

## LA FÍSICA LLEVADA AL LÍMITE

EDUARDO VERDÍN LÓPEZ\*

### RESUMEN

En este escrito se trata de dar una visión de los temas que revolucionaron la física de los inicios del siglo pasado, antes de que las aplicaciones tecnológicas se tornaran prioritarias. El enfoque es el de resaltar la audacia de estos forjadores de nuestro presente y su valentía al imponer, sin miedo al ridículo, lo que ellos creían que era verdad. Sus ideas visionarias utilizando conceptos increíbles fueron realmente de ficción. Con esto, se les quiere rendir un homenaje habiendo transcurrido 100 años de estos sucesos.

**Palabras clave:** Relatividad, superconductividad, mecánica cuántica.

### ABSTRACT

*This paper is an overview of the issues that revolutionized physics of the early last century, before technological applications became a priority. This approach is to highlight the audacity of these forgers of our present and courage to impose, without fear of ridicule, which they believed was true. Their visionary ideas using amazing concepts were really fictional. With this article, we want to pay tribute to them having 100 years of these events passed.*

**Keywords:** Relativity, superconductivity, quantum mechanics.

DR. EDUARDO VERDÍN LÓPEZ  
Departamento de Física, Universidad de Sonora  
Correo: everdin@correo.fisica.uson.mx

\*Autor para correspondencia: DR. Eduardo Verdín López  
Correo electrónico: everdin@correo.fisica.uson.mx  
Recibido: 3 de marzo de 2015  
Aceptado: 30 de noviembre de 2015  
ISSN: 2007-4530

## UNA APORTACIÓN DEL SIGLO XX

A fines del siglo XIX, el modelo clásico se nota agotado y caduco, la mecánica clásica se ha desarrollado totalmente, los avances últimos se limitan a los estudios de Hamilton y de Lagrange; con el fin de encontrar la solución de problemas más complejos que la segunda ley de Newton no podía resolver, se desarrolla la termodinámica clásica con las aportaciones de Maxwell, Boltzmann y Gay Lussac, la electrodinámica se sintetiza en las leyes de Maxwell, los pilares de la física son robustecidos y apuntalados, se siguen produciendo aportaciones menores a éstas, pero no se dan avances substanciales o trascendentes. La física experimental es la que avanza, aportando elementos para las visiones teóricas, la solución de la radiación de cuerpo negro de Planck, el descubrimiento del electrón por Thomson, plantea nuevos retos que clásicamente no tienen solución, las hipótesis se vuelven atrevidas. En este contexto de principios del siglo XX, los científicos rompen los lazos que los atan llevando sus investigaciones más allá de lo conocido, los científicos se sienten encajonados y buscan expandirse, fuera de los límites donde estaban encerradas la mecánica clásica, la electrodinámica y la termodinámica.

## LA VELOCIDAD SE QUEDA ATRÁS

Uno de los primeros en traspasar lo clásico es Albert Einstein, en 1905, rompe los límites de la velocidad y del tiempo con su teoría de la relatividad, *en la cual espacio y tiempo se enlazan*.

Ese mismo año, estando aún en Berna (Figuras 1 y 2), Einstein publica cuatro artículos en la revista *Annalen der Physik*, uno explicando el efecto fotoeléctrico, en el que se atreve a decir que la luz *estaba compuesta de partículas de energía*, otro acerca del movimiento browniano, el tercero sobre la *electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, mejor conocida como la Teoría de la Relatividad Especial,

y el cuarto con el título de: “¿La inercia de un cuerpo es dependiente de la energía que contiene?”, en el que aparece por primera vez una de las ecuaciones más conocidas del mundo  $E=mc^2$ .



Figura 1. Las escaleras que llevan al estudio de Einstein en Berna.



Figura 2. Escritorio usado por Einstein en su casa de Berna.





