

El mito fundacional de la Física Cuántica

R. O. Barrachina

Instituto Balseiro, R8402A S. C. de Bariloche, Río Negro, Argentina⁺.



Susan Derges¹: *The observer and the observed 7*.

Resumen: En el presente trabajo se realiza un análisis de las descripciones históricas que figuran en la mayoría de los manuales de Física Cuántica. Tales relatos se articulan en base a una construcción formal muy simple donde se encadena una serie de supuestas relaciones causales experimento - teoría, enmarcada dentro de un contexto de progreso científico. Mostramos que este relato presenta varios elementos inventados, así como importantes errores y omisiones. En el presente trabajo ensayamos una explicación de este fenómeno, teniendo en cuenta muy especialmente el contexto temporal y geográfico donde vivieron aquellos que escribieron los primeros libros de la especialidad.

⁺ barrachina@ib.edu.ar, <http://www.ib.edu.ar/staff/barrachina>, fax: 02944 445102, tel: 02944 445163.

¹ Nacida en 1955, Susan Derges combina en su trabajo un fuerte interés en ciencia, fotografía y naturaleza. En años recientes ha evolucionado hacia una fotografía sin cámara, utilizando la tecnología del fotograma, es decir la impresión de un objeto por la luz directamente sobre papel sensible. Su obra está incluida en el patrimonio del Victoria and Albert Museum, del San Francisco Museum of Modern Art, y del Metropolitan Museum of Art.

Introducción

De manera explícita o no, un profesor transmite a sus estudiantes mucho más que los temas específicos de la materia que está dictando. Esto es claramente así en la relación que se establece entre un director y su discípulo durante la realización de una tesis de doctorado, donde más allá del tema sobre el que esté desarrollando su trabajo, el alumno absorbe formas y estilos del quehacer específico de su especialidad, y una serie de valores y actitudes éticas. En muchos casos, esta transmisión se da de manera involuntaria, tanto para el director como para el discípulo.

En un curso de grado, esta transmisión es en general más explícita, directa y pautada. En el transcurso de las clases, el profesor establece puntos de vista, emite opiniones, y hace comentarios que no siempre están directamente vinculados con los temas bajo estudio. Esto ocurre inclusive en cursos de Matemáticas y de Física Teórica, a pesar de que en los mismos suele primar una forma de enseñanza supuestamente desvinculada de toda posibilidad de discusión o cuestionamiento, y basada en un discurso altamente formalizado y en una argumentación deductiva. Tomemos como ejemplo los tres cursos principales de la Física Teórica: Mecánica Clásica, Electromagnetismo y Física Cuántica. En los tres casos se suele comenzar con la presentación de ciertas "leyes fundamentales": las leyes de Newton, las leyes de Maxwell y la ecuación de Schrödinger, respectivamente. A partir de allí, el resto del curso continúa en forma deductiva, tal como si se tratase de una presentación axiomática de la Geometría o el Álgebra. Parece no haber lugar para nada más que una argumentación que lleve al estudiante desde, por ejemplo, las mecánicas de Newton a la de Hamilton-Jacobi. Las estructuras de D'Alembert, Lagrange y Hamilton son sólo pasos intermedios y relativamente imperfectos en este camino "sin desvíos" que conduce hacia un mayor grado de abstracción y simplicidad formal. Sin embargo, justamente en la elección de esta *trama* ya se puede advertir que el profesor está transmitiendo a los alumnos una cierta noción de progreso científico, donde partiendo de las ecuaciones de Newton, la estructura de la Mecánica Clásica fue "evolucionando" históricamente hacia mayores grados de simplicidad y abstracción.

También se inculca, por ejemplo, una preferencia por las nociones de energía y potencial en detrimento del concepto de fuerza que es gradualmente abandonado.

Pero donde más claramente se percibe esta transmisión de conceptos adicionales es al comienzo de todos estos cursos, cuando es necesario establecer algún tipo de justificación para las leyes fundamentales de la Teoría. Esta introducción suele ser muy breve y esta constituida por un relato simple y esquemático, donde se cuenta cómo algunos individuos (Newton, Maxwell, Bohr) desarrollaron una nueva Teoría que lograba abarcar ciertas evidencias empíricas que no encajaban en los modelos previos. Los libros de texto utilizados en los cursos de Física Teórica a nivel universitario suelen incluir un capítulo introductorio con estas características. En general, estos breves relatos constituyen las únicas fuentes de información históricas que los estudiantes reciben sobre el desarrollo de la ciencia que están estudiando. Y en la mayoría de los casos esta información es pasada de profesor a discípulo casi por obligación y de una manera completamente acrítica. Por ejemplo, con muy contadas excepciones, los cursos de Física Cuántica comienzan con una breve descripción histórica referida a los primeros estudios sobre el denominado *Problema de la radiación de cuerpo negro*, que condujeron a la aceptación del modelo de los *cuantos de luz* o *fotones* durante las dos primeras décadas del siglo XX. Ya de por sí, esta introducción no sólo genera confusión en los estudiantes, sino que da lugar a expectativas que invariablemente no son satisfechas a lo largo del curso. De hecho, este relato apunta hacia la *cuantización* del campo electromagnético, cuando en realidad los cursos de Física Cuántica se concentran en la descripción ondulatoria de la materia y su eventual cuantización a nivel de la estructura atómica. Por el contrario, la cuantización del campo de radiación es un tema que sólo se alcanza a ver en cursos muy avanzados de Física Moderna, y a veces ni siquiera está incluido en los planes de estudio de algunas carreras de Licenciatura o Maestría en Física. En los libros de texto usuales se utiliza un modelo semiclásico, donde la descripción ondulatoria de la materia se acopla con una descripción clásica *alla* Maxwell del campo electromagnético. En este contexto, la inclusión de un relato histórico referido al problema de la radiación de cuerpo negro sólo se puede entender como una manera de confrontar al estudiante con el concepto de la *dualidad onda-corpúsculo*. La posible aunque rara vez explícita conclusión del relato es que así como Einstein entendió que las ondas luminosas pueden

comportarse como partículas, de la misma manera de Broglie postuló que la materia puede evolucionar como una onda. En este punto, el relato salta abruptamente de un tema al otro, dirigiéndose hacia los esfuerzos posteriores de científicos como Bohr, Sommerfeld, Heisenberg y Schrödinger en la búsqueda de una ecuación para esta *onda material*. Sin embargo, una lectura de los libros de texto utilizados en los cursos de cuántica no permite encontrar una explicación cuidadosa de este salto conceptual de la luz *corpuscular* a la materia *ondulatoria*.

