

Septiembre, 2024

THE QUANTUM STORY

Rocio Saravia, Colegio Verbo Encarnado



THE QUANTUM STORY

Para poder comprender de lo que trata este libro debemos saber que:

- **Los principios de la termodinámica establecían que:**

- La naturaleza poseía un flujo armónico.

- La energía no se crea ni se destruye y fluye continuamente entre sustancias materiales y radiactivas.

- La segunda ley de la termodinámica era lo que causaba mayor conflicto. Ya que sostenía que para una sustancia (por ejemplo gas) contenida en un sistema cerrado, aislado del exterior y privada de intercambiar energía, la cantidad termodinámica conocida como “**entropía**” (cantidad abstracta que solemos interpretar como la cantidad de **desorden** en un sistema) crecería espontáneamente e inexorablemente hasta que el gas alcanzara el equilibrio con su alrededor sin parar

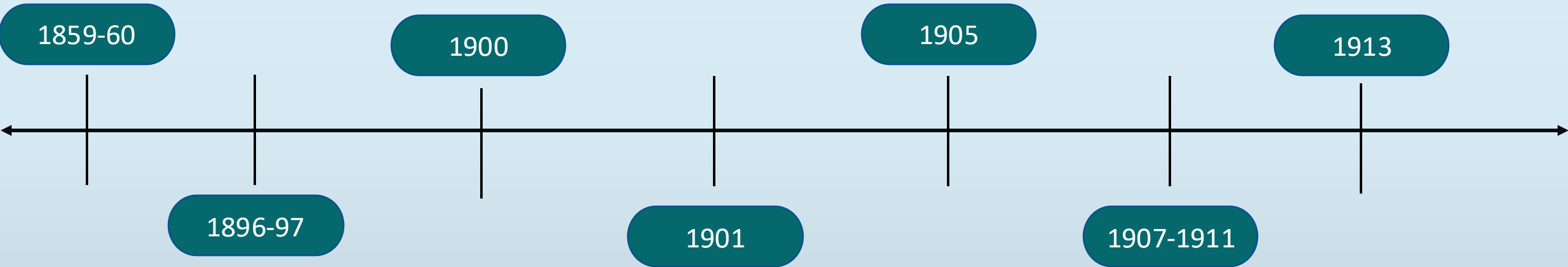
- **Los atomistas:**

- Reducieron el calculo de la termodinámica cuántica a el movimiento atómico y molecular y esto trajo irreversibles consecuencias. Además, sostenían que la materia no era continua y estaba compuesta de átomos y moléculas.

- Ludwing Boltzmann** (líder de los atomistas):decía que la entropía no aumenta siempre, que si esperamos el tiempo adecuado parodiamos verla decrecer, pero claro que eso sería mucho más tiempo de lo que dura nuestra existencia.



THE QUANTUM STORY



1859-60:

Gustav Kirchhoff demostró que la relación entre la energía emitida y absorbida solo dependía de la **frecuencia de la radiación y la temperatura** dentro de una cavidad, no de su forma, de sus paredes o su material.



- **1896:**

Wilhelm Wien ideó una relación matemática entre la frecuencia radioactiva y la temperatura de una cavidad.

- **1897:**

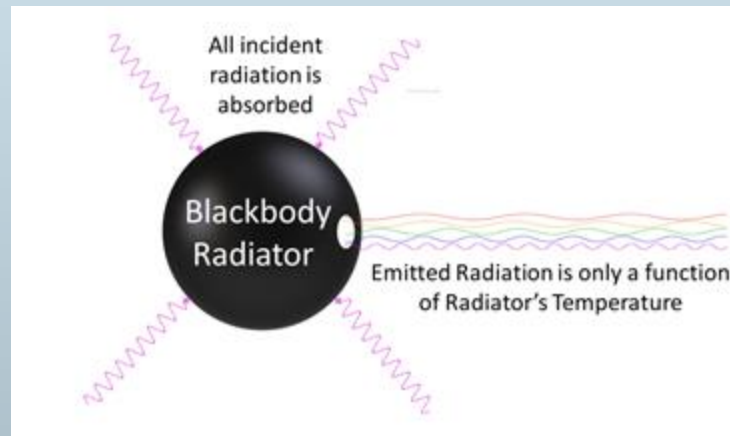
Max Planck partió desde la teoría de “cavity radiation” o también llamada “Black-Body” como terreno para enfrentarse a sus rivales atomistas y así poder reconciliar la mecánica con la termodinámica.

