

La Conferencia Solvay de 1911: un hito en el desarrollo de la Física Cuántica

Gabriel Pinto Cañón, María Teresa Martín Sánchez, Manuela Martín Sánchez

Resumen: En el año 2011 se cumple el centenario del comienzo de las Conferencias Solvay (*Conseils Solvay*, en francés), dado que la primera tuvo lugar entre el 29 de octubre y el 4 de noviembre de 1911. Estas reuniones, sin duda, han sido de gran importancia para el avance de las ciencias, fundamentalmente de la Física y de la Química. En este trabajo se realiza una breve recapitulación de la primera de ellas. Como afirman diversos autores, este evento se podría considerar como un hito importante en el desarrollo de la teoría cuántica, ya que la mayoría de los fundadores de esta parte de la Física coincidieron en la reunión.

Palabras clave: Historia de la Química y de la Física, Física Cuántica, Conferencias Solvay, Filosofía de la ciencia.

Abstract: The year 2011 is the centenary of the first of Solvay Conferences (*Conseils Solvay*, in French), that took place from October 29 to November 4, 1911. These meetings have undoubtedly been of great importance to the advancement of science, mainly Physics and Chemistry. The objective of this work is to make a brief history of the first Solvay Conference. As stated by several authors this meeting could be considered as an important milestone in quantum theory since most of the parents of this part of Physics have been there.

Keywords: Chemistry and Physics history, Quantic Physics, Solvay Conferences, Science philosophy.

Introducción

Si el Primer Congreso Internacional de Químicos, celebrado del 3 al 5 de septiembre de 1860 en la ciudad alemana de Karlsruhe, supuso un aporte fundamental para el avance de la Química como ciencia,¹ podemos considerar que la primera Conferencia Solvay, celebrada en 1911 en Bruselas, sentó las bases para desarrollar la Física Cuántica aunque, sin duda, la consolidación definitiva de esta materia se produjo a partir de la Conferencia Solvay celebrada en 1927.

La Física Clásica, bien desarrollada y admitida a finales del siglo XIX, incluye la Mecánica Clásica o newtoniana, la Termodinámica, la teoría atómica de los gases, y la teoría de Maxwell de la electricidad, el magnetismo y la radiación electromagnética. Pero, en el último cuarto de dicho siglo, una serie de resultados experimentales no encontraban explicación por ese conjunto de teorías establecidas. Estos resultados condujeron, ya en el siglo XX, al desarrollo de la teoría cuántica y de la teoría de la relatividad.



G. Pinto

M^a. T. Martín

M. Martín

E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid.
Sección de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Química y de Física.
C-e: gabriel.pinto@upm.es

Recibido: 04/11/2010. **Aceptado:** 16/02/2011.

Un fracaso de la Física Clásica fue la predicción de valores incorrectos de calores específicos para moléculas por aplicación de la teoría cinética de los gases. Otro fracaso era su incapacidad para explicar la distribución de energía radiante de un cuerpo negro en función de la frecuencia de radiación.²

En junio de 1900, John William Strutt, conocido como lord Rayleigh, estudiando la distribución de frecuencias de radiación del cuerpo negro a una temperatura, deducía que la cantidad de energía radiante aumentaría sin límite al hacerlo la frecuencia. Sin embargo, se sabía de forma experimental que se alcanzaba un valor máximo a una determinada frecuencia, que luego disminuía hacia cero al aumentar la frecuencia. En octubre de ese mismo año, Max Planck anunció el descubrimiento de una fórmula empírica que se ajustaba de forma bastante exacta a la distribución espectral de la radiación emitida a distintas temperaturas por un pequeño orificio hecho en la pared de un horno (forma práctica de obtener el cuerpo negro³). Un par de meses más tarde, el mismo Planck presentó una teoría que explicaba su fórmula empírica, para lo que introdujo la hipótesis de que los átomos del cuerpo negro podían emitir energía electromagnética de frecuencia ν , sólo en cantidades de $h \cdot \nu$, que denominó *quantum* (cuanto, del latín *quantum*, en plural *quanta*, que representa una cantidad de algo), donde h es una constante (hoy día conocida como constante de Planck) con dimensiones de energía por tiempo. Así, mientras que en la Física Clásica un sistema puede ganar o perder cualquier cantidad de energía, por ser ésta una variable continua, la emisión de radiación del cuerpo negro suponía que la energía, en ese caso, estaba cuantizada, porque sólo podía tomar ciertos valores.

El concepto de cuantización de la energía suponía una desviación tan revolucionaria de la Física Clásica, que el mismo Planck, como la mayor parte de los físicos de entonces, era sumamente renuente a aceptarlo.

En 1905, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico por extensión del concepto de Planck de cuantización de la ener-

gía de la radiación electromagnética, y propuso que la luz podía considerarse constituida por entes corpusculares (cuantos) con energía $h \cdot \nu$ para cada cuanto. Como es bien sabido, estos cuantos se denominaron más tarde fotones.

Entre 1900 y 1926 el concepto de cuantización de la energía se fue extendiendo a todos los sistemas microscópicos. Lo consideraba la teoría de Niels Bohr, formulada en 1913, para el átomo de hidrógeno, así como la que elaboró Louis de Broglie (1925) para interpretar los espectros de átomos con más de un electrón (donde fracasaba la extensión de la teoría de Bohr). Según de Broglie, la materia también posee una dualidad onda-corpúsculo, como la luz, y el comportamiento ondulatorio se manifiesta en niveles de energía cuantizados de los electrones que forman los átomos y las moléculas. Se ponía de manifiesto que los electrones (y en general las partículas microscópicas) no obedecen las leyes de la Mecánica Clásica, formulada a partir del comportamiento observado de los objetos macroscópicos.

En este trabajo se realiza una breve recapitulación de la Conferencia Solvay, celebrada en 1911, que constituyó un hito importante en el desarrollo de la teoría cuántica ya que algunos fundadores significativos de esta parte de la Física coincidieron en ella.