En líneas generales, la primera mitad de la introducción histórica común a todos los libros de texto de Física Cuántica puede resumirse en los siguientes cinco puntos, que se presentan en el orden indicado:

Desde un punto de vista conceptual, el relato se articula a partir de los ciertos datos históricos, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

- Año 1888: Hertz realiza los primeros experimentos relacionados con la transmisión de ondas electromagnéticas.
- Año 1900: Planck introduce el concepto de *cuanto de energía* para explicar ciertos resultados experimentales referidos a la radiación emitida por un cuerpo negro.
- Año 1905: Einstein introduce el concepto de *cuanto de luz*.
- Año 1922: Compton realiza un experimento sobre la dispersión de luz por electrones.

La crónica formada por estos y otros elementos históricos secundarios, seleccionados y ordenados temporalmente, se organizaron como un relato con el fin de hacer ese registro más comprensible para el público específico al cuál está dirigido, es decir los estudiantes de los cursos de Física Cuántica. Como resultado de este intento de mediación entre el registro histórico y los nuevos aprendices del oficio, queda armado un relato que en líneas generales puede resumirse en los siguientes cinco motivos principales:

- 1) En Diciembre de 1900 Planck introdujo el concepto de los cuantos de luz, con el fin de explicar los resultados experimentales referidos a la radiación emitida por un cuerpo negro.
- 2) En 1888, Hertz realizó los primeros experimentos relacionados con el efecto fotoeléctrico, observando que una placa metálica iluminada por luz ultravioleta emitía electrones con una ley de variación específica.
- 3) En 1905 Einstein publicó un artículo aplicando la hipótesis de cuantización de la luz de Planck al efecto fotoeléctrico.
- 4) El experimento de Compton sobre la dispersión de luz por electrones convenció a una incrédula comunidad científica sobre la veracidad de la hipótesis sobre los cuantos de luz.
- 5) Como resultado de esta confirmación experimental de su teoría, Einstein recibió el premio Nobel de Física.

Estos son, a grandes rasgos, los motivos centrales de la introducción histórica común a casi todos los libros de texto de Física Cuántica. Constituyen una "Historia" sobre el nacimiento de la Cuántica que puede leerse como una trama romántica donde el joven héroe Einstein lucha a favor de su tutor Planck durante dos décadas contra la incredulidad general y vence gracias a un único experimento crucial, cuya autoridad convence a toda la comunidad científica. Todo el relato tiene una linealidad muy simple, una construcción formal donde se encadena una serie de relaciones experimento - teoría (Cuerpo Negro Teoría de Planck, Efecto fotoeléctrico Teoría de Einstein), y que evoluciona dentro de un claro contexto de progreso científico.

Sin embargo, este relato histórico es mayormente falso, estando más relacionada con una especie de mito fundacional que con cualquier reconstrucción histórica que se pueda hacer a partir de los documentos disponibles. De hecho, todos y cada uno de los cinco puntos enumerados más arriba tienen algún error u omisión. Por ejemplo:

- 1) Planck no sólo no postuló la existencia de los cuantos de luz, sino que fue el más acérrimo enemigo de dicha idea.

- 2) El descubrimiento del efecto fotoeléctrico no puede atribuirse a Hertz, ya que este falleció prematuramente a los 37 años de edad, casi una década antes de que J. J. Thomson descubriera el electrón. En realidad el efecto fotoeléctrico fue el fruto de las investigaciones de otro gran físico de la época, Phillip Lenard, quien no es mencionado en prácticamente ningún libro de texto sobre Física Cuántica.
- 3) En su trabajo de 1905, Einstein no aplicó las ideas de Planck sino que utilizó un desarrollo propio e independiente, postulando por primera vez el concepto de cuanto de luz y aplicándolo a varios procesos físicos distintos, en particular al efecto fotoeléctrico.
- 4) El experimento de Compton sólo vino a reafirmar un convencimiento que ya había ganado a la comunidad científica respecto de la hipótesis de Einstein sobre los cuantos de luz. Ello a pesar de la casi absoluta ausencia de evidencia experimental.
- 5) Tanto Planck como Einstein recibieron el premio Nobel de Física, años antes de que Compton realizara la primera confirmación experimental de la nueva teoría.

Utilizamos la expresión "mito fundacional" en un sentido preciso, pero no demasiado restringido, que guarda muchos puntos en común con el concepto de *tradición inventada*². Con esta expresión queremos significar un relato sobre la construcción de una nueva Teoría que muestra elementos inventados, errores u omisiones, voluntarios o no, que emergieron de una manera no siempre fácil de discernir, y que se establecieron con gran rapidez. Nuestro objetivo en este trabajo no es sólo estudiar el desarrollo de la Física Cuántica durante la primera década del siglo XX, sino también analizar la estructura de ese mismo relato.

En las secciones siguientes intentaremos reconstruir la historia de la génesis del concepto de cuanto de luz, aclarando las imprecisiones que aparecen en la "historia oficial". ¿Cómo es que se generó ese relato semi-ficcional del nacimiento de la Física Cuántica?. En las próximas secciones intentaremos dar respuesta a esta pregunta. Al indagar en esta cuestión encontraremos una respuesta parcial al intentar individualizar al grupo que construyó esa historia. No serán ajenos al problema ni el lugar y ni la época en que se produjeron los hechos que conforman el relato, ni

tampoco los contextos histórico y geográfico donde vivieron aquellos que escribieron los primeros libros de Física Cuántica. Veremos que este último aspecto es especialmente relevante en cualquier intento de explicar la omisión de varias personalidades que, como Lenard o Stark, jugaron un papel importante en el desarrollo de la revolución científica que significó el nacimiento de la Física Cuántica.