La cavity radiation no tenía relación con átomos ni moléculas. Era un hipotético objeto que es completamente no-reflectivo que absorbe y emite luz radioactiva sin favorecer a ningún tipo de frecuencias. La intensidad radioactiva de este cuerpo está directamente relacionada con la cantidad de energía en el mismo cuando este está en equilibrio con su entorno.

Las propiedades de este cuerpo podían ser probadas si estudiaban la radiación encerrada dentro de una cavidad con paredes absorbentes perforadas con un pequeño alfiler por el cual la radiación podría entrar y salir.

Su comportamiento funcionaba de tal forma que si calentamos un objeto a una temperatura alta, este ganará energía y emitirá luz. Cuando la temperatura crece, el objeto aumenta la intensidad de su luz y a medida que se calienta se pone de color rojo, luego entre naranja y amarillo, amarillo brillante y por último blanco brillante.

Si Planck podía comprobar el equilibrio de la temperatura, podría quitarle valor a la teoría estadística-mecánica de los atomistas ya que estas ondas radioactivas no tenían relación con los movimientos moleculares o atómicos.



1900:

- Un físico alemán llamado **Otto Lummer**, informó resultados experimentales que probaban que la ley de Wien fallaba cuando se trataba de bajas frecuencias radiactivas. Por ende, no era correcta .
- En Octubre de este mismo año, Heinrich Rubens había obtenido nuevos resultados experimentales. Había estudiado la radiación de las cavidades de frecuencias bajas. Su descripción del comportamiento de las mismas impulsó a que **Planck** continuara trabajando por su cuenta en su estudio. **Adaptó la ley de Wien**, después de muchas conjeturas, a una expresión que encajaba con toda la información disponible sobre experimentos. Entonces Planck, había descubierto la **ley de radiación**.

-Requería de dos **constantes fundamentales**:

- Una relacionada con la temperatura.
- Una relacionada con la frecuencia de radiación, que después fue nombrada “h” y mucho más tarde, “constante de Planck”. Pero él la llamó “ the Elementary quantum of action”

La cuál, cuando se combinaban con la velocidad de la luz y la constante gravitacional de Newton, las dos constantes de Planck prometían bases fundamentales para todas las cantidades físicas y ofrecer la posibilidad de establecer unidades de medida de **longitud, masa, tiempo y temperatura**, independientes en todo sentido. Luego, fueron llamadas “**unidades físicas de medida**”.

- Planck expuso el problema de interacción entre el campo electromagnético y un equipo de osciladores vibrantes cuyo primer propósito era asegurarse que la energía este equilibrada adecuadamente mediante un continuo proceso de emisión y absorción dentro de la cavidad.
- Él utilizó la ley de radiación para establecer una expresión para **teoría de Boltzmann** por en específico. También debía hacerlo con los “primeros principios” pero siempre recaía en la
- Planck, utilizó las estadísticas de Boltzmann modificándolas un poco. Él examinó las permutaciones de elementos de energía indistinguible sobre los osciladores de la cavidad (Boltzmann lo hacía con la energía distinguible).



- **1900:**
- Para obtener los resultados que quería, los elementos de la energía debían estar directamente relacionados a la frecuencia de los osciladores (por ende la frecuencia de la radiación) según esta relación: **$e=hf$ (elemento energético es igual a la constante de Planck por la frecuencia).**
- Además, Planck había presentado sin darse cuenta que la energía podía ser cuantificada y había descubierto la constante de Boltzmann (k) que eran propiedades de la segunda constante de la ley de la radiación.



- El acercamiento de Boltzmann, consistía en calcular la entropía de un gas, es decir asumir que toda energía disponible podía ser organizado en “paquetes”. El más bajo se llamaba “e”, el siguiente “2e”, el próximo “3e” y así sucesivamente. En este análisis la energía permanece continuamente variable.

Lo que había hecho era “empaquetar” la energía y así podría contar la cantidad de moléculas en el rango de energía desde “0” hasta “e”, por ejemplo, y así calcular el número de posibles permutaciones.

Boltzmann entendió que el estado más probable del gas sería el que tuviera el más alto número de posibles permutaciones para la energía disponible, representando la máxima entropía de la energía.

Ejemplo: para una energía disponible de 4e, las permutaciones de energía distinguible eran únicamente 3, en cambio las de energía indistinguible eran 15.

Boltzmann:

(a;b;c)

| | | | |
|---------|----|----|----|
| -----3e | | | |
| -----2e | c | a | b |
| ----- e | ab | cb | ac |

Planck:

(; ;)

| | | |
|----------|-----------|-----------|
| (4e;0;0) | (e;0;3e) | (3e;0;e) |
| (0;4e;0) | (2e;2e;0) | (0;3e;e) |
| (0;0;4e) | (0;2e;2e) | (0;e;3e) |
| (3e;e;0) | (2e;e;e) | (2e;0;2e) |
| (e;3e;0) | (e;e;2e) | (e;2e;e) |



1901:

- Planck utilizó la información experimental disponible para obtener estimados para ambas constantes “h” y “k”. Esta última la uso para calcular “avogadro’s number” (el número de átomos o moléculas presentes en una característica cantidad de pura sustancia llamada “mole^{1.}”) y esto para determinar la carga de un electrón.