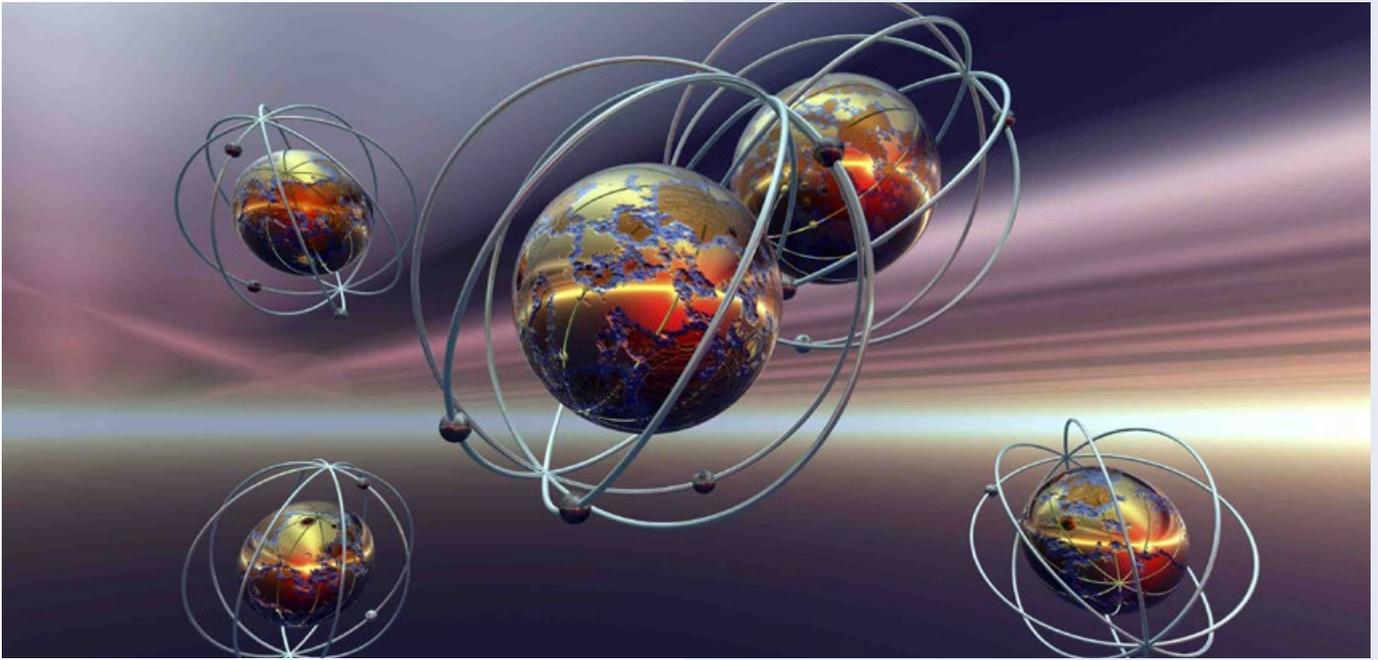
## ANTECEDENTES RELATIVOS

Antes de hacer referencia al tercer artículo de Einstein, es necesario repasar algunos conceptos interesantes que demostraban la desesperación de los físicos de fines del siglo XIX por unificar la física de ese tiempo.

Si bien la física clásica estaba completa y probada, había un problema de “completes” entre la mecánica y la electrodinámica, las transformaciones de coordenadas Newton-galileanas entre sistemas inerciales no eran satisfechas por las ecuaciones de Maxwell. Y es que, como no se concebía que la luz se pudiera propagar en el vacío, ésta, clásicamente debería de tener un medio para su existencia, es decir para propagarse como lo hacían todos los movimientos ondulatorios conocidos. Para hacer congruentes con los conceptos clásicos newtonianos, postulan el concepto del ÉTER como el medio que permitía la propagación de las ondas electromagnéticas. A dicho medio se le asignaron propiedades caprichosas para poderlo adaptar a los requisitos electromagnéticos. Entre otras propiedades había una sumamente importante, no permitía la RELATIVIDAD ya que, como el universo estaba inmerso en este éter, esto lo convertía en un sistema *absoluto de referencia*. Los esfuerzos experimentales para mostrar su existencia, prepararon el camino para la aceptación de la teoría de la relatividad einsteiniana. Surgieron por todos lados experimentos para medir el éter, pero los más importantes y confiables fueron los de Fizeu en 1851 y el de Michelson-Morley en 1887 (por esta investigación se le dio a Michelson el premio Nobel de Física en 1907, primer norteamericano en recibir tal distinción), demostraron que no existe el ÉTER, por lo tanto no hay un sistema absoluto universal, y por ende las leyes de la electrodinámica son correctas y no requieren modificación [1], y las ondas electromagnéticas son independientes de la fuente y del observador, por lo que la luz siguió siendo el único medio por el que se puede transmitir información en el espacio vacío.

Einstein basa su teoría del movimiento en dos postulados:

1. Las leyes físicas se pueden expresar mediante ecuaciones que tienen la misma forma en todos los sistemas de referencia que se mueven a velocidad constante unos con respecto a otros (la relatividad).



2. La velocidad de la luz en el espacio libre tiene el mismo valor para todos los observadores independiente de su estado de movimiento (esto incorpora al tiempo como un nueva coordenada espacial).

Con estos postulados, Einstein rompe con la hegemonía galileana de los relojes, al postular que la velocidad de la luz ( $c$ ) es constante, y además se atreve a tomarla como un límite para las velocidades, con esto, construye la cinemática, con el tiempo incorporado como una coordenada espacial adicional igual a  $ct$ . Los resultados de tales principios hacen cotidiano hablar de dilatación del tiempo, contracción de las longitudes, y especular con gemelos viajeros intergalácticos [2, 3], añadiendo nuevos elementos a la ciencia ficción, de acuerdo a los predecesores Julio Verne y Herbert George Wells, más conocido como H.G. Wells.

Se alcanza un nuevo punto de vista de la física, al desear viajar a velocidades cercanas a la de la luz y sus múltiples efectos [2].

## EL FRÍO EXTREMO

El siguiente límite que aporta resultados trascendentes, es cuando se logra alcanzar la temperatura extrema cercana al cero absoluto y sus consecuencias, en ese momento el límite bajo era de 1.1 K.

La carrera por alcanzar las temperaturas más bajas del planeta comienza en 1823 con la licuefacción del cloro por Michael Faraday en Londres; para fines del siglo XIX se había hecho una gran competencia entre los investigadores para lograr licuar la mayoría de los gases, y por marzo de 1883, en Cracovia, el oxígeno y el nitrógeno (77 K) se anotan, pero se resistían el hidrógeno y el helio; por fin en 1898, James Dewar anuncia haber obtenido