Las Conferencias Solvay

Ernest Solvay⁴ (1838-1922) fue un químico industrial belga que a los 21 años comenzó a trabajar en la industria química de un tío suyo, donde ideó un método alternativo al de Leblanc de obtención del carbonato de sodio (sosa), esencialmente mediante la invención de la denominada “torre Solvay”. Una enfermedad le había impedido cursar estudios universitarios pero, de forma autodidacta, adquirió profundos conocimientos de Física y de Química. En la Figura 1 se muestra uno de sus retratos más conocidos. En 1863, con la ayuda de su hermano Alfred, estableció su primera fábrica y, una vez perfeccionado el método, adquirió una gran fortuna.

Como gran filántropo, parte de su fortuna la invirtió en promover el avance de la ciencia. En cierta ocasión comentó: “siempre he tratado de servir a la ciencia, porque la amo y la veo como una promesa de progreso para la humanidad.”⁴ En este sentido, fundó varios institutos de investigación: de Fisiología (1895), de Sociología (1901), de Física (1912) y de Química (1913), así como la conocida Escuela de Negocios (1903) de Bruselas. Algunos de estos Centros, hoy día, están integrados en la institución *International Solvay Institutes Brussels*.⁵ La variedad de institutos creados responde a su idea original de que los problemas políticos y sociales sólo podrían solucionarse por aplicación de los métodos racionales de la ciencia. Ese amor a la ciencia fue lo que le llevó a organizar la primera Conferencia Solvay (con el título de “*La théorie du rayonnement et les quanta*”), en 1911, como lo dice expresamente en la carta que dirigió a importantes científicos para invitarles a participar.

Las Conferencias Solvay, también conocidas como Congresos o Consejos Solvay (en francés *Conseils Solvay*), son unos de los eventos más conocidos sobre Física y Química, dado que en ellas se han reunido los mejores científicos de estos ámbitos del saber en el último siglo. Se suelen convocar en ciclos de tres años, en los que se celebra una

Conferencia de Física (como la de 1911) el primer año, una de Química (iniciadas en 1922) el año siguiente, y el tercer año no se prepara ninguna.⁵ Un comité científico internacional define un tema general y la selección del director (*chair*), destacando el énfasis que se dará a las discusiones sobre las presentaciones. Sólo se puede participar por invitación, si bien, desde 2005, algunas sesiones están abiertas a un público más amplio. Hasta la fecha se han celebrado 24 conferencias de Física y 22 de Química.

Preparación de la Conferencia

La carta de invitación a la Conferencia de 1911,^{5,6} de la que se muestra un fragmento de la remitida a H. Poincaré en la Figura 2, se titula: *Invitation à un “Conseil scientifique international pour élucider quelques questions d’actualité des théories moléculaires et cinétiques”*.

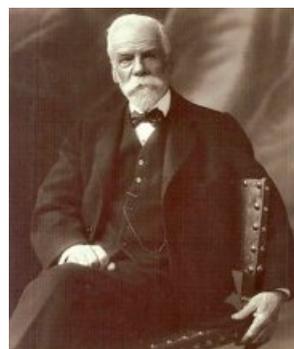


Figura 1. Fotografía de Ernest Solvay (1838-1922).

En dicho documento, Solvay explica que se necesita un cambio de la teoría clásica molecular y de la teoría cinética porque los resultados experimentales no están de acuerdo con ellas. Hace alusión a que Planck y Einstein indican que las contradicciones desaparecen si se ponen ciertos límites a los movimientos de los electrones y de los átomos en las oscilaciones en torno a una posición (*teoría de los grados de energía*). Pero recalca que ello se aleja considerablemente de las ecuaciones de movimiento de los puntos materiales, por lo que su aceptación implicaría una reforma importante de teorías físicas fundamentales.

Indica que, con ánimo de resolver el dilema, ha pensado que lo mejor sería celebrar una reunión conjunta de investigadores para trabajar sobre estas cuestiones y, al menos, poder sentar las bases del problema aunque no se llegara a su resolución total. Por ello, señala que decidió enviar una invitación a algunos investigadores, para celebrar una reunión, en Bruselas, desde el 29 de octubre al 4 de noviembre de 1911. Según se citan en la carta, los invitados fueron (se señalan las abreviaturas de nombres y la indicación de países del documento original):

Jeans, Larmor, lord Rayleigh, Rutherford, Schuster, J. J. Thomson (Inglaterra);

Nernst, Planck, Rubens, Sommerfeld, Warburg, W. Wien (Alemania);

Brillouin, Madame Curie, Langevin, Perrin, H. Poincaré (Francia);

Einstein, Hasenöhrl (Austria);
Kamerlingh Onnes, Van der Waals (Holanda);
Knudsen (Dinamarca);

Informa que el presidente será el Sr. Lorentz (Holanda); y los Secretarios los señores R. Goldschmidt (Bélgica) y de Broglie (Francia).

En la carta de invitación se hace una relación de los temas que se tratarán:

- *Deducción de la fórmula de Rayleigh sobre la radiación.*
- *Comparación de la teoría cinética de los gases perfectos con los resultados experimentales.*
- *Aplicación de la teoría cinética a las emulsiones.*
- *La teoría cinética del calor específico por Clausius, Maxwell y Boltzmann.*
- *Ley de la radiación y la teoría de los niveles de energía ("Quantenhypothese").*
- *El calor específico y la teoría de grados.*
- *Aplicación de la teoría de los grados a una serie de problemas de naturaleza física.*
- *Aplicación de la teoría de los grados a una serie de problemas de naturaleza fisicoquímica y química.*

Se añade que se ha pedido a especialistas de estos temas que redacten un informe de cómo está la situación. El informe se debía redactar en francés, inglés o alemán y se intentaría enviar a todos los participantes antes de que terminara septiembre.