1. peso atómico o molecular de una sustancia en gramos.

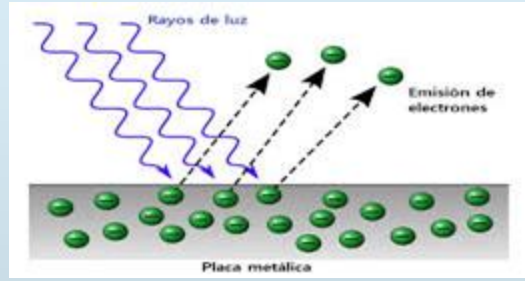
1905:

- Albert Einstein, quien hasta el momento era experto técnico de tercera clase, había estado trabajando en cuatro artículos de revista:
 1. **Radiación y propiedades energéticas de la luz;** Explica que la ley de radiación, solo tiene sentido si la radiación es pensada como estar compuesta por discretos paquetes de energía que el llamo´ “light quanta”.
 2. **Determinación del tamaño real de los átomos;** explicaba la realidad física de las moléculas y algunas consecuencias observables de los movimientos moleculares.
 3. **Prueba que los cuerpos en el orden de magnitud 1/1000 mm, suspendidos en líquidos, deben realizar movimientos aleatorios observables.**
 4. Es más que nada un borrador pero, es la electrodinámica de cuerpos en movimiento que implican una modificación de **la teoría de espacio y tiempo;** en el, Einstein desarrolló su teoría de la relatividad.
 5. Por último, existía un quinto artículo (que era un suplemento del núm. 4), en el cuál se desarrolló la ecuación **$e=mc^2$** .
- Por otra parte, Einstein estaba a punto de hacer un movimiento revolucionario, pero el problema era que no podía ser justificado dentro del trabajo agrícola de la teoría clásica. Él lo resolvió presentando lo que llamó “**heuristic principle 2**”. El sugirió como una hipótesis no comprobada que: si la radiación monocromática (de un densidad suficientemente baja) se comporta dependiendo de su entropía en volumen, como si la radiación fuera un medio discontinuo que consiste en energía quanta de magnitud $[hv]$, entonces parece razonable investigar si las leyes que gobiernan la emisión y transformación de luz también están construidas como si la luz consistiese en tal energía.
- Einstein (retomando la teoría de la luz “corpuscular”) asumió que en la propagación rayos de luces emitidos desde un lugar en específico, la energía no se distribuye continuamente sobre los volúmenes del espacio que están siempre en crecimiento, pero consiste de un número finito de energía quanta localizada en puntos del espacio que se mueven sin dividirse, y pueden ser absorbidas o generadas solo como unidades completas.



- Einstein decía que los fenómenos de la interferencia y difracción de la luz, podía ser explicada únicamente con el modelo de onda. Entonces, la interferencia de la luz no reflejaba la instantaneidad del movimiento de una onda individual localizada en light-quanta sino más bien los movimientos colectivos de muchos light-quanta promediados estadísticamente a lo largo del tiempo.
- Luego, enfoco su mirada en el **efecto fotoeléctrico** que constaba en que, era de público conocimiento que una luz brillante en una superficie metálica podía resultar en la expulsión de electrones de esta superficie. En el modelo de onda de luz, la energía de la luz es proporcional a la amplitud (o intensidad) de la onda de luz. Entonces, si la intensidad de la luz incrementa, parece razonables asumir que la energía de los electrones expulsados podrá incrementar como consecuencia. Pero esto no fue lo que descubrió en su laboratorio.

Se descubrió que solo el número de electrones expulsados incrementaría con la intensidad de la luz que también lo hacía, no sus energías individuales. En cambio, estas últimas si aumentaban a medida que lo hacia la frecuencia de la luz, completamente en desacuerdo con la teoría aceptada de radiación electromagnética.