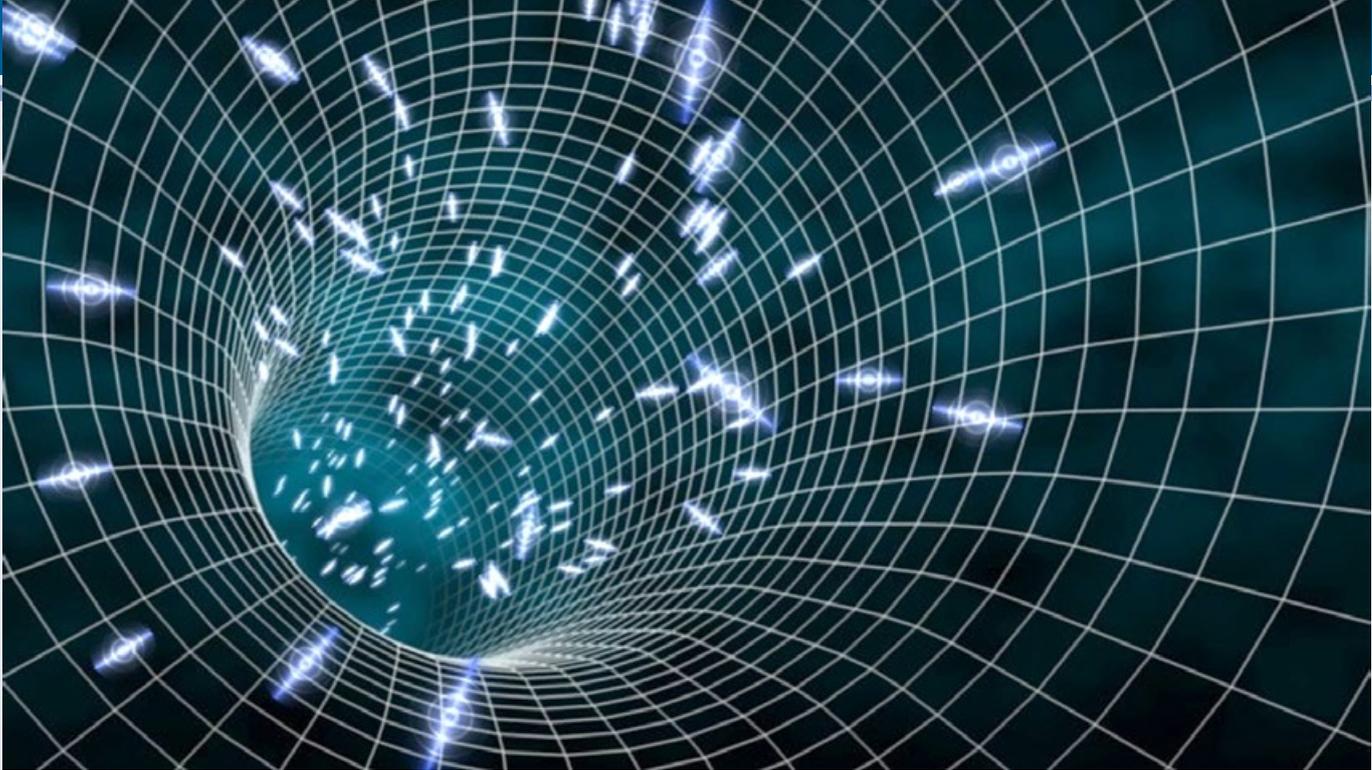
el hidrógeno líquido y después de unas correcciones, establece su temperatura en 20.28 K (-252.87 °C). Ya sólo el helio faltaba [4].

El interés por licuar los gases iba emparentado con la medición de la resistencia de los metales puros, que en principio mostraban una linealidad creciente con la temperatura, lo que los hacía candidatos a ser unos termómetros de medición a bajas temperaturas, sin los problemas de los termómetros de gas. A este respecto en la primera década del siglo XX había tres posibles teorías, todas ellas empíricas. Dewar estaba convencido de que la resistencia se iría a cero cuando la temperatura alcanzara el cero absoluto. Lord Kelvin decía que los electrones a muy baja temperatura se congelaban lo que impedía su flujo, reflejándose por un aumento de la resistencia. Matthiessen por su parte citaba que la resistencia a una cierta temperatura baja, se mantenía constante formando una meseta en R-T, pero no lo hacía a un valor de 0 K [4].

En la búsqueda de una confirmación, Heike Kamerlingh Onnes en 1908, logra la licuefacción del último gas que se resistía a este tratamiento, el helio, el termómetro marcaba 4.2 K es decir -269 °C, y con solo bajar la presión del contenedor, logra 1.1 K.

## TEMPERATURA SUFICIENTE PARA PROBAR LAS TEORÍAS

En esas fechas el personal que trabajaba en el laboratorio de Onnes en Leiden, Holanda, era el más capacitado del mundo. Pero aún así, invirtieron tres años en lograr obtener un recipiente que pudiera mantener el helio en forma líquida para su almacenamiento, transportación e instrumentación, ya eliminado ese obstáculo, medir la



resistencia de los metales en función de la temperatura no fue un gran problema para ellos, pero las medidas en el oro y el platino contradecían lo predicho por las teorías, ya que se desviaban de la recta esperada, hecho que se le atribuyó a impurezas.

Para evitar el problema de las impurezas, Onnes se decide por el mercurio, que es más fácil de purificar. El experimento se inicia el 8 de abril de 1911 a las 7:00 horas, el comportamiento de la resistencia del mercurio era como se esperaba, cuando, a las 16:00 horas en el momento que el termómetro marcaba 4.2 K, sorpresivamente la resistencia pasó de  $2 \times 10^{-3}$  a  $1 \times 10^{-6} \Omega$ , es decir, una millonésima parte de un ohm (Figura 3).

### ¡En décimas de Kelvin la resistencia se desploma a cero!

A primera impresión pensaron en falsos contactos o errores en la instrumentación, pero casualmente, por una distracción, la temperatura se elevó y la resistencia retornó, ya no había duda.