Solvay indica en la carta que, aunque no es especialista en el tema, como se ha dedicado a profundizar en conocer las causas de la gravedad, la estructura y el funcionamiento de la materia, al comienzo de la Conferencia haría un resumen para intentar centrar el tema. Señalaba además que cualquier sugerencia sobre la reunión se debería dirigir a Nernst.

Llama la atención que no invitara a investigadores de Estados Unidos y que, por otra parte, hubiera un predominio de ingleses y alemanes. Parece bastante claro que fue Nernst el que decidió a quiénes se debía invitar, salvo algunos químicos belgas que fueron invitados por Solvay. Sin duda, Nernst cuyo interés fundamental era la teoría cuántica, especialmente la teoría cuántica de Einstein sobre los calores específicos, fue el alma de la organización del evento.

De los invitados, no asistieron Van der Waals, Schuster, Thomson, lord Rayleigh ni Larmor. Este último contestó que no acudiría porque no estaba al corriente de la teoría cuántica.⁷

Nernst escribió a Solvay sobre esta reunión que pretendía organizar para poner orden en las nuevas teorías y opinaba que se necesitaba "una reformulación revolucionaria de la teoría cinética: esta concepción de los cuantos de energía es tan extraña a las ecuaciones del movimiento que se utilizaban anteriormente que su aceptación debe ir acompañada de una amplia reforma de nuestra intuición fundamental".⁸

Planck, en una carta dirigida a Nernst, opinaba que en la invitación sobaban demasiados, que el problema se habría resuelto mejor y habría sido más efectivo con un grupo mucho menos numeroso, sobre todo si se restringía a la Física Cuántica. Pensaba que sólo Nernst, Einstein, Lorentz, Wien, Larmor y él mismo estaban interesados en este tema.

Incluso opinaba que se debía esperar a que el tema estuviera más consolidado.⁹

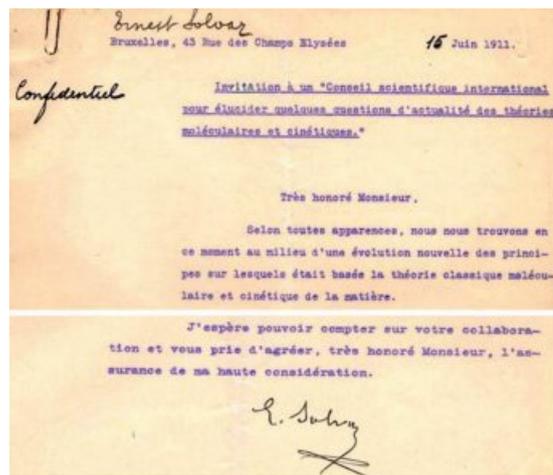


Figura 2. Fragmentos (principio y final) de la carta de invitación a la Conferencia Solvay de 1911.

Nernst creía que podía haber un par de docenas de físicos involucrados en el tema, de los que sólo la mitad serían teóricos, estando entre los más importantes Planck, Einstein y Lorentz. Entre los experimentalistas incluía a especialistas en el tema del átomo como Marie Curie y Rutherford y, entre los investigadores del fenómeno del calor, a Kamerlingh Onnes y Rubens. A Planck no le gustó mucho la idea, pensando que más que una reunión científica importante serían unos días de asueto en Bruselas.⁴

Las sesiones se celebraron en Bruselas, en el elegante Hotel Metropole y en el Instituto de Fisiología fundado por Solvay. El edificio del Instituto, donde se sucedieron posteriores Conferencias Solvay, como la célebre de 1927, forma parte, en la actualidad, del *Lycée Émile Jacqmain*. Se recogen fotografías de estos dos edificios en las Figuras 3 y 4. A título anecdótico, se recomienda la audición de la canción *Bruxelles*, de Jacques Brel, donde recoge el ambiente de la Bruselas de principios de siglo XX, aquel tiempo en que esta ciudad "bruseleaba".¹⁰

Participantes en la Conferencia

Existen bastantes trabajos donde se detallan diversos aspectos de la Conferencia.^{9,11-15} De los veintitrés participantes, la mayoría eran científicos de primera fila y fueron autores de algunas de las teorías que cambiaron la visión del mundo. Suponemos que algunos de ellos estaban por su relación con Solvay, como los dos secretarios, Robert Goldschmidt, (1877-1935) y Maurice de Broglie (1875-1960), Édouard Herzen (1877-1936) y Georges Hostelet (1875-1960).

El más conocido de este grupo es Maurice de Broglie, hermano mayor de Louis de Broglie. A la muerte de su padre, en 1906, cuando Louis tenía sólo catorce años, fue su tutor y prácticamente lo adoptó como hijo; sólo había tenido una hija que falleció con seis años. Aunque al principio Maurice se graduó en la Escuela Naval, en 1904 dejó la Marina y se dedicó a la ciencia, trabajando con Langevin y doctorándose, en 1908, en el Colegio de Francia de París. Junto con Langevin, fue el autor de las actas de la Conferencia.

En un segundo grupo consideramos a aquellos participantes que no eran muy conocidos, pero trabajaban con científicos relevantes y fueron bastante activos en las discusiones. En este grupo están Friedrich Hasenöhl (1874-1915) que trabajaba con Lorentz, y Frederick Lindemann (1886-1957), físico y político inglés que trabajaba con Nernst en calores específicos y que llegó a ser consejero de Winston Churchill. También está Louis Marcel Brillouin (1854-1948), autor de varios trabajos teóricos y experimentales relacionados con la teoría cinética de los gases, Termodinámica, Física de la materia condensada y Mecánica Cuántica. Algún autor refiere la presencia del hijo de Brillouin, Léon Brillouin (1889-1969), que sí estuvo en la Conferencia Solvay de 1927, pero no en la de 1911.¹⁴



Figura 3. Postal de los años veinte del pasado siglo, donde se muestra el Hotel Metropole, en la plaza de Brouckère de Bruselas.