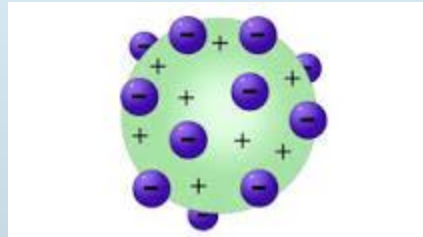
- Albert Einstein resolvió este problema sugiriendo que un light-quantum que llega a una superficie transfiere toda su energía a un único electrón. Ese electrón, es expulsado con una energía igual a la de el light-quantum menos una cantidad expulsada cuando escapaba de la superficie, y que luego será una característica de los metales.
- Tomó la ecuación de Planck, $e=hf$ y asumió que representaba la relación entre la energía de el light-quantum y su (radiación) frecuencia. La hizo una propiedad fundamental de la luz relevante en todas las situaciones. Esta teoría era bastante simple y gracias a ella puedo comprobar varias predicciones importantes.



1907: Einstein anticipó que la cuantización de energía tendría que ser un fenómeno mucho más universal. Y este año se comenzó a desarrollar una teoría sobre las capacidades de calentamiento de los sólidos cristalinos, pero nadie tomó su trabajo en serio en ese momento.

1909: nuevos resultados experimentales forzaron a los físicos a prestar más atención a esta teoría. A partir de este año se comenzaron a hacer investigaciones sobre la estructura interna del electrón y los resultados de dichos experimentos fueron interpretados por un físico de apellido Rutherford para significar que la mayoría de la masa atómica en un pequeño núcleo central con los más ligeros electrones orbitando en el núcleo. De acuerdo con este modelo el átomo es espacio en gran parte vacío.

1910: Thomson fue forzado a re pensar su modelo teórico de átomos que constaba de esferas uniformes de carga positiva sin peso en la cuál cientos de electrones de carga negativa están incrustados, cuando experimentos en el laboratorio de Cambridge mostraron que el había sobreestimado el número de electrones presentantes en cada átomo, no eran cientos eran considerablemente menos.



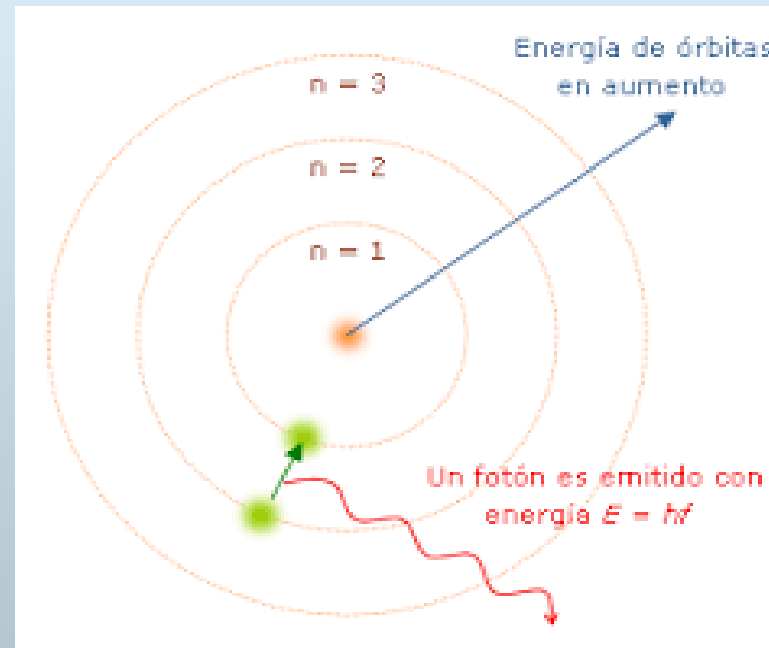
1911: un creciente número de científicos empezaron a citar a Einstein y aceptar ideas cuánticas.



1913: Bohr quien comenzó a trabajar con Rutherford y fue mientras estaba trabajando en unos problemas planteados por Darwin que fue conducido desde la radiactividad hasta la estructura atómica. Él tenía que seguir trabajando con el hecho de que un sistema de electrones de carga negativa orbitando un núcleo cargado positivamente es inestable. Pero él razonó que algo de progreso se podría lograr si se utilizaban las ideas cuánticas.

Bohr hipotetizó que si los átomos eran estables, entonces esto seguro significaba que tenían que existir ciertas configuraciones de electrones orbitando un núcleo central, que también lo fuesen. Esta órbita estable dependería de alguna manera, que todavía no se especificaba, de la constante de Planck.

También la derivación de Planck de su ley de radiación había sugerido que los osciladores de la cavidad podrían absorber o emitir energía solo en múltiplos íntegros del elemento de la energía $h\nu$. Pero Bohr ahora había asumido que las órbitas de los electrones estarían organizadas de manera similar, la creciente energía orbital como $n h\nu$, donde n es igual a 1, 2, 3,... La energía más baja, la órbita estable más interna correspondería a $n=1$



MUCHAS GRACIAS!