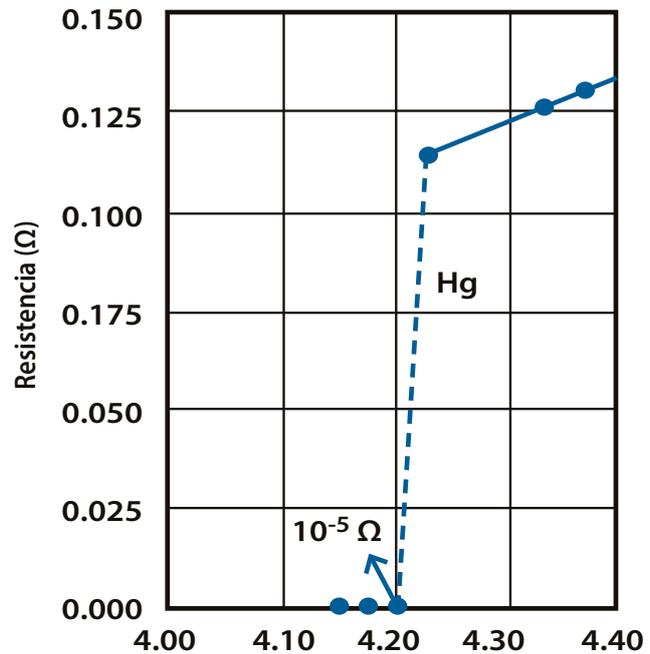
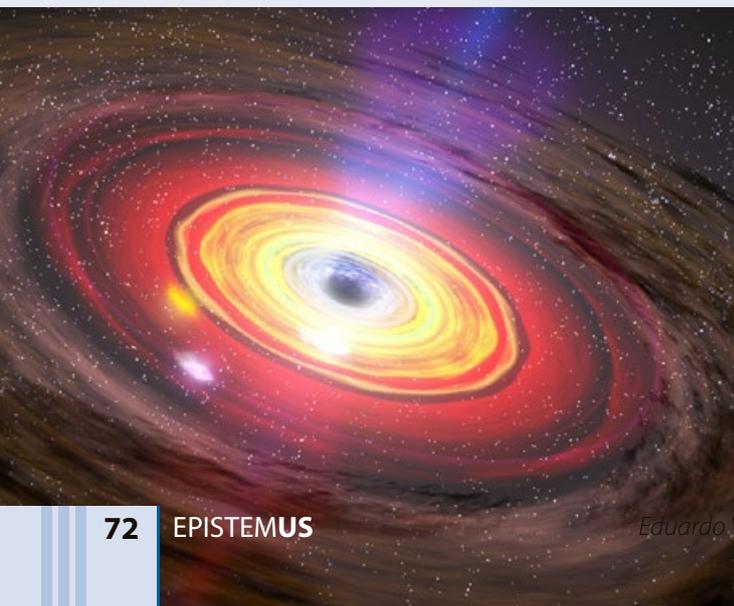


Figura 3. La primera medición que registra el estado superconductor, realizada por H. K. Onnes en 1911 en su laboratorio de Leiden, Holanda.

Al efecto observado, Onnes le llamó "supraconductividad", pero después la comunidad científica, se refirió a este fenómeno como "superconductividad". Una vez más, una visita a un punto extremo, mostró un secreto celosamente guardado e impredecible, se estaba ante un nuevo reto "un material con resistencia cero" lo que abría un mundo de posibilidades.



El laboratorio de bajas temperaturas de Leiden tuvo la exclusividad del helio por casi 20 años y eso permitió al grupo de Onnes encontrar las múltiples propiedades adicionales como corolario de la resistencia cero.

### LEIDEN vs BERLÍN

Pasaron 22 años para que se descubriera la segunda característica de la superconductividad, pero igual de definitiva; eso se dio en Berlín, pues en ese tiempo la física se hacía en Europa.

Por 1930, se pensaba que la única propiedad esencial de un superconductor era su resistencia cero (es decir conductividad infinita), pero el grupo de Leiden había descubierto que si se aumentaba la corriente a un superconductor, al llegar a un cierto valor crítico de corriente, se restablecía el estado normal. En cuanto a sus propiedades magnéticas, Onnes había llegado a la conclusión de que a un cierto campo magnético  $H_c$  la superconductividad igualmente desaparecía. Estos hechos se veían como accidentales a pesar de que podía inducir corrientes eternas y manifestarse como un salto en el calor específico revelación de un calor latente. Problemas de irreversibilidad se presentaban al considerar que el superconductor se comportaba como un conductor perfecto, al cual, teóricamente, cuando se le aplicaba un campo magnético no penetraba al material cuando se le llevaba a temperaturas por debajo de la crítica superconductor ( $T_c$ ). En la figura 4 se muestra la importancia de los caminos seguidos al incorporar un campo magnético y llevarlo al estado superconductor, primero se somete a un campo magnético abajo del crítico y después se lleva a  $T < T_c$ ; se observó que el campo no sufría ningún cambio; cuando llevaban el campo a cero, éste se quedaba atrapado, no era un proceso reversible.

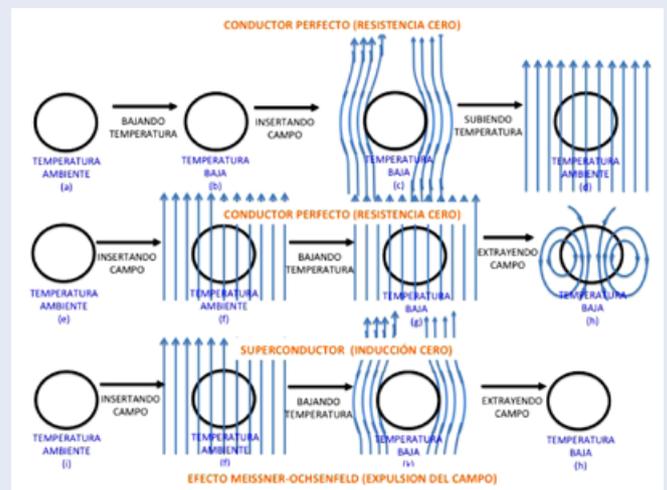


Figura 4. Representación del comportamiento de un campo magnético con respecto a la temperatura. De la (a) a la (h) para un conductor perfecto (ideal) y de la (j) a la (l) el comportamiento real de un superconductor con la expulsión del campo.

El grupo de Hass, del laboratorio de Leiden al que perteneció Onnes (éste muere en 1926) y el grupo de von Laue de Berlín, Alemania, competían por dar una explicación de tal proceso; creían que la explicación estaba en la conexión entre la corriente suministrada al superconductor expuesto a campos magnéticos. Cada uno competía en hipótesis, pero siempre se imponía el concepto clásico de las ecuaciones de Maxwell.