Figura 4. Aspecto actual del edificio del *Institute de Physiologie*.

En un tercer grupo incluimos a los investigadores que presentaron una ponencia, pero su participación en las discusiones fue escasa: James Hopwood Jeans (1877-1946), Martin Knudsen (1871-1949), Heinrich Rubens (1865-1922) y Emil Warburg (1846-1931).

Un apartado de la ponencia de Lorentz era “la hipótesis de Jeans”, que se había caracterizado por negar la ley de la radiación de Planck, pero que recibió una dura crítica de Poincaré por querer salvar los conceptos clásicos a toda costa. A Knudsen se le conoce por sus trabajos sobre la teoría cinético-molecular y sobre fenómenos de los gases a baja presión. Suponemos que Rubens y Warburg estaban invitados porque en los resultados de sus trabajos experimentales se inspiró Planck para llegar a la teoría de los cuantos. El primero traba-

jó sobre el espectro de la luz reflejada por metales y el segundo sobre calores específicos y radiaciones del cuerpo negro.

Con ponencia y muy activos en las discusiones, que ni eran ni fueron premios Nobel están Arnold Sommerfeld (1868-1951) y Paul Langevin (1872-1946). Sommerfeld, en 1916, extendió el modelo de Bohr a órbitas elípticas, introduciendo el número cuántico azimutal. Langevin estudió en Cambridge y presentó la tesis doctoral (1902) en la Sorbona, bajo la dirección de Pierre Curie. En 1905 publicó su teoría del paramagnetismo, fundada en propiedades de los electrones.

Ya eran Premios Nobel en 1911 Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), Wilhelm Wien (1864-1928), Marie Curie (1867-1934) y Ernest Rutherford (1871-1937).¹⁶ Los dos primeros fueron participantes muy activos en las discusiones y la participación de los otros dos fue mínima.

Lorentz había sido Premio Nobel de Física en 1902, junto con su colaborador Pieter Zeeman, por sus estudios sobre la influencia del magnetismo en la radiación. En especial, por el descubrimiento de la polarización de las líneas espectrales de una fuente luminosa debida a un campo magnético (efecto Zeeman). Con Poincaré, fue uno de los pioneros de la teoría de la relatividad.

Wien fue Premio Nobel de Física en 1911 por su descubrimiento sobre las leyes de la radiación del calor. Hizo la tesis doctoral sobre la difracción de la luz en los metales y la influencia de los metales en el color de la luz refractada. Combinó la fórmula de Maxwell con la Termodinámica para explicar la emisión de radiación del cuerpo negro.

Marie Curie había sido Premio Nobel de Física de 1903, con su marido Pierre Curie y Henry Becquerel, por el descubrimiento de la radiactividad espontánea. También recibió el Premio Nobel de Química, en el mismo año de la Conferencia, por el descubrimiento de los elementos radio y polonio, así como por sus investigaciones sobre la naturaleza y comportamiento de dichos elementos. Precisamente, la celebración del centenario de la concesión de este premio fue uno de los motivos para declarar 2011 como el Año Internacional de la Química. Fue la primera mujer Premio Nobel y la primera persona que tuvo dos de estas distinciones.

Rutherford fue Premio Nobel de Química 1908 por sus experimentos sobre desintegración de los elementos y la química de los materiales radiactivos.

Fueron Premios Nobel después de 1911: Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), Max Planck (1858-1947), Walther Nernst (1864-1941), Jean Perrin (1870-1942) y Albert Einstein (1879-1955).¹⁶ Todos ellos presentaron ponencias en la Conferencia.

Kamerlingh Onnes fue Premio Nobel de Física en 1913 por sus investigaciones sobre las propiedades de los cuerpos a bajas temperaturas, en especial del helio líquido. Partiendo de los trabajos e ideas de Van der Waals, estudio las propiedades de los gases y líquidos a distintas temperaturas y distintas presiones. También descubrió la superconductividad de los metales a temperaturas próximas al cero absoluto.

Max Planck fue Premio Nobel de Física de 1918 por su contribución a la teoría cuántica. Estudió la teoría del calor y descubrió principios que ya había enunciado Gibbs pero que eran desconocidos por no haberse divulgado. Como ya se ha indicado, en 1900 realizó importantes aportaciones para explicar la emisión de radiación electromagnética del cuerpo

negro e introdujo la necesidad de considerar la cuantización de la energía. Fue de los primeros en reconocer la teoría de la relatividad de Einstein, con quien tuvo una gran amistad desde la Conferencia de 1911.

Nernst fue Premio Nobel de Química de 1920 como reconocimiento a sus trabajos en Termodinámica. Trabajó también en Electroquímica y en Química del estado sólido. Descubrió la ecuación que lleva su nombre y desarrolló una teoría osmótica para explicar y determinar el potencial de los electrodos.

Perrin fue Premio Nobel de Física de 1926 por sus trabajos sobre la estructura discontinua de la materia, en especial por el descubrimiento del equilibrio de sedimentación. En 1895 demostró que los rayos catódicos estaban formados por corpúsculos de carga negativa y en 1908 calculó de forma exacta el número de Avogadro.

Einstein fue Premio Nobel de Física 1921 por su contribución a la Física Teórica, en especial por su interpretación del efecto fotoeléctrico.

Nos quedaría por reseñar que Henri Poincaré (1854-1912) es considerado como uno de los últimos genios universales, por su extenso dominio de varias materias. Concibió la teoría de la relatividad especial antes que Einstein y en su legado matemático encontramos indicios de la teoría del caos.

En la fotografía de la Figura 5, ampliamente difundida, ya que aparece con profusión en libros y páginas Web, figuran los asistentes a la Conferencia, en una sesión celebrada en el Hotel Metropole. Está tomada, como en posteriores Conferencias Solvay, por el fotógrafo francés Benjamin Coupré.

