación de máquinas térmicas para su venta masiva.
- 1781: James Watt ideó la forma de usar una máquina térmica para hacer girar un eje, con lo cual las aplicaciones se multiplicaron rápidamente.
- 1807: Robert Fulton hizo navegar un barco en el río Hudson mediante máquinas de vapor diseñadas por Watt
- 1829: George Stephenson fue el primero en adaptar una máquina térmica para mover una locomotora

Máquinas térmicas

Las máquinas térmicas –máquinas que transforman energía térmica en trabajo mecánico– comenzaron a construirse en Inglaterra en el s. XVIII bajo la presión de la primera Revolución Industrial.

- 1698: Thomas Savery patentó una máquina de vapor para extraer agua en las minas de carbón.
- 1705: Thomas Newcomen y John Cawley mejoraron el modelo original, iniciando la fabricación de máquinas térmicas para su venta masiva.
- 1781: James Watt ideó la forma de usar una máquina térmica para hacer girar un eje, con lo cual las aplicaciones se multiplicaron rápidamente.
- 1807: Robert Fulton hizo navegar un barco en el río Hudson mediante máquinas de vapor diseñadas por Watt
- 1829: George Stephenson fue el primero en adaptar una máquina térmica para mover una locomotora

Todavía no existía comprensión alguna acerca de los fundamentos teóricos de su funcionamiento

Nacimiento de la termodinámica

Sadi Carnot (convencido de que la superioridad económica y militar de Inglaterra se debía a su desarrollo tecnológico) recién en 1824 publicó “*Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego y sobre las Máquinas para Desarrollar esta Potencia*”

Nacimiento de la termodinámica

Sadi Carnot (convencido de que la superioridad económica y militar de Inglaterra se debía a su desarrollo tecnológico) recién en 1824 publicó “*Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego y sobre las Máquinas para Desarrollar esta Potencia*”



El calor, al pasar de un depósito de temperatura más alta a otro de temperatura más baja, realiza trabajo.

Los orígenes de la termodinámica

Nacimiento de la termodinámica

Sadi Carnot (convencido de que la superioridad económica y militar de Inglaterra se debía a su desarrollo tecnológico) recién en 1824 publicó “*Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego y sobre las Máquinas para Desarrollar esta Potencia*”



El calor, al pasar de un depósito de temperatura más alta a otro de temperatura más baja, realiza trabajo.



Luego se convertiría en el *Primer Principio de la Termodinámica*

Nacimiento de la termodinámica

- Década de 1850, Clausius enuncia un nuevo principio físico: el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo más frío a otro más caliente, permaneciendo inmutable el resto del universo.

Nacimiento de la termodinámica

- Década de 1850, Clausius enuncia un nuevo principio físico: el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo más frío a otro más caliente, permaneciendo inmutable el resto del universo.
- 1865: Clausius introduce el concepto de *entropía*: función de estado (de equilibrio), independiente del proceso:

$$dS = dQ/T$$

Nacimiento de la termodinámica

- Década de 1850, Clausius enuncia un nuevo principio físico: el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo más frío a otro más caliente, permaneciendo inmutable el resto del universo.
- 1865: Clausius introduce el concepto de *entropía*: función de estado (de equilibrio), independiente del proceso:

$$dS = dQ/T$$

En cualquier sistema *aislado* térmica y mecánicamente respecto de su entorno, *la entropía no puede decrecer*

Nacimiento de la termodinámica

- Década de 1850, Clausius enuncia un nuevo principio físico: el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo más frío a otro más caliente, permaneciendo inmutable el resto del universo.
- 1865: Clausius introduce el concepto de *entropía*: función de estado (de equilibrio), independiente del proceso:

$$dS = dQ/T$$

En cualquier sistema *aislado* térmica y mecánicamente respecto de su entorno, *la entropía no puede decrecer*



Segundo Principio de la Termodinámica

Nacimiento de la termodinámica

Extrapolación cosmológica del Segundo Principio: Clausius

Nacimiento de la termodinámica

Extrapolación cosmológica del Segundo Principio: Clausius



Si el universo es, por definición, un sistema aislado, su entropía tiende a un máximo, situación en la cual todas las diferencias de energía habrán desaparecido en una uniformidad que impedirá todo ulterior proceso:

Nacimiento de la termodinámica

Extrapolación cosmológica del Segundo Principio: Clausius



Si el universo es, por definición, un sistema aislado, su entropía tiende a un máximo, situación en la cual todas las diferencias de energía habrán desaparecido en una uniformidad que impedirá todo ulterior proceso:

“cuanto más el universo se acerca a esta situación límite en la cual la entropía es máxima, más disminuyen las ocasiones de ulteriores cambios; y suponiendo que esta situación fuera finalmente alcanzada, ningún ulterior cambio podría ya producirse, y el universo se encontraría en un estado de muerte térmica”
(Clausius 1868)

CONTENIDO

- ¿Qué es la mecánica estadística?
- Los orígenes de la termodinámica
- **La ley de distribución de Maxwell**

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Interregno 1790-1820 . Teoría del Calórico

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Interregno 1790-1820 . Teoría del Calórico

- Gases: sustancias en sí mismas
(partículas vibran in situ como en sólidos)

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Interregno 1790-1820 . Teoría del Calórico

- Gases: sustancias en sí mismas
(partículas vibran in situ como en sólidos)

Con Lavoisier (fines del siglo XVIII):

- Gas: estado de una sustancia → partículas muy separadas

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Interregno 1790-1820 . Teoría del Calórico

- Gases: sustancias en sí mismas
(partículas vibran in situ como en sólidos)

Con Lavoisier (fines del siglo XVIII):

- Gas: estado de una sustancia → partículas muy separadas



Modelos de gases donde las partículas viajan entre choques

Siglos XVII y XVIII:

- Corpuscularismo: calor = movimiento de partículas
(a la sombra de Newton)

Interregno 1790-1820 . Teoría del Calórico

- Gases: sustancias en sí mismas
(partículas vibran in situ como en sólidos)

Con Lavoisier (fines del siglo XVIII):

- Gas: estado de una sustancia → partículas muy separadas



Modelos de gases donde las partículas viajan entre choques

Teoría cinética de los gases

La ley de distribución de Maxwell

- Clausius 1857-1858: primeros modelos cinéticos de gases

La ley de distribución de Maxwell

- Clausius 1857-1858: primeros modelos cinéticos de gases

La presión del gas se debe al impacto mecánico de las moléculas contra las paredes del recipiente

La ley de distribución de Maxwell

- Clausius 1857-1858: primeros modelos cinéticos de gases

La presión del gas se debe al impacto mecánico de las moléculas contra las paredes del recipiente



La presión del gas es proporcional a la energía cinética de traslación de las moléculas [$P = cte \times 1/2 mv^2$].

La ley de distribución de Maxwell

- Clausius 1857-1858: primeros modelos cinéticos de gases

La presión del gas se debe al impacto mecánico de las moléculas contra las paredes del recipiente



La presión del gas es proporcional a la energía cinética de traslación de las moléculas [$P = cte \times 1/2 mv^2$].

Ley de Boyle-Charles: La presión del gas es proporcional a su temperatura [$P = cte. T$]

La ley de distribución de Maxwell

- Clausius 1857-1858: primeros modelos cinéticos de gases

La presión del gas se debe al impacto mecánico de las moléculas contra las paredes del recipiente



La presión del gas es proporcional a la energía cinética de traslación de las moléculas [$P = cte \times 1/2 mv^2$].



Ley de Boyle-Charles: La presión del gas es proporcional a su temperatura [$P = cte. T$]



$$T = cte \times 1/2 mv^2$$

$$T = cte \times E_{kmedia}$$

La ley de distribución de Maxwell

- Maxwell 1860: se interesa por el modelo cinético de Clausius

La ley de distribución de Maxwell

- Maxwell 1860: se interesa por el modelo cinético de Clausius

Clausius → Todas las moléculas a la misma velocidad

Maxwell → Distribución de velocidades de las moléculas

La ley de distribución de Maxwell

- Maxwell 1860: se interesa por el modelo cinético de Clausius

Clausius → Todas las moléculas a la misma velocidad

Maxwell → Distribución de velocidades de las moléculas

Ley de distribución de Maxwell

$$f(v) = \alpha v^2 \exp(-\beta^2 v^2)$$

En ***equilibrio*** la distribución es ésta,
y no cambia a pesar del movimiento
de las moléculas y sus choques

La ley de distribución de Maxwell

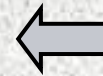
- Maxwell 1860: se interesa por el modelo cinético de Clausius