En ese proceso de indefinición se encontraban, cuando Meissner como principal colaborador de von Laue, ideó un experimento a partir de cilindros de plomo



( $T_c = 7.2 \text{ K}$ ), colocados paralelos y sometiéndolos a un campo magnético perpendicular a los ejes de éstos; para medir los cambios inducidos, él usaba una bobina sensor conectada a un galvanómetro balístico que le servía para medir las variaciones del campo al llevarlos por debajo de  $T_c$ . Después de muchas mediciones, Meissner y Ochsenfeld concluyeron que cuando el campo está en el interior del plomo, en el momento de la transición, el campo magnético es expulsado del interior, es decir, se hace diamagnético ( $B = 0$ ). En plena contradicción del comportamiento teórico de un conductor perfecto, por lo que se atreven a decir que se está ante una propiedad exclusiva de los superconductores. Dichos autores publican en noviembre de 1933, un comunicado muy escueto en la revista "Die Naturwissenschaften" con el nombre "Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit" (Un nuevo efecto relativo al punto donde se desploma la resistencia en un superconductor) [4]. A partir de esto, al efecto de expulsión de un campo magnético dentro de un superconductor, se le conoce como *efecto Meissner – Ochsenfeld* (erróneamente, se familiarizó como atribuido sólo a Meissner) y es el causante de las sorprendentes interacciones magnéticas a partir de los superconductores, como una muestra de las posibles aplicaciones del efecto Meissner (Figura 5).

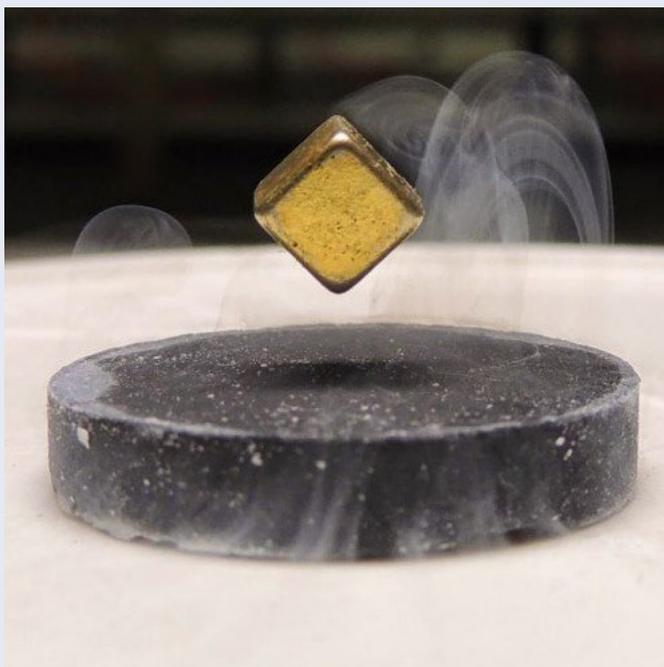
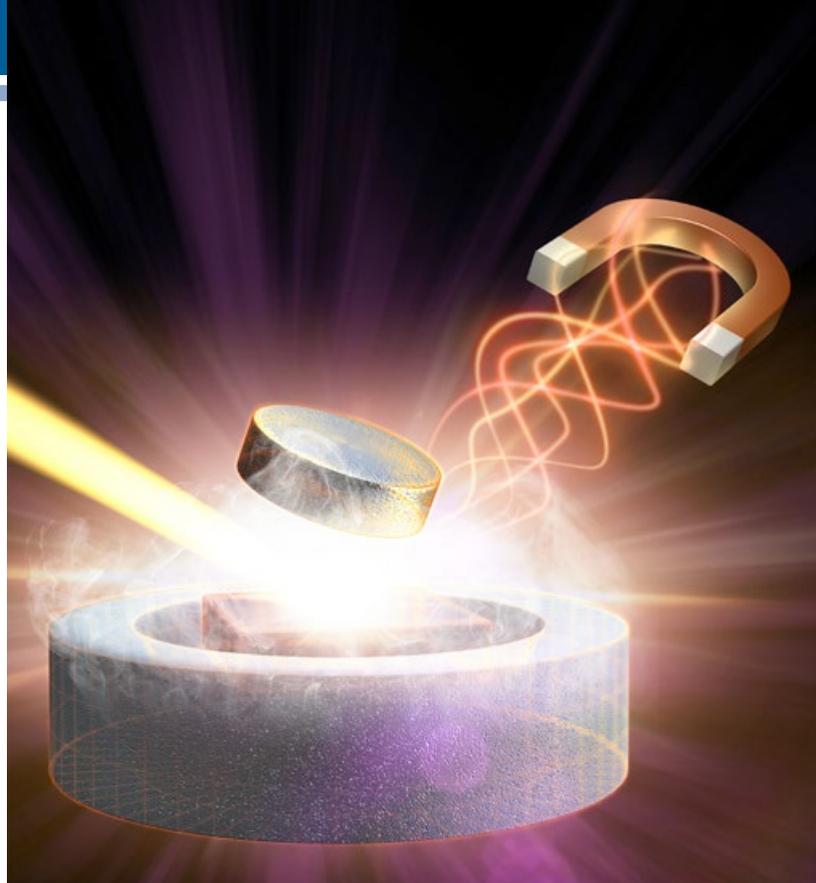


Figura 5. Levitación de un imán por la acción de un superconductor, una de las principales manifestaciones del efecto Meissner-Ochsenfeld.

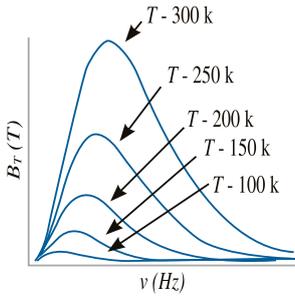
El fenómeno de la superconductividad, fascinante, esperanzador, polémico, surge como otro paso de toda una serie de sucesos relevantes que llenan la primera mitad del siglo veinte.