Temas tratados en la Conferencia

Presentación

Las actas de la Conferencia fueron publicadas en francés por Langevin y M. de Broglie, en 1912,¹¹ y recogen los discursos de apertura de Solvay, Lorentz y Nernst, las ponencias con sus discusiones posteriores, las conclusiones finales y las palabras de clausura de Solvay. En la Figura 6 se muestra su portada. El hecho de que fueran traducidas al alemán, en 1914, por Eucken, colaborador de Nernst, hizo que se divulgaran ampliamente entre los científicos de la época.

Solvay, en la presentación, indicó que la idea de la Conferencia fue de Nernst y que podrían mantener la propuesta de la carta de la convocatoria y dedicarse al estudio “gravito-material”, palabra que él había “inventado” para referirse al tema de la reunión. Su idea era llegar al conocimiento exacto y definitivo de los constituyentes del universo. Terminó diciendo que si la experimentación le daba la razón se confirmaría que “el razonamiento avanza con la experiencia y se induciría menos a error que el razonamiento después de la experiencia”.

Le cedió la palabra a Lorentz,¹¹ que dijo: “*En tal estado de cosas, la bella hipótesis de los elementos de energía, lanzada por primera vez por el Sr. Planck y aplicada a numerosos fenómenos por el Sr. Einstein, el Sr. Nernst y otros, ha sido un precioso rayo de luz. Nos ha abierto perspectivas inesperadas e incluso aquellos que la contemplan con una cierta desconfianza deben reconocer su importancia y su fecundidad. Esta hipótesis bien merece ser el tema principal de nuestras discusiones y, cierta-*

mente, el autor de esta nueva hipótesis y aquellos que han contribuido a su desarrollo merecen que les rindamos un sincero homenaje”.



Sentados (de izquierda a derecha): Walther Nernst, Louis Marcel Brillouin, Ernest Solvay, Hendrik Antoon Lorentz, Emil Warburg, Jean Baptiste Perrin, Wilhelm Wien, Marie Curie, y Henri Poincaré. *De pie (de izquierda a derecha):* Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Hasenöhr, Georges Hostelet, Édouard Herzen, James Hopwood Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kamerlingh Onnes, Albert Einstein y Paul Langevin.

Figura 5. Asistentes a la Conferencia Solvay de 1911.

A continuación, Lorentz hizo una relación de las objeciones que se ponían a las nuevas ideas cuánticas. Por una parte, estaban en contradicción con teorías vigentes y por otra, necesitaban mucho más rigor y precisión para poderse considerar correctas. Opinaba que la forma de trabajar en la reunión sería examinar las distintas propuestas; lo mismo las que parecían más prudentes que las que parecían más novedosas, para intentar distinguir lo accesorio de lo fundamental.

Para terminar la presentación, intervino Nernst, diciendo que esperaba que la reunión sirviera para poner orden en los conocimientos de la Física lo mismo que la reunión de Karlsruhe (1860) supuso el comienzo de la Química moderna. Hizo un resumen de lo que se logró para la Química en dicha reunión, donde se puso orden en aspectos como formulación y pesos atómicos. Concluyó diciendo que “*las ideas fundamentales y novedosas de Planck y Einstein deben servir de base para nuestras discusiones, pueden ser modificadas y elaboradas pero no pueden ser ignoradas*”.

Sin duda, el alma de la Conferencia fue Lorentz que, además de poseer una gran inteligencia y excelentes dotes personales, dominaba varios idiomas. Se presentaron en total doce ponencias que, por orden de publicación en las actas, son:

- Lorentz: “*Aplicación a la radiación del teorema de equipartición de la energía*”.
- Jeans: “*La teoría cinética del calor específico según Maxwell y Boltzmann*”.
- Warburg: “*Verificación experimental de la fórmula de Planck para la radiación del cuerpo negro*”.

- Rubens: “Verificación de la fórmula de la radiación de Planck en el dominio de las longitudes de onda grandes”.
- Planck: “La ley de radiación del cuerpo negro y la hipótesis de las cantidades elementales de acción”.
- Knudsen: “La teoría cinética y las propiedades de los gases perfectos”.
- Perrin: “Las pruebas de la realidad molecular; estudio especial de las emulsiones”.
- Nernst: “Aplicación de la teoría de los cuantos (quanta) a diversos problemas fisicoquímicos”.
- Kamerlingh Onnes: “Sobre las resistencias eléctricas”.
- Einstein: “El estado actual del problema de los calores específicos”.
- Sommerfeld: “Aplicación de la teoría del elemento de acción a los fenómenos moleculares no periódicos”.
- Langevin: “La teoría cinética del magnetismo y de los magnetones”.

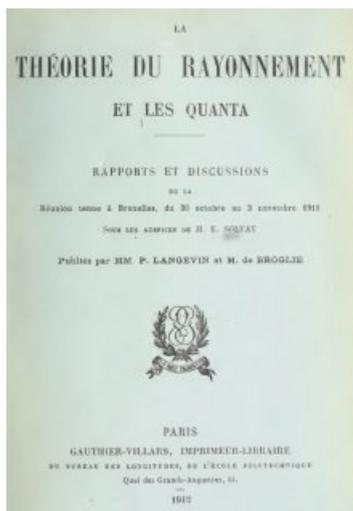


Figura 6. Portada de la edición de las Actas de la Conferencia.

Tema central: Teoría de la radiación

Lorentz, en su intervención, aunque no trató el tema de la hipótesis cuántica, hizo un importante y extenso análisis de las dificultades que surgirían al aplicar la Mecánica estadística del equilibrio a la radiación y sugirió algunas formas de evitarlas.