El contexto histórico

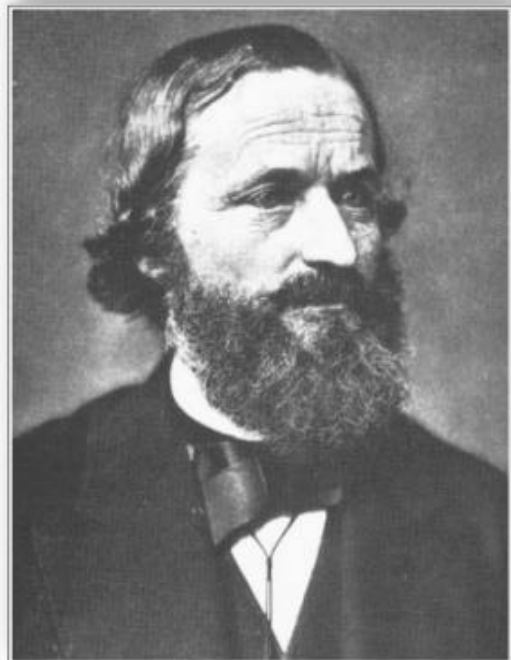
En el año 1900, la Física estaba transcurriendo por un período que hoy denominaríamos de Ciencia Normal. Esto lo atestigua el gran éxito que se había logrado en la explicación de todos los fenómenos físicos conocidos hasta ese momento, desde la Mecánica Celeste hasta la Óptica y el Calor. Se tenía la percepción de que se vivía en un mundo ordenado donde todas las leyes de la Naturaleza eran conocidas, y sólo quedaba un trabajo de artesano para colocar en su lugar los ladrillos faltantes en el Perfecto Edificio de la Ciencia. En la base de esta percepción estaba el concepto de que el Universo estaba formado por dos clases de elementos. En primer lugar estaba la materia que ocupa un lugar en el espacio y con la propiedad de que, cuando actúa sobre ella una influencia externa (es decir una fuerza), cambia su estado de movimiento. Por otro lado estaban las perturbaciones del éter o electromagnéticas, cuya velocidad de propagación en un sistema de referencia absoluto era perfectamente conocida, e igual a la velocidad de la luz. El movimiento de la materia estaba descrito por las leyes de Mecánica, formuladas en 1687 por Isaac Newton (1642-1727). En lo que concierne a las perturbaciones electromagnéticas, la teoría propuesta por James Clark Maxwell en 1865 constituía el segundo gran esquema teórico de la Física. Las cuatro ecuaciones de Maxwell permitían determinar los campos de fuerza (campos electromagnéticos) producido por distribuciones de cargas eléctricas y dipolos magnéticos. En 1888 Heinrich Hertz (1857 – 1894) había confirmado que la luz era también un fenómeno electromagnético, con lo cual la Óptica había pasado a ser una parte integral del Electromagnetismo. Además de estas dos teorías, la Termodinámica proveía las herramientas necesarias para comprender los fenómenos térmicos, aunque todavía

² Eric Hobsbawm and Terence Ranger: *The Invention of Tradition* (Cambridge University Press,

faltaban seis años para el descubrimiento por Walther Nernst (1865 - 1941) de la llamada tercera ley. Había confianza en que algunos nuevos fenómenos que habían sido descubiertos recientemente, como los rayos catódicos, X y Becquerel, eventualmente se clasificarían y comprenderían dentro de ese gran esquema. Mientras tanto, físicos como Ludwig Eduard Boltzmann (1844 - 1906) y Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903) estaban estableciendo los fundamentos de la Mecánica Estadística con la idea de reformular la Termodinámica sobre la base de una hipótesis atómica. El éxito obvio de la tabla periódica de los elementos y una sucesión creciente de evidencias hablaba en favor de esta idea, a pesar de que un gran número de anti-atomistas se oponía con vehemencia a atribuir realidad a los átomos como elementos constitutivos de la materia. Pero a excepción de estos hilos sueltos, parecía que todo lo importante sobre el comportamiento físico del universo se conocía ya, y la tarea del científico de esos años quedaba relegada a la resolución artesanal de algunos problemas que habían ido quedando como hilos sueltos en el entramado de la Física.

El Problema de la radiación de cuerpo negro

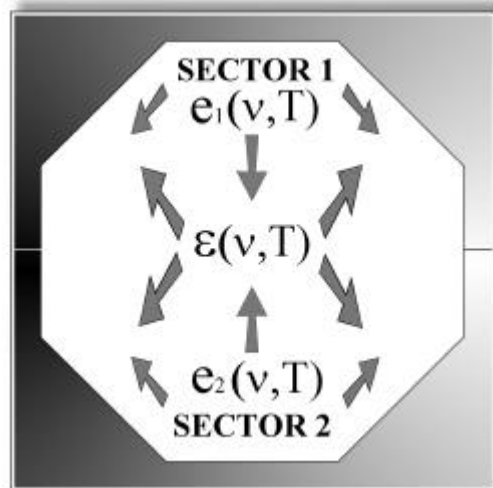
Ahora describiremos el tema específico al que se refieren las introducciones históricas de los libros de Física Cuántica. Uno de los primeros antecedentes está dado por un trabajo³ presentado en 1859 a la Academia Prusiana de Ciencias por Gustav Robert Kirchhoff. Kirchhoff nació el 12 de Marzo de 1824 en Königsberg, Alemania, en cuya Universidad se graduó en 1847. Ese mismo año envió a publicar su primer trabajo sobre emisión térmica. En 1859 se desempeñaba como Profesor



Cambridge, 2nd edition, 1983).