## NO TODO ES MANZANA

La existencia del electrón, descubierto en 1897 por J. J. Thomson, abre las puertas del micromundo; aproximadamente tres años después sin nada aparentemente en contexto, surge el gran paso, la doctrina de los "cuantos", el 14 de diciembre de 1900, en la sala de reuniones de la Sociedad Física Alemana. El profesor titular de física Karl Ernest Ludwig Planck, expone ante sus colegas su informe "Contribución a la teoría de la ley de energía en el espectro normal", en éste se propone en forma oficial la constante de Planck  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  ergs. s (en las unidades originales) (Figura 6).

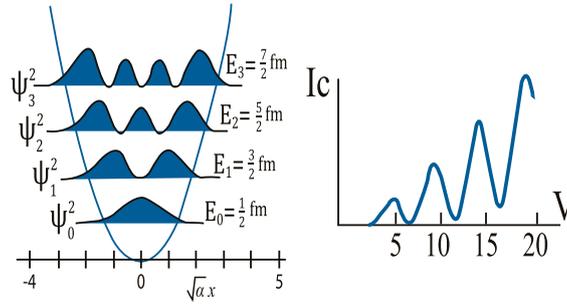
Con esta constante como única alternativa para explicar las peculiaridades de las emisiones de un cuerpo negro, Planck concluye con un proceso iniciado dos años antes, supuso que la energía de la radiación emitida es proporcional a su frecuencia  $E = h\nu$ , donde  $\nu$  representa la frecuencia y  $h$  es una constante para homogenizar unidades (Joules-s); esto hasta cierto punto es normal, pero lo realmente grandioso ese día, fue establecer que la radiación emitida por el cuerpo negro no se emite en forma continua sino que lo hace en "cuantos" cuya magnitud es precisamente  $E = h\nu$ , es decir, la solución no es una función continua. Sólo con esta hipótesis se lograba obtener el comportamiento correcto para la descripción del espectro de radiación de dicho cuerpo negro (Figura 6); con esto Planck rompió toda la armonía lógica de la física clásica. Una nueva ley natural se había descubierto, nacía la doctrina cuántica, con una simple hache [2, 6]. Todavía faltaban 27 años para consolidar la nueva mecánica.

**LA RADIACION DE UN CUERPO NEGRO SE DESCRIBE POR:**



$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

**LA ENERGIA ESTA CUANTIZADA**



En la primera imagen se observa la cuantización de energía en la función de onda, la segunda imagen se observan los resultados gráficos del experimento Frank - Hertz que prueban la cuantización de la energía

Figura 6. Los resultados de Planck en la radiación de cuerpo negro y la aparición de su constante. Confirmación experimental de su hipótesis.

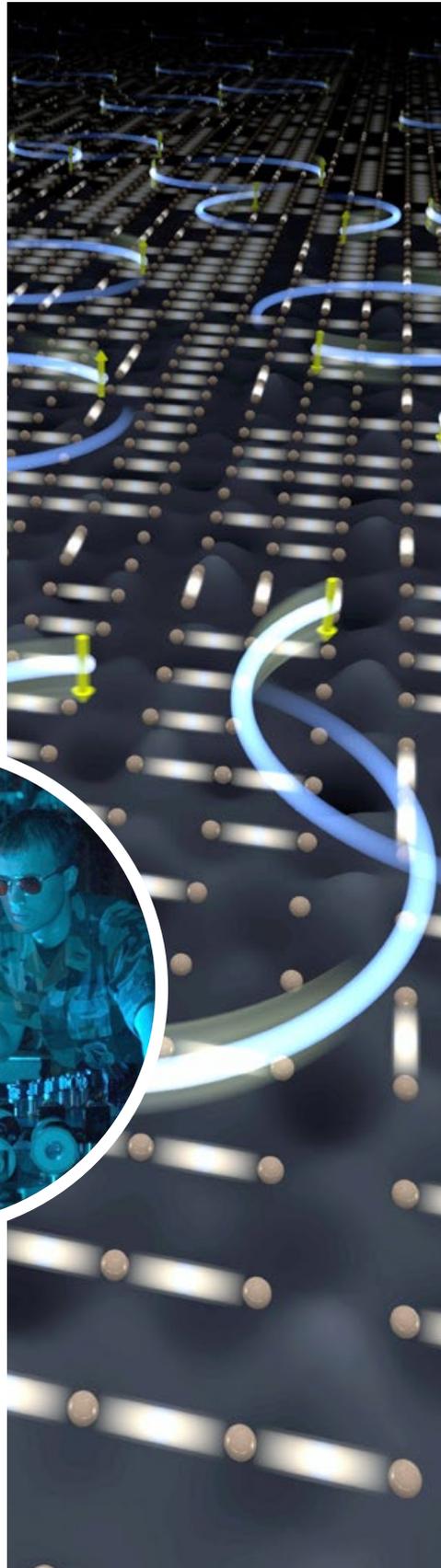
La calidad de las mentes en ese tiempo eran de gran luminosidad y en 1905 el gran Einstein retoma la propuesta y explica el efecto fotoeléctrico [2]. En esos mismos años dorados, el 7 de marzo de 1911, Rutherford propone a la Sociedad Filosófica de Manchester en su exposición: "Difusión de los rayos α y β y la estructura del átomo", que el átomo está compuesto de un núcleo central y de electrones que giran a su alrededor en semejanza a un sistema planetario, esto lo avalaba con sus múltiples mediciones de dispersión de partículas alfa, donde junto con él, Hans Geiger y Ernest Marsden contaron más de un millón de centellas (incidencias de partículas alfa en pantallas); el modelo aunque se podía avalar a partir de la mecánica clásica, no estaba de acuerdo con la teoría electromagnética, que dice que toda carga eléctrica acelerada irradia energía en forma de ondas electromagnéticas, esto, si se aplicaba, terminaría colapsando a los electrones en el núcleo [2, 6].