Rayleigh no fue a la reunión, como se indicó anteriormente, pero envió una carta que se leyó y se discutió, en la que opinaba que la cuantización de Planck era un método que no proporcionaba “una imagen de la realidad”. Consideraba que los datos experimentales no implicaban el abandono de las ideas de Boltzmann y Jeans.

Las intervenciones de Lorentz, Rayleigh y Jeans fueron intentos de admitir las ideas de Planck sin tener que recurrir a la hipótesis cuántica. Jeans habla de introducir la idea de “términos efectivos” para imitar el número de estados permitidos en un sistema clásico.¹¹

Este procedimiento resultaba tan fuera de lugar y tan artificial que recibió una fuerte crítica de Poincaré: “Jeans podrá decir que no importa la constatación experimental, pero esto no es la regla de las teorías físicas”.

Einstein, en su ponencia, recogió parte de sus trabajos anteriores de 1907, incorporando nuevos datos experimentales que, fundamentalmente, se debían a Nernst. Indicó: “consideremos de nuevo la explicación de la diferencia entre las variaciones teórica y experimental del calor específico con la temperatura. En mi opinión, esta diferencia se debe a que las oscilaciones térmicas de los átomos están muy alejadas de ser monocromáticas; tales oscilaciones no poseen una frecuencia determinada, sino todo un espectro de frecuencias”.

La segunda parte de su ponencia se refiere a “consideraciones teóricas sobre la hipótesis de los cuantos” y dice que la cuestión principal a contestar es: “¿Cómo se debe modificar la Mecánica para que esté de acuerdo con la ley de la radiación y con las propiedades térmicas de la materia?”.

Después de analizar las ideas de Planck y los datos experimentales de Nernst, partiendo del principio de Boltzmann, trató de llegar a la nueva relación, no partiendo de hipótesis sino de datos experimentales. Hizo un análisis de las fluctuaciones de energía de los sólidos e introdujo, como un término de esas fluctuaciones, el valor de $h\nu$, con lo cual la teoría de los cuantos podría subsistir. A continuación, con razonamientos análogos, partiendo de la ley de Planck, advirtió que también era necesario admitir para la radiación una estructura discontinua.

La discusión posterior a la intervención de Einstein se centró en qué había que cambiar y qué se podía mantener de la Mecánica Clásica.

Planck, en su ponencia, buscando el significado de la constante h dijo: “¿Este elemento de acción tiene un significado físico para la propagación de la energía de la radiación en el vacío o bien interviene por su misma naturaleza lo mismo en los fenómenos de producción y destrucción de la energía radiante que en la emisión y en la absorción? Según sea la respuesta que se dé a esta cuestión el desarrollo ulterior de la teoría deberá seguir caminos totalmente distintos. El primer punto de vista está adoptado por Einstein (1909) en la hipótesis de los cuantos de luz”.

Indicó que se puede llegar a una misma expresión para el cálculo de la energía de un oscilador por cuatro métodos diferentes, considerando el más adecuado el que proponía Nernst. Afirmó: “Como muestran los resultados de diferentes cálculos es necesaria la hipótesis de que la energía de un oscilador es siempre múltiplo entero de un elemento de energía ϵ ”.

Siguió su ponencia con la aplicación de esa fórmula de la energía del oscilador a las radiaciones absorbidas y emitidas, a su relación con el cálculo de los calores específicos y, prácticamente al final, dijo “las fuerzas físicas: gravitación, atracciones eléctricas y magnéticas y cohesión se ejercerán de forma continua pero las fuerzas químicas, al contrario, lo harán por cuantos”. No dudaba de que la única forma de encontrar una solución era introduciendo una hipótesis completamente nueva, que no estaba de acuerdo con los conocimientos anteriores. No terminaba de tener clara la solución, pero afirmó que las discontinuidades cuánticas habían llegado a la Mecánica para quedarse, aunque se necesitara aquilatar más.

Sommerfeld dividió su extensa ponencia en seis apartados: elementos de energía y elemento de acción, teoría

de rayos Röntgen, teoría de rayos γ , efecto fotoeléctrico, indicación de una teoría del potencial de ionización, comparación con la hipótesis de los cuanta de energía y los cuantos de acción de Planck. Presentó una hipótesis mucho más general, que expresó diciendo “*Las propiedades generales de todas las moléculas o átomos que determinan los fenómenos de la radiación no consisten en la intervención de elementos particulares de energía, sino en la forma en que la producción de los cambios de energía, en un tiempo más o menos largo, está dominada por una ley universal. Parece necesario admitir que el tiempo que necesita la materia para captar o ceder una cierta cantidad de energía es tanto más corto cuando la energía es más grande, de tal forma que el producto de la energía por el tiempo o mejor, considerando la definición que nosotros queremos dar, la integral de la energía en un período de tiempo está determinada por el tamaño de h* ”.

Reconoció que tenía que seguir trabajando sobre estas ideas, que aún no estaban del todo maduras, y necesitaría más tiempo para pensar sobre ellas y para someterlas a la crítica. Afirmó: “*La concordancia de nuestros cálculos con el valor de h es sorprendente pero, sin embargo no es totalmente satisfactoria*”.

En el último apartado hizo una extensa crítica sobre las teorías de Planck y de Einstein, de las que afirmó que son irreconciliables con la teoría de Maxwell, mientras que su propuesta completaría esta teoría. Terminó diciendo: “*Las nuevas investigaciones de Planck presentan, en todo caso, un gran interés porque muestran que de la ley de la radiación se pueden deducir hipótesis muy diferentes de la de los cuantos de energía bajo su forma primitiva, y parece que justifican la esperanza de llegar algún día a edificar la teoría de la radiación en una forma exenta de contradicción tomando como partida el cuanto universal de acción*”.