Clausius → Todas las moléculas a la misma velocidad

Maxwell → Distribución de velocidades de las moléculas

Ley de distribución de Maxwell

$$f(v) = \alpha v^2 \exp(-\beta^2 v^2)$$



Primera aplicación de
métodos estadísticos
en física

En ***equilibrio*** la distribución es ésta,
y no cambia a pesar del movimiento
de las moléculas y sus choques

La ley de distribución de Maxwell

- Maxwell 1860: se interesa por el modelo cinético de Clausius

Clausius → Todas las moléculas a la misma velocidad

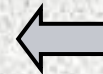
Maxwell → Distribución de velocidades de las moléculas

Ley de distribución de Maxwell

$$f(v) = \alpha v^2 \exp(-\beta^2 v^2)$$

En ***equilibrio*** la distribución es ésta, y no cambia a pesar del movimiento de las moléculas y sus choques

Primera aplicación de
métodos estadísticos
en física



Stephen Brush (1976) sostiene que el rechazo del determinismo de principios del siglo XX con la cuántica encuentra sus raíces en estos trabajos

La ley de distribución de Maxwell

Maxwell → primera *interpretación estadística* del Segundo Principio

“la verdad del segundo principio es, por tanto, una verdad estadística, no matemática, porque depende del hecho de que los cuerpos que manejamos consisten en millones de moléculas. [...] De ahí que el segundo principio de la termodinámica se viole continuamente –y en no pequeña medida– en cualquier grupo pequeño de moléculas perteneciente a un cuerpo real” (1872)

La ley de distribución de Maxwell

Maxwell → primera *interpretación estadística* del Segundo Principio

el Segundo Principio “es sin duda cierto en la medida en que sólo podemos manejar los cuerpos a través de su masa, careciendo de capacidad para percibir o manipular las distintas moléculas de que están compuestos. Pero si imaginamos un ser cuyas facultades estén tan avezadas que pueda seguir el curso de cada molécula, ese ser, cuyos atributos son aún tan esencialmente finitos como los nuestros, sería capaz de hacer lo que hoy por hoy nos resulta imposible. Porque hemos visto que las moléculas en un recipiente lleno de aire a temperatura uniforme se mueven con velocidades que en absoluto son uniformes, aunque la velocidad media de un gran número de ellas, seleccionadas arbitrariamente, es casi exactamente uniforme. Supongamos ahora que el recipiente está dividido en dos porciones A y B, mediante una división en la que hay un pequeño orificio, y que un ser, que puede distinguir cada molécula por separado, abre y cierra la compuerta, permitiendo que sólo las moléculas más rápidas pasen de A a B y sólo las más lentas de B a A. De esta manera, y sin gasto de trabajo, aumentará la temperatura de B y disminuirá la de A, en contradicción con el segundo principio de la termodinámica” (1871)

La ley de distribución de Maxwell

Maxwell → primera *interpretación estadística* del Segundo Principio

el Segundo Principio “es sin duda cierto en la medida en que sólo podemos manejar los cuerpos a través de su masa, careciendo de capacidad para percibir o manipular las distintas moléculas de que están compuestos. Pero si imaginamos un ser cuyas facultades estén tan avezadas que pueda seguir el curso de cada molécula, ese ser, cuyos atributos son aún tan esencialmente finitos como los nuestros, sería capaz de hacer lo que hoy por hoy nos resulta imposible. Porque hemos visto que las moléculas en un recipiente lleno de aire a temperatura uniforme, a ***Diablillo de Maxwell*** es que en absoluto son seleccionadas arbitrariamente, es casi exactamente uniforme. Supongamos ahora que el recipiente está dividido en dos porciones A y B, mediante una división en la que hay un pequeño orificio, y que un ser, que puede distinguir cada molécula por separado, abre y cierra la compuerta, permitiendo que sólo las moléculas más rápidas pasen de A a B y sólo las más lentas de B a A. De esta manera, y sin gasto de trabajo, aumentará la temperatura de B y disminuirá la de A, en contradicción con el segundo principio de la termodinámica” (1871)

El problema de la irreversibilidad temporal: primera parte

Muchas gracias!!

Seminario mensual

Grupo de filosofía de las ciencias de Buenos Aires

Buenos Aires, 11 de Agosto de 2021