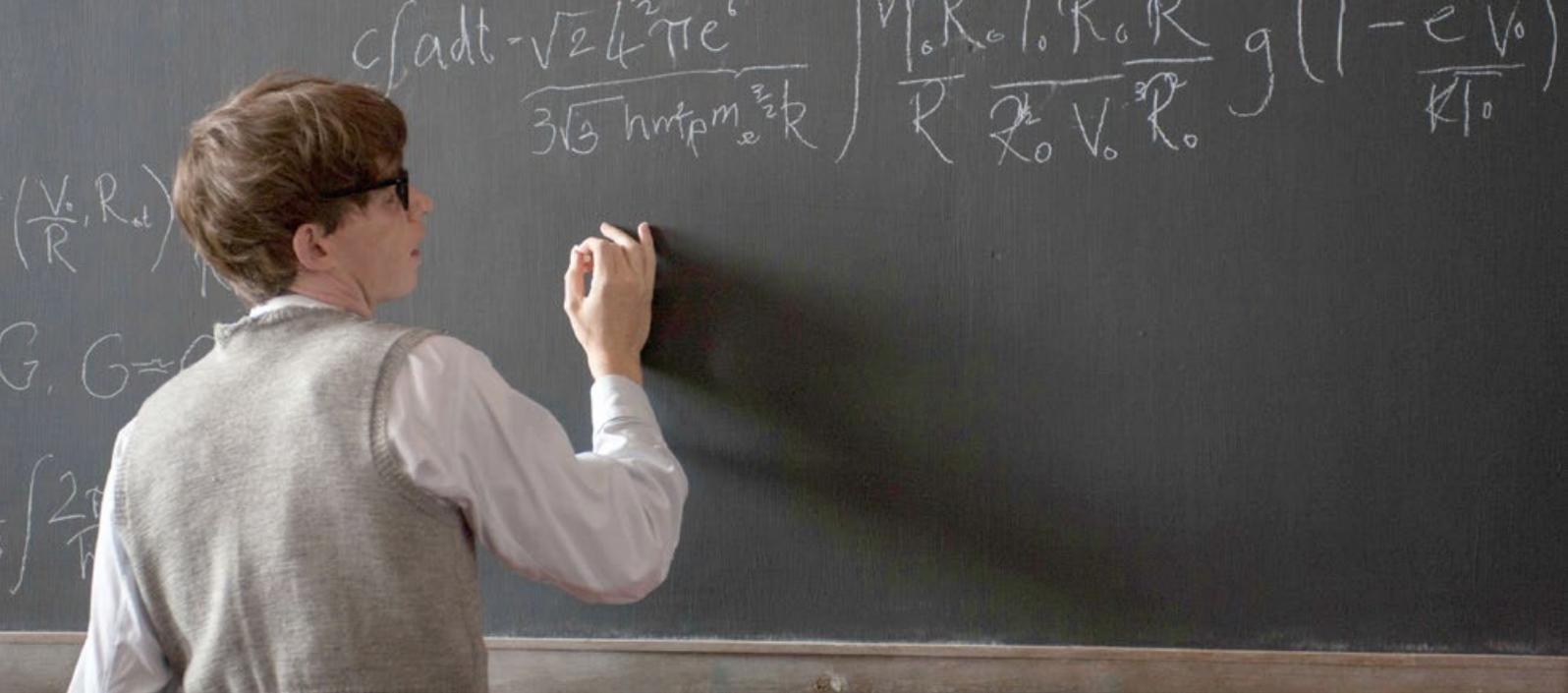


El inicio de la primavera de 1913, ayuda a Niels Bohr a resolver el acertijo (como él mismo describe), y lanza sus postulados que terminan completamente con los conceptos clásicos incluyendo la electrodinámica, cuantiza las órbitas y las emisiones luminosas de los átomos y las restringe a simples saltos cuánticos; un electrón desaparece en una órbita y aparece (no va) en otra, emitiendo o absorbiendo luz de acuerdo a la ecuación de Einstein  $\Delta E = h\nu$ , donde  $\Delta E$  es la energía entre los niveles entre los cuales se realiza la transición [2]. Se había dado otro paso.

**MECÁNICA ATÓMICA**

En la primavera de 1925, llega a Copenhague el recién doctorado por Sommerfeld en la Universidad de Munich, Werner Karl Heisenberg, quien de





inmediato se involucra en los postulados de Bohr, líder del grupo de Copenhague en la *Københavns Universitets Institut for Teoretisk Fysik* (ahora Niels Bohr Institute), sobre todo en el problema principal ¿Cómo es la trayectoria del electrón al pasar de una órbita a otra?. Después de unos meses de estar pensando en ello, llega a la conclusión de que “no se puede trazar la trayectoria de los electrones en un átomo” y haciendo la analogía de un tablero de ajedrez infinito que representa el estado atómico con el electrón en la posición  $X_{nk}$  donde  $n$  (número de línea) representa el estado inicial y  $k$  (número de columna) el estado final, y en forma genérica se escribe:  $\{X_{nk}\}$ . Al discutir esta concepción con Bohr y Jordan, le comentaron que en matemáticas, a su representación se le conocía como una matriz y que tenía una serie de propiedades ya estudiadas, la correlación entre las propiedades de las matrices y su asociación al movimiento del electrón en el átomo, inicia lo que en ese tiempo llamaron *mecánica atómica* que después se renombró como *cuántica* [5]. Con la misma idea, creó las matrices de los momentos  $\{P_{nk}\}$  y de la energía  $\{E_{nk}\}$ , pero las limitó a cumplir la relación:

$$\{X_{nk}\} \cdot \{P_{nk}\} - \{P_{nk}\} \cdot \{X_{nk}\} = i\hbar$$

lo que dio lugar posteriormente a su famoso principio de Incertidumbre:

$$\delta x \cdot \delta p \geq 1/2 \hbar$$

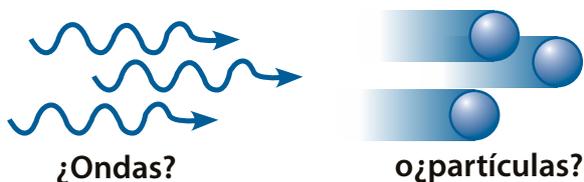
A la mecánica creada por Heisenberg y Bohr se le conoce como mecánica cuántica matricial y fue la primera teoría consecuente que explicaba la estabilidad de los electrones en el átomo, siempre reconociendo al electrón como una partícula.