La ponencia fue seguida por una acalorada discusión, con la intervención de la mayoría de los presentes. Langevin aclaró las diferencias entre las propuestas de Planck y de Sommerfeld: la primera era de naturaleza estadística y la segunda de tipo mecánico. Por otra parte, consideraba importante que los dos introdujeran la constante h . Sommerfeld siguió insistiendo en su afán de reconciliar las ideas modernas con las tradicionales. Fue de las pocas ponencias donde, en la discusión, aparece el nombre de Marie Curie.

Langevin afirmó, en la discusión posterior a su ponencia, que la teoría de elementos de acción de Sommerfeld proporcionaba una explicación posible de la existencia del magnetón, lo que no sucedía con la propuesta de Planck. Distinguía entre la causa del diamagnetismo y el paramagnetismo y explicaba la teoría de Wien del ferromagnetismo.

Otros temas tratados

Posiblemente la ponencia de menos trascendencia fue la de Knudsen sobre la teoría cinética de los gases. Perrin presentó un amplio estudio sobre las pruebas de la realidad molecular que, sin duda, es interesante para cualquier estudio de tipo histórico relacionado con la evolución de los conocimientos de la estructura de la materia. Además, incluyó una tabla sobre las concordancias obtenidas para el valor del número de Avogadro siguiendo diversas rutas. Kamerlingh Onnes, en su trabajo, abordaba el estudio de la resistencia eléctrica de los distintos metales a bajas temperaturas.

Conclusiones de la Conferencia

En las conclusiones,¹¹ que son escuetas (sólo ocupan cuatro páginas) intervinieron Poincaré, Brillouin, Nernst y Langevin. Este último resalta las ideas de Planck y admite que, a pesar de su imprecisión, suponen un gran avance.

Como indica Navarro¹⁴ lo más importante de las conclusiones es que Poincaré pone en duda la validez de los principios fundamentales de la Mecánica y, además, resalta los problemas que pueden tener los conceptos cuánticos, tal como están presentados, por apoyarse en teorías que se pretenden sustituir.

Nernst y Poincaré consideran que la ley de Planck se podría aceptar desarrollando una nueva Mecánica coherente con esas ideas. Está clara la necesidad de aceptar la discontinuidad, pero no se sabe muy bien cuál es el camino a seguir ni si los cambios tendrán que ser profundos o bastarán unos pequeños retoques.

La intervención de Brillouin expresa claramente cuál es el sentimiento generalizado: “*Quisiera resumir la impresión que me ha dejado primero la lectura de las ponencias, y más aún todas nuestras discusiones. Es posible que mi conclusión parezca muy tímida sobre todo a los más jóvenes; pero, aún así, me parece muy importante. Esta claro que desde ahora habrá que introducir en nuestras concepciones físicas y químicas una discontinuidad, un elemento que varíe por saltos, del cual no teníamos la menor idea hace algunos años. ¿Cómo habrá que introducirlo? Es lo que veo menos claro. ¿Será en la forma primera propuesta por el Sr. Planck a pesar de las dificultades que plantea, o en la forma segunda? ¿Será en la forma del Sr. Sommerfeld, o en alguna otra por investigar? Yo no lo sé, cada una de esas formas se adapta bien a un grupo de fenómenos y no tan bien a otros. ¿Habrá que ir mucho más lejos, y cambiar los fundamentos del electromagnetismo y de la Mecánica Clásica, o bastará limitarse a adaptar la nueva discontinuidad a la vieja Mecánica? Lo dudo y por importantes que sean los fenómenos sobre los que se ha dirigido nuestra atención, no puedo olvidar la enorme cantidad de fenómenos físicos a los cuales la mecánica y el electromagnetismo clásicos se han adaptado muy bien*”.

Palabras finales de Solvay

En dos páginas finales de las actas¹¹ se recogen unas palabras de Solvay, quien considera que la reunión ha sido un éxito, resaltando el enorme trabajo que han realizado y la maestría de Lorentz como presidente. Dice: “*Habéis fijado el estado actual de la ciencia física en una de sus direcciones fundamentales, en las bases que ocuparán en su historia un lugar notable, no dudo que vuestra obra impresa será un monumento que los siglos respetarán*”. Si no existieran obstáculos, promete organizar otra reunión en 1913, a la que estarán todos invitados y espera seguir defendiendo su tesis gravito-material sin interferir en sus deliberaciones.

Resultados de la Conferencia

La Conferencia reveló plenamente la incompatibilidad con la Mecánica Clásica, de la ley de Planck para la radiación del cuerpo negro, como había advertido Lorentz en el discurso de apertura. Quedó claro que la única solución era una nueva teoría, aunque Planck y Sommerfeld se aferraban a intentar

mantener la teoría clásica. Einstein opinaba que Planck estaba bloqueado por algunos prejuicios, pero el problema era que nadie veía con claridad cuál podía ser la solución.

Uno de los conversos hacia las nuevas ideas con esta reunión de 1911 fue Poincaré como lo expuso en un trabajo sobre “*La teoría de los cuantos*” que presentó en la Academia de Ciencias de París en diciembre de 1911, y que posteriormente apareció publicado en *Comptes Rendus* y en el *Journal de Physique*. Pero su muerte, el 17 de julio de 1912, muy poco después de la reunión, hizo que no fuera significativo para la Física este cambio, porque el trabajo tardó en conocerse.¹⁵

Einstein, en privado, fue bastante duro al hablar de la reunión, hasta el punto que, en una carta que escribió en diciembre a su amigo M. A. Besso, le decía: “*esta Conferencia ha tenido todo el aspecto de una lamentación sobre las ruinas de Jerusalén. No ha salido de allí nada positivo. Mis argumentos sobre las fluctuaciones suscitaron gran interés y ninguna crítica seria. He sacado poco provecho, pues no he oído nada que no fuese conocido*”. Ya había sido crítico antes de celebrar la reunión, a la que la había comparado con un aquelarre.¹⁵