³ Gustav Kirchhoff: "*Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme*", Monatsberichte Preuss. Akad. Wiss. (Berlin), pp. 783-787 (presentado en la reunión del 11 de Diciembre de 1859), reimpresso en *Gesammelte Abhandlungen von G. Kirchhoff*, pp. 567-570 (J. A. Barth, Leipzig, 1882).

de Física en la Universidad de Heidelberg. Trabajó tanto en Física Experimental como Teórica, realizando numerosas contribuciones en electricidad, conductividad térmica, termodinámica e interacción de la luz con la materia. Pero la mayoría de sus contribuciones más reconocidas fueron realizadas en colaboración con Robert Bunsen (1811-1899) en el entonces puramente empírico campo de la espectroscopía. Un prematuro deterioro de su salud lo obligó a retirarse en 1886. Falleció en Berlín el 17 de Octubre de 1887.



Una cavidad en el interior de la materia con radiación en equilibrio termodinámico con las paredes a temperatura T . Los sectores 1 y 2 pueden tener distinta composición y topografía

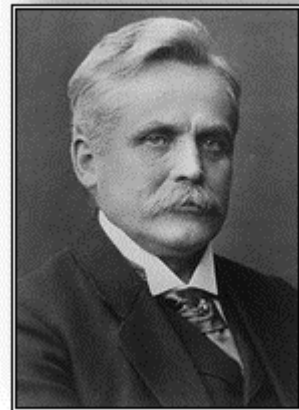
Aparentemente, el tema del trabajo que Kirchhoff presentó en 1859 no tenía ningún interés práctico. Se trataba de estudiar de que color es un cuerpo muy caliente. Sin embargo, ese tema era puramente académico sólo en apariencia ya que podía conducir a una manera más eficiente de producir luz visible a temperaturas más bajas, un descubrimiento que sería muy bien recibido por los empresas o entes del gobierno que debían iluminar las ciudades de noche. ¿Cuál era la idea de estas investigaciones?. Cuando se calienta un objeto comienza a emitir radiación. Si se lo calienta mucho, esa radiación comienza a ser apreciable en el rango visible, y el cuerpo se pone incandescente. Con el objeto de sistematizar esta serie de investigaciones, Kirchhoff utilizó una cavidad, es decir una especie de burbuja dentro de un material, toda a la misma temperatura, y con la radiación atrapada adentro. Así, el descubrió que la densidad de energía en su interior es independiente de la composición o topografía de la cavidad, y sólo depende de la temperatura y la frecuencia de la radiación. Esto es lo que hoy llamamos ley de Kirchhoff. En un trabajo posterior⁴ publicado en *Annalen der Physik* (1860), Kirchhoff introdujo el concepto de un cuerpo perfectamente negro o simplemente “cuerpo negro”, que

⁴ Gustav Kirchhoff: "Über das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht", Ann. d. Phys. (Poggendorff) 109, 275-301 (1860); reimpresso en *Gesammelte Abhandlungen von G. Kirchhoff*, pp. 571-598 (J. A. Barth, Leipzig, 1882). Traducción al inglés: "On the relation between the radiating and absorbing powers of different bodies for light and heat", Phil. Mag. (4) 20, 1-20 (1860).

absorbe toda la radiación que cae sobre él. El color de un cuerpo está dado por la luz que refleja. Si absorbe toda la luz, el cuerpo se ve negro. En 1895, Wilhelm (Willy) Wien y Otto Lummer⁵ representarían esta idea prácticamente por medio de una cavidad con un pequeño agujero hacia el exterior. La idea era que cualquier radiación que cayera desde afuera sobre el (pequeño) agujero tendría una probabilidad insignificante de salir nuevamente debido a las muchas reflexiones que sufriría dentro de la gran superficie de la cavidad.

Posteriormente se desarrollaron investigaciones teóricas y experimentales tendientes a encontrar la ecuación para la densidad de energía en un cuerpo negro, es decir su dependencia con la frecuencia de la radiación y la temperatura de la cavidad. Entre otros podemos mencionar dos trabajos de 1896, uno experimental de Friedrich Paschen⁶ (1865 - 1947), y otro teórico de Wilhelm Wien⁷. En este último trabajo, utilizando argumentos teóricos previos de Eugen Lommel (1837 - 1899), Vladimir Alexandrovich Michelson (1860 - 1927) y Ludwig Boltzmann, se desarrollaba una ecuación que ajustaba esos datos empíricos.

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien fué, junto con Kirchhoff, una de las figuras centrales en las investigaciones referidas al tema de la radiación de cuerpo negro. Nació en 1864, único hijo de un agricultor del este de Prusia. Estudió primero en Göttingen y luego en Berlín bajo la dirección de Helmholtz. Wien recibió el premio Nobel en 1911 por sus trabajos sobre la radiación del cuerpo negro. Persona de una gran cultura, con amplios intereses en humanidades, tecnología y política, Wien representó como científico el ideal de su época, con todas sus virtudes y defectos, y con una reconocida carga de chauvinismo nacionalista, característica de la Europa de principios de siglo.



⁵ W. Wien and O. Lummer: "*Methoden zur Prüfung des Strahlungsgesetzes absolut schwarzer Körper*", Ann. d. Phys. (Wiedemann) 56, 451-456 (1895).

⁶ F. Paschen: "*Über die Gesetzmässigkeiten in den Spektren fester Körper*", Ann. d. Phys. (Wiedemann) 58, 455-492 (1896).

⁷ W. Wien: "*Über die Energieverteilung im Emissionsspektrum eines schwarzen Körpers*", Ann. d. Phys. (Wiedemann) 58, 662-669 (1896).