Cuatro meses después se crea la otra mecánica cuántica, la ondulatoria. Sin duda uno de los principales impulsores fue Louis Víctor de Broglie. En 1923, Arthur Compton realizó su célebre experimento en el cual mostraba sin

lugar a dudas que las ondas electromagnéticas se comportan como partículas (cuantos) con energía  $E = h\nu$ ; esto hacía que los científicos de esa época dijeran que en ciertas condiciones el rayo luminoso se comportaba como onda con la longitud  $\lambda$  y en otras como partícula con energía  $E = h\nu$  [2]; la pregunta que surgía de esto era: ¿Qué es el rayo de luz, una onda o un flujo de partículas? Y de Broglie dice: no es “o” es “y”, el objeto atómico es “tanto onda como partícula” y emite su hipótesis: “la órbita electrónica es aquella en la que cabe un número entero de ondas electrónicas” (Figura 7). Lo anterior da lugar a la ecuación  $2\pi r = n\lambda$  que de acuerdo al primer postulado de Bohr lleva a  $mvr = n\hbar/2\pi$  y de aquí surge la longitud de onda electrónica:

$$\lambda = h/mv$$

un resultado realmente sencillo como el postulado de Planck y los de Bohr [6].



**"O" no, "Y" sí  
de Broglie**

$$P = \frac{h}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h}{P} \rightarrow \lambda = \frac{h}{mv}$$

Figura 7. La famosa ecuación debida a Louis Víctor de Broglie y su hipótesis de la dualidad onda-partícula.

Erwin Schrödinger a la edad de 35 años llega a la Universidad de Zürich, donde se discutían grandemente los últimos avances de los procesos atómicos; a fines de 1925 lee un artículo de Einstein donde menciona la hipótesis de Louis Víctor de Broglie sobre las ondas de materia y recordando la analogía óptica mecánica de Hamilton (ecuación eikonal de la óptica geométrica) la cual estaba limitada (Hamilton no la siguió pues no había la cantidad de información que se tenía en el tiempo de Schrödinger), por lo que él decide ampliarla a la óptica ondulatoria [6]. La hipótesis es que el movimiento de las partículas debe manifestar propiedades ondulatorias en la zona del espacio, cuyas dimensiones sean comparables con la longitud de onda de estas partículas. Al aplicarle los cambios que involucra la ecuación de Broglie, obtiene su famosa ecuación (Figura 8), y en enero de 1926 publica en la revista *Annalen der Physik* el artículo: *Quantisierung als Eigenwertproblem* (Cuantización como problema de autovalores), en el que desarrolla la ecuación que lleva su nombre.

Segunda derivada con respecto a x      Función de onda de Schodinger

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \Psi = 0$$

Posición      Energía      Energía potencial



- $\Psi$  : función de onda
- $m$  : masa del electrón
- $h$  : constante de planck
- $E$  : energía total del electrón (dependen de sus coordenadas  $x, y, z$ )
- $V$  : energía potencial del electrón (dependen de sus coordenadas  $x, y, z$ )

Figura 8. Erwin Schrödinger y su ecuación ondulatoria aplicada a la mecánica cuántica.

Había nacido la mecánica cuántica, por dos concepciones diferentes, la de Heisenberg o matricial, que se basa en que el electrón es una partícula, y la de Schrödinger basada en el movimiento de las ondas electrónicas. Algo insólito dos descripciones válidas; esto pronto se resolvió por el mismo Schrödinger en 1927, al demostrar que ambas mecánicas eran equivalentes matemáticamente [6], es decir, sólo había una mecánica: "la mecánica del átomo o mecánica cuántica".

La popularidad alcanzada por la ecuación de Schrödinger, deriva del de ser una ecuación diferencial de segundo orden ya muy estudiada en múltiples combinaciones.

La barrera de la manzana newtoniana había sido superada y ahora se podrían describir movimientos de partículas menores al átomo.

## REFLEXIÓN

Esta recopilación es sobre una serie de descubrimientos revolucionarios que se caracterizaron por llevar a la física más allá de los límites clásicos y es en realidad una muestra de admiración para toda una centuria de actitud desafiante sobre la física al llevarla a sus límites.

## ¿QUÉ SE ESPERA DEL SIGLO XXI?

Al final del siglo XX, realmente lo sobresaliente fueron los avances tecnológicos, en parte como consecuencia de los hechos anteriores, si se siguiera la enseñanza de llevar las cosas al límite. El conocimiento en vías de consolidación, *equivalente a los conceptos revolucionarios de inicios de siglo*, se considera que no se encuentra en este planeta, sino que la respuesta está en el exterior, el entendimiento de algo tan vasto como el universo y su inmensa cantidad de preguntas, está en espera de una mente sobresaliente que no acepte lo convencional. ¿La Cosmología tendrá la respuesta?

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) R. Resnick. Introducción a la teoría de la relatividad. Limusa, México 1977 [2] A. Beiser. Conceptos de Física Moderna. McGraw Hill.1977.
- 3) R. Pérez Enríquez. La Relatividad y las paradojas usando GeoGebra, Ed. Universidad de Sonora. En prensa.
- 4) P. F. Dahl. Superconductivity: Its Historical Roots and Development from Mercury to the Ceramic Oxides. New York: American Institute of Physics. 1992.
- 5) A.M. Forrest. Meissner and Ochsensfeld revisited, European Journal of Physics. 4:2 (1983). 117-120.
- 6) L. Ponomariov. Alrededor del Cuanto. Editorial MIR Moscú.1974.