La opinión de Einstein sobre Poincaré, después de la reunión, era bastante negativa, aunque años más tarde reconociera su inteligencia y su valía. Sin embargo la opinión de Poincaré sobre Einstein, después de la reunión, era altamente positiva, como se demuestra al leer un informe solicitado por Weiss, cuando el Politécnico de Zurich intentaba conseguir una cátedra para Einstein. En dicho informe Poincaré decía: “*Einstein es uno de los espíritus más originales que he conocido; a pesar de su juventud, ya ocupa un lugar muy honorable entre los primeros sabios de su tiempo. El futuro mostrará cada vez más cuál es su valor, y la Universidad que sepa atraer a este joven maestro se asegura obtener con él mucho honor*”.¹⁵

De acuerdo con Mehra,⁹ así como Marage y Wallenborn,¹⁷ no se puede considerar que la Física Cuántica naciera en esta reunión, más bien fue un resultado de la Quinta Conferencia Solvay, que tuvo lugar en 1927 pero, sin duda, su celebración fue fundamental. Aunque parece algo excesivo el tiempo transcurrido entre una y otra, para que la primera influyera tanto sobre la segunda, hay que tener en cuenta que, en el intermedio, tuvo lugar la Primera Guerra Mundial.

Navarro indica que “*dado que las actas del congreso se publicaron el año siguiente, la semilla cuántica se difundió pronta y ampliamente, traspasando incluso la frontera de la comunidad científica germano-hablante y provocando que una nueva generación de jóvenes físicos se interesaran por las discontinuidades cuánticas, de las que tuvieron noticias no sólo por aquellas actas, sino por las conferencias y discusiones en las que, cada vez con mayor frecuencia, participaban sus respectivos maestros*”.¹⁴

Esta primera Conferencia Solvay fue decisiva para que los científicos de aquel momento tomaran conciencia de la radicalidad y profundidad de los cambios necesarios. Hasta el mismo Planck, como se ha señalado, seguía intentado por todos los medios conseguir que las nuevas ideas se adaptaran a la Física anterior, sin que supusieran un cambio brusco. Sin embargo, después de la reunión, prácticamente todos tenían claro que las hipótesis cuánticas eran revolucionarias y que no quedaba más remedio que aceptarlas.^{9,17}

Para que se desarrollara la Mecánica Cuántica fueron necesarios nuevos avances, como se indicó en la introducción,

entre los que destacan el modelo atómico de Niels Bohr (1913), la hipótesis de dualidad onda-corpúsculo enunciada por Louis de Broglie (1923) y el principio de incertidumbre de Werner Heisenberg (1927). Este último (en 1925) y Erwin Schrödinger (1926) establecieron la base matemática y las leyes de la Mecánica Cuántica. Entre otras características, en contraposición al determinismo de la Mecánica Clásica, la Mecánica Cuántica presenta, en muchos de sus resultados, un carácter estadístico.¹⁸ Aparecía así una nueva forma de la Mecánica que, como indica Avery,³ era tan completa y satisfactoria como la Clásica lo había parecido.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Madrid, por el apoyo recibido a través del proyecto IE10053535, así como a los revisores del manuscrito, por sus valiosas aportaciones.

Bibliografía

1. P. Román Polo, *An. Quím.*, **2010**, *106*, 231–239.
2. I. N. Levine, *Fisicoquímica*, McGraw-Hill, México, **1983**, p. 391.
3. J. Avery, *Teoría Cuántica de Átomos, Moléculas y Fotones*, Alhambra, Madrid, **1975**.
4. Solvay Group, History; Ernest Solvay: <http://www.solvay.com/about/history/ernestsolvay/> (consultada en enero de 2011).
5. Internacional Solvay Institutes. Brussels: <http://www.solvayinstitutes.be/> (consultada en enero de 2011).
6. P. Gaspard, M. Henneaux, F. Lambert, Edit. *Symposium Henri Poincaré, Proceedings*, Vol. 2, Université Libre de Bruxelles, Vrije Universiteit Brussel, International Solvay Institutes for Physics and Chemistry, **2004**.
7. C. Jungnickel, R. McCormack, *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical Physics from Ohm to Einstein, Volume 2: The Now Mighty Theoretical Physics, 1870 to 1925*, University of Chicago Press, **1990**.
8. H. Kragh, *Generaciones Cuánticas. Una historia de la Física del siglo XX*, Akal, **2007**.
9. J. Mehra, *The Solvay Conferences of Physics. Aspects of Development of Physics since 1911*, Reidel, Dordrecht **1975**.
10. J. Clouzet, *Jacques Brel*, Ediciones Júcar, Madrid, **1989**.
11. P. Langevin, M. de Broglie, *La théorie du rayonnement et les quanta, Rapport et discussions de la réunion tenue à Bruxelles, du 30 Octobre au 3 Novembre 1911 sous les auspices de M.E. Solvay*, Gautier et Vilars, Paris, **1912**.
12. C. C. Gillispie, Ed., *Dictionary of Scientific Biography*. F. L. Holmes, Ed., Supplement II, Charles Scribner's Sons, **1990**.
13. G. P. Michon, en: www.numericana.com/fame/solvay.htm (consultada en enero de 2011).
14. L. Navarro Veguillas, *Cronos: Cuadernos Valencianos de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, **2002-2003**, 5–6 (1), 25–67.
15. J. M. Sánchez Ron, *Historia de la Física Cuántica: Período Fundacional (1860-1926)*, Crítica, Barcelona, **2005**.
16. The Official Web Site of the Nobel Prizes: http://nobelprize.org/nobel_prizes/ (consultada en enero de 2011).
17. P. Marage, G. Wallenborn, Les Conseils Solvay et la Physique Moderne, en *Histoire des Sciences en Belgique, 1815-2000*, La Renaissance du Livre, Bruxelles, **2001**, Vol. 2, pp. 109–121.
18. M. Díaz Peña, A. Roig Muntaner, *Química Física*, Vol. I, Alhambra, Madrid, **1980**, p. 30.