La catástrofe ultravioleta

Todo parecía apuntar hacia una resolución normal del problema de la Radiación del Cuerpo Negro. De hecho, en dos contribuciones⁸ ante la Academia de Prusia en 1899 Friedrich Paschen, presentó una serie de resultados experimentales que mostraban un acuerdo perfecto con la teoría de Wien. Sin embargo, casi simultáneamente Otto Richard Lummer (1860 - 1925) hizo dos presentaciones⁹ a la Sociedad Física Alemana en Berlín mostrando nuevos resultados obtenidos en colaboración con Ernst Pringsheim (1859 - 1917) para temperaturas en la gama de los 500 a los 1100 C que no concordaban con la teoría de Wien. En el marco teórico, a principios de año, John William Strutt, tercer Barón Rayleigh (1842 - 1919) publicó una pequeña nota en la *Philosophical Magazine*¹⁰ argumentando que la ley de Wien era incompatible con la ley de equipartición de energía. La idea no estaba perfectamente clara, hasta el punto que tanto Rayleigh¹¹ como James Hopwood Jeans¹² (1877 - 1946) tardarían otros cinco años en lograr una reformulación convincente. En esencia, mientras Wien había llegado a su ley con argumentos completamente ad-hoc, Rayleigh hacía un planteo más correcto, pero llegaba a una ley distinta. Además, con un ojo entrenado se advertía fácilmente que esta nueva ley era simplemente absurda. Por ejemplo, un pedazo de acero debería emitir una cantidad muy grande de luz visible aun a temperatura ambiente. Y la radiación emitida seguiría creciendo y creciendo sin límite más allá del rango visible. Esta dificultad se terminaría conociendo como *catástrofe ultravioleta*. Y así llegamos al año 1900, con un pequeño argumento en un problema muy viejo y que había despertado muy poco interés en la comunidad científica. Nadie podía imaginar que a la larga se transformaría en una de las semillas de una revolución científica. La ley de Wien daba una buena descripción de los datos experimentales existentes, pero estaban apareciendo nuevos resultados que parecían

⁸ F. Paschen: "*Über die Verteilung der Energie im Spektrum des schwarzen Körpers bei niederen Temperaturen (I)*" y "... *bei höheren Temperaturen*", Sitz. ber. Preuss. Akad. Wiss. (Berlin), pp. 405-420 y 959-976 (1899). Comunicados por M. Planck el 27 de Abril y el 7 de Diciembre de 1899.

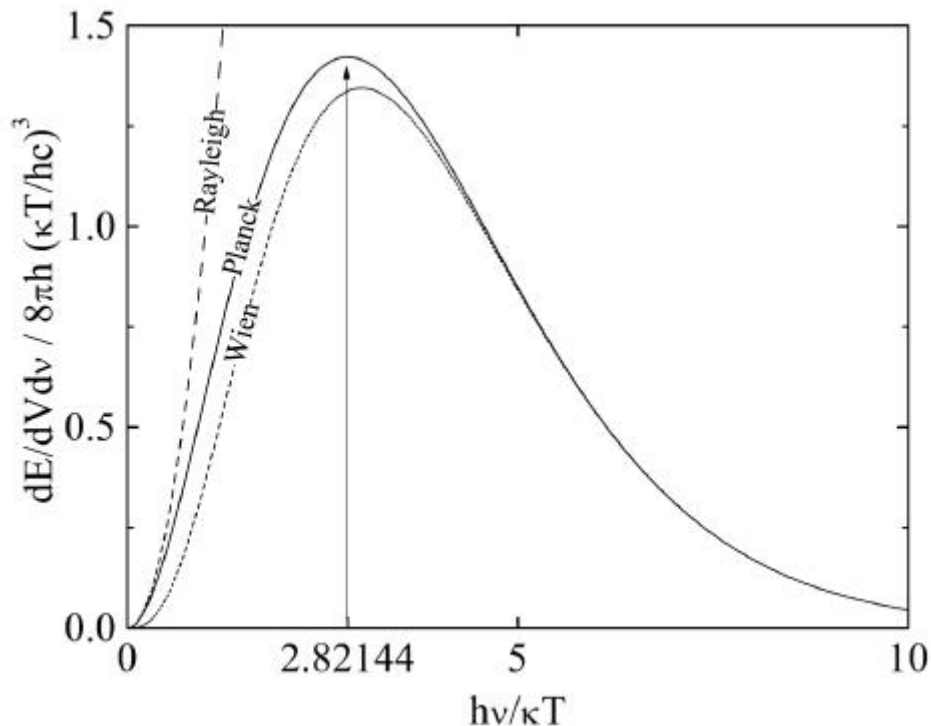
⁹ O. Lummer y E. Pringsheim: "*Die Verteilung der Energie im Spectrum des schwarzen Körpers*", Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. (2) **1**, 23-41 y 215-235 (1899). Presentados por O. Lummer en las reuniones del 3 de Febrero y del 3 de Noviembre de 1899.

¹⁰ Lord Rayleigh: "*Remarks upon the law of complete radiation*", Phil. Mag. (5) **49**, 539-540 (1900).

¹¹ Lord Rayleigh: "*The dynamical theory of gases and radiation*", Nature **72**, 54-55 (1905).

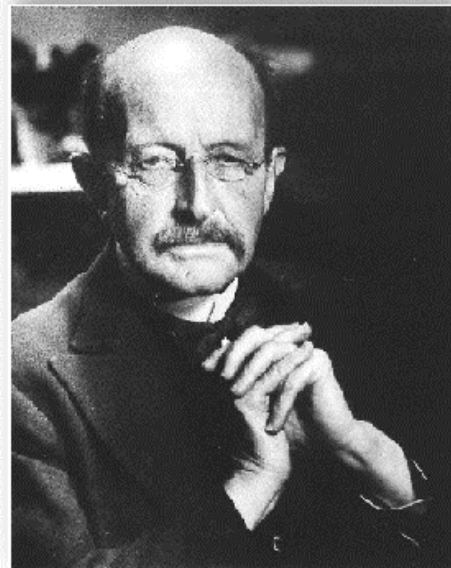
¹² J. Jeans: "*The dynamical theory of gases and radiation*", Nature **72**, 101-102; y "*On the partition of energy between matter and aether*", Phil. Mag. (6) **10**, 91-98 (1905).

no ajustarse a esa teoría. Por otro lado, Rayleigh había mostrado que un planteo correcto parecía conducir a una ley distinta, pero absurda.



Max Planck

Y así llegamos al Domingo 7 Octubre 1900. Un físico experimental de la Universidad de Berlín, Heinrich Leopold Rubens (1865-1922), y su esposa estaban visitando a un colega teórico, Max Planck¹³ (1858-1947). Durante la reunión, Rubens le mencionó que para las frecuencias más pequeñas que él podía lograr, la ley recientemente propuesta por el Señor Rayleigh parecía ser válida. Para Planck, un firme creyente en la ley de Wien, sobre la que había trabajado durante seis años, esta era una noticia desconcertante y desalentadora.



¹³ Max Karl Ernst Ludwig Planck nació en Kiel, Alemania, el 23 de Abril de 1858. Estudió Física y Matemáticas en Munich y Berlín. Perdió a su hijo mayor durante la Primera Guerra Mundial, y su otro hijo fue ejecutado al ser declarado cómplice en un intento para asesinar a Hitler en 1945. Max Planck falleció en Göttingen en 1947.

Después que Rubens y su esposa se fueron, Planck se puso a trabajar y usando una fórmula ad-hoc para la “entropía”, encontró una nueva ecuación que parecía interpolar entre las de Rayleigh a bajas frecuencias y la de Wien a altas frecuencias, tal como se muestra en la figura anterior. El estudiante de Planck, Gerhard Hettner, recordaría años después que esa misma tarde Planck le envió a Rubens una postal con la nueva fórmula. Dos días después Rubens fue a verlo a Planck con la noticia de que su ecuación ajustaba los datos experimentales perfectamente.

Planck presentó estos resultados el 14 de Diciembre de 1900¹⁴ en una reunión de la Sociedad Física Alemana en Berlín¹⁵. Los argumentos eran convincentes, pero vagos y confusos. Wien¹⁶ presentó tres objeciones a la teoría de Planck:

1. En primer lugar Wien argumentaba en contra de una hipótesis de Planck, denominada de radiación natural, y su relación con el concepto de irreversibilidad. Pero no había nada de novedoso en esto. Sólo se trataba, aunque en un nuevo contexto, de la vieja discusión sobre el concepto de caos molecular de Boltzmann.
2. En el desarrollo de su argumento, Planck utilizaba un concepto teórico, que denominaba *resonador*, sin relación directa con el material de las paredes de la cavidad o la radiación electromagnética contenida en ella. Wien objetaba que si bien se suponía que todos los “resonadores” del modelo de Planck eran independientes entre sí, aparentemente no era posible reducir la deducción al caso de un solo resonador. Y esto estaba en contra de las técnicas estadísticas usuales.
3. Por último, afirmaba una idea de Rayleigh, según la cual debía haber una diferencia esencial entre la radiación de cuerpo negro a bajas frecuencias, donde era bien descrita por la ley de Rayleigh, y a altas frecuencias donde, la ley de Wien era válida. En otro términos, si la frecuencia era baja, es decir si la longitud

¹⁴ La Física Cuántica tienen su historia, pero como todo movimiento revolucionario, que por definición significa un corte con el pasado, esa historia tiene una fecha precisa de inicio, en este caso el 14 de Diciembre de 1900. Muchos libros de texto señalan que ese es precisamente el “día de nacimiento de la Física Cuántica”.

¹⁵ M. Planck: “Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum”, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. (2) 2, 237-245 (1900).

¹⁶ W. Wien: “Zur Theorie der Strahlung schwarzer Körper. Kritisches”, Ann. d. Phys. (Drude) 3, 530-539

de onda era larga, se podía considerar que la materia era continua. En caso contrario, entraría en juego la estructura atómica de la materia. La teoría de Planck, que se basaba en una hipótesis molecular, sería válida en este último caso, pero no en el primero.

Para Planck, las dos primeras objeciones eran muy razonables, y su teoría debía mejorarse para tenerlas en cuenta. De hecho durante los siguientes años Planck iba a trabajar arduamente para superarlas, y en 1906 presentaría una formulación completa de su teoría en sus “Cursos sobre la Teoría de la Radiación de Calor” que, a su parecer, permitía evitar esos inconvenientes. Pero la última objeción de Wien iba muy en contra de las ideas de Planck, para quien la radiación de cuerpo negro debía poder explicarse con una única teoría. Por el contrario, él imaginaba que uno debía buscar relaciones y conexiones entre distintos fenómenos, más que separarlos. Y si las nuevas mediciones confirmaban la ley de Rayleigh, entonces debía haber una explicación común para los resultados de altas y bajas frecuencias, que justamente era provista por su ecuación.

Tal como dijimos más arriba, el problema era muy marginal, y pocos físicos le prestaban atención. Entre los pocos físicos que se interesaban en el tema, Rayleigh apoyaba la explicación de Wien, pero otros, y muy especialmente Max Planck, no la compartían. Cinco años después, mientras que Planck escribía sus “Cursos sobre la Teoría de la Radiación de Calor”, Wien y Rayleigh aún sostenían la objeción anterior. Ese mismo año James Jeans¹¹ desarrolló la teoría de Rayleigh cuidadosamente, llegando a la ecuación que aquel había deducido, que hoy se llama de Rayleigh-Jeans. Esto no era muy novedoso, pero sí la discusión que acompañaba esta derivación. Él decía, en línea con el pensamiento de Wien, que en una cavidad los modos de baja frecuencia alcanzan el equilibrio con el medio rápidamente, y se les puede aplicar la ley de equipartición, dando lugar a la teoría de Rayleigh, pero no a los modos de alta frecuencia. Esta era, en realidad, una idea desarrollada por Boltzmann en 1895.

(1900).

El cuanto de energía

Una cosa es imaginar una ecuación y otra muy distinta explicarla. Al recibir el premio Nobel en 1918, Planck definiría su intento de explicar su ecuación como una “acto de desesperación”. En 1931, el mismo diría que¹⁷ “por naturaleza siempre fui apacible y opuesto a cualquier aventura dudosa. Sin embargo, [...] debía encontrar una interpretación teórica de mi ecuación ad-hoc a cualquier precio, por más que alto que este pudiese ser”. Y ciertamente el precio fue muy alto. Para alcanzar una justificación de su ecuación, Planck se puso a analizar la conexión entre la entropía y la probabilidad, es decir entre un concepto termodinámico y otro estadístico. Años más tarde diría: “Después algunas semanas del trabajo más extenuante de mi vida, la luz se hizo en la oscuridad, y una nueva e inimaginada perspectiva se abrió ante mí”. Estudió en forma detallada el compendio de Boltzmann de 1877. Debe destacarse que este fue un paso notable para alguien que “no sólo era indiferente hacia la teoría atómica de Boltzmann, sino que se oponía a ella”. Pero leyendo el tratado de Boltzmann, encontró una expresión que comparó con la entropía de sus cálculos, asimilando la cavidad a un sistema de –lo que él llamó– resonadores que sólo podían absorber y emitir cantidades discretas de energía dadas por $h\nu$, donde ν es la frecuencia y h es lo que hoy llamamos *constante de Planck* o *constante de acción*. Planck señaló este punto claramente, al decir que “la energía está compuesta por un número definido de partes iguales” y esto “constituye la parte esencial de todo el cálculo”. Para muchos, Planck incluido, esta suposición no parecía ser más que un truco matemático *alla* Boltzmann para enumerar un continuo y así poder dar una definición estadística de la entropía. De hecho, ni Planck ni ninguno de sus contemporáneos consideró que esta idea fuese algo muy especial. En su opinión y en la de sus contemporáneos sólo había necesitado esta *cuantización* para dar una interpretación estadística adecuada a la entropía de la radiación. Tal como uno de sus estudiantes, de nombre Fritz Reiche, recordaría más tarde, sólo se tenía la impresión de que si uno quiere contar algo, y esa es la idea básica en todo razonamiento estadístico, es necesario subdividirlo en varias partes, y eso era justo lo que Planck había hecho. Se tardarían cinco años en advertir que esta suposición no era tan inocua como parecía. De hecho, Paul Ehrenfest, un antiguo discípulo de Boltzmann,

¹⁷ M. Planck: “Carta a Robert Williams Wood”, 7 de Octubre de 1931.

afirmó que la teoría de Planck descansaba en dos hipótesis: Una era la distribución de energía con igual probabilidad entre todos los resonadores; y la otra era la existencia de un elemento mínimo de energía. La primera provenía de la teoría de Boltzmann, pero la segunda necesitaba una mejor fundamentación. En un segundo trabajo publicado en 1906, Ehrenfest continuó con su análisis, planteando el mismo problema en otros términos, al decir que aplicando las teorías electromagnética y termodinámica uno cae irremediabilmente en la ecuación de Rayleigh, mientras que el modelo de Planck requiere una hipótesis adicional; esta es que en el espacio de las fases la órbita de cada resonador no es arbitraria, sino que sólo pueden ocupar ciertas elipses definidas. Para Planck no había ningún problema con esa hipótesis adicional. Lo importante ahora era dar un significado preciso a esa constante h . Según diría, “uno debe asignar a h un significado dentro del Electromagnetismo, pero de que tipo permanece aún como una pregunta abierta”.

Albert Einstein

En el *annus mirabilis* de 1905, Albert Einstein (1879 -1955), en ese tiempo un joven empleado de la Oficina Suiza de Patentes en Berna, envió a publicar seis trabajos al *Annalen der Physik*. Tres de ellos estaban relacionados con el movimiento Browniano, esto es el movimiento irregular de partículas suspendidas en un fluido. Otros dos trataban sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (*alias* ¡Teoría de la Relatividad Especial!). El sexto, estaba referido a la naturaleza de la radiación¹⁸. Este último artículo en particular, firmado en Berna el 17 de Marzo, llevaba el título: “*Sobre un punto de vista heurístico sobre la creación y conversión de la Luz*”. En él presentaba la siguiente hipótesis:



“Cuando un rayo de luz se propaga a partir de un punto, la energía no se distribuye continuamente en un volumen creciente, sino que

consiste en un cierto número de cuantos de energía, localizados espacialmente, que se mueven sin dividirse y que pueden ser absorbidos o emitidos como un todo”.

En su momento, Einstein no advirtió que sus conclusiones eran similares a las de Planck: De hecho, donde Planck había escrito “ $E = n h \nu$ ”, Einstein escribió “ $n = N_0 E / R \beta \nu$ ”, donde N_0 es el número de Avogadro, R es la constante universal de los gases, y β es la misma constante que aparecía en la ecuación de Wien. Sólo se trataba de una sustitución de constantes: $h = R \beta / N_0$, pero Einstein no lo advirtió en ese momento. Más tarde diría que le parecía que “la teoría de Planck constituía en varios aspectos la contracara de su propio trabajo” y creía que Planck había usado una hipótesis extra en su deducción, pues en caso contrario hubiese llegado a la ecuación de Rayleigh. Eso era cierto, y justamente se trataba de la hipótesis de cuantización, pero ni Planck ni Einstein lo entendían así todavía. De hecho, parecían teorías opuestas. Planck había llegado a su resultado sin apartarse de la teoría de Maxwell, mientras que Einstein, más en sintonía con Wien y Rayleigh, había armado una teoría que mostraba que a altas frecuencias la radiación tenía estructura.

En Marzo de 1906, Einstein envió un nuevo artículo a *Annalen der Physik*¹⁹, donde –ahora sí- advertía los dos puntos esenciales de la derivación de Planck, en consonancia con los argumentos establecidos independientemente por Ehrenfest. Pero iba un paso más allá, al afirmar que

“Si la energía de un resonador sólo puede cambiar en saltos, entonces la teoría electromagnética usual no puede usarse para el cálculo de su energía media, ya que ella no admite ningún valor distintivo para la energía del resonador”.

¡Qué frase!... Einstein postulaba que su teoría de los cuantos de luz no calzaba en la teoría de Maxwell. En sus propias palabras, esta era una hipótesis revolucionaria, ya

¹⁸ A. Einstein, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", Ann. d. Phys (Drude) } 17, 132-148 (1905).

¹⁹ A. Einstein, "Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme", Ann. d. Phys. (Drude) 22, 180-190 (1906).

que contradecía los fundamentos del Electromagnetismo. La pregunta ahora era si la ley de Planck necesitaba o no para su deducción de la hipótesis del cuanto de luz de Einstein. Y esto no era poca cosa, pues de ser necesaria, los resultados sobre radiación de cuerpo negro iban en contra de la teoría electromagnética de Maxwell. Einstein era consciente de este hecho, y de su propio papel en esta revolución en ciernes. Pero en ese momento, Einstein –un oscuro empleado en la oficina de patentes de Berna- era prácticamente desconocido en el mundo académico. Durante varios años, salvo Planck, nadie le prestó atención a su revolucionaria idea. Tanto es así que el 6 de Junio de 1908, en una carta dirigida a Wien, la más importante autoridad en la Teoría Electromagnética, Hendrik Antoon Lorentz llegaría a la misma conclusión de Einstein, en cuanto a que la ecuación de Planck contradecía el Electromagnetismo, pero de manera independiente. También Johannes Stark, en 1907, publicó un trabajo titulado “*Cuanto elemental de energía, un modelo de la electricidad positiva y negativa*”, donde redescubría algunos aspectos ya investigados por Einstein dos años antes. Pero Einstein ya empezaba a ser conocido por su teoría especial de la relatividad, y en un trabajo subsiguiente, Stark aclararía esa prioridad.

La primera conferencia Solvay

En 1910 Walther Nernst comenzó a discutir con el industrial belga Ernest Solvay sobre la realización de una conferencia internacional dedicada al estudio de las nuevas ideas cuánticas. Pero la respuesta de Planck a un primer memorandum de Nernst no fue muy alentadora. Según él, todavía el tema no tenía mucha gente interesada, y sería más útil si se esperase un par de años. Pero Nernst continuó adelante con su propuesta, y la conferencia comenzó en Bruselas a fines de Octubre de 1911 con la participación de Nernst, Planck, Rubens, Dommerfeld, Warburg y Wien de Alemania, Jeans y Rutherford de Inglaterra, Brillouin, Curie, Langevin, Perrin y Poincaré de Francia, Einstein y Hasenöhrhl de Austria, Kammerlingh Onnes y Lorentz de Holanda y Knudsen de Dinamarca.

Las diferencias de opinión se mostraron claramente en la conferencia. Por ejemplo, en su presentación, Lorentz destacó que las teorías clásicas no podrían

ofrecer una descripción de los datos empíricos, pero Jeans señaló lo contrario. Planck presentó un nuevo modelo cuántico que –en su opinión– se mantenía dentro de la teoría electromagnética de Maxwell. Este modelo fue muy bien recibido por todos los presentes, con una notable excepción. Einstein comentó abiertamente que Planck no había utilizado la estadística correctamente, ya que de lo contrario la fórmula de Planck conduce sin remedio a la cuantización de la luz. Sommerfeld presentó una idea innovadora, donde la cantidad cuantizada no era la energía o la luz, sino el producto de la energía emitida o absorbida por la materia y el tiempo que demora el proceso. Es decir, precisamente, la acción. Y aseguró que a diferencia de los modelos de Planck y Einstein, el suyo era consistente con la electrodinámica.

La conclusión de la conferencia no fue la resolución de la disputa. Pero se advirtió la necesidad de analizar con cuidado si los nuevos efectos cuánticos, que nadie ponía en duda, encajaban o no dentro de las teorías conocidas. Como le escribiría Einstein a Besso en Diciembre de 1911: “En Bruselas la gente deploró el fracaso de la teoría sin encontrar un remedio. La conferencia pareció una lamentación ante las ruinas de Jerusalén. No se logró nada positivo. Mis consideraciones fueron recibidas con gran escepticismo, pero sin críticas serias”.

Planck vs. Einstein

En 1908, Stark había indicado que la hipótesis del cuanto de luz de Einstein y la ley elemental de Planck debían considerarse como sinónimos, pero más que adherir a las ideas de Einstein, en su opinión la cuantización no estaba en el éter, sino en los resonadores. Planck estaba de acuerdo con esta opinión. En una carta a Lorentz de Octubre de 1908 le escribía: “Aún no veo ninguna razón para abandonar la suposición de una absoluta continuidad en el éter libre y de todos los procesos que ocurren en él. Por lo tanto, el cuanto de acción es una propiedad del resonador”. Vemos que Einstein y Planck aceptaban que en los procesos que ocurrían en un cuerpo negro la energía estaba cuantizada. Pero mientras que para uno esa cuantización estaba en el éter, para el otro estaba en el resonador. Vemos hasta que punto es incorrecto atribuir la idea del cuanto de luz a Planck, ya que no sólo no la imaginó sino que llegado su momento se opuso tenazmente a ella.

Tanto Einstein como Planck, y otros muchos, especialmente Stark y Sommerfeld, se embarcaron en el diseño de una teoría que ya fuese en base a la cuantización del éter o de los resonadores, condujese a la fórmula de la radiación. En estos intentos, Einstein corría con desventaja, ya que la hipótesis de los cuantos de luz tenía la gran falla de no poder explicar los fenómenos de interferencia y difracción, que requerían necesariamente de un tratamiento ondulatorio. El 21 de Setiembre de 1909 Einstein dio una charla en la 81ª reunión de Científicos Alemanes en Salzburgo. Su título era *“Sobre el Desarrollo de nuestros conceptos concernientes a la naturaleza y constitución de la radiación”*. En la audiencia se encontraban Born, Epstein, Franck, Hahn, Hopf, von Laue, Lisa Meitner, Mie, Planck, Rubens, Sommerfeld, Stark y Voigt. Allí, Einstein expresó claramente que en su opinión no era ya posible formular una teoría de la radiación que describiera tanto su estructura ondulatoria y su estructura cuántica a partir de la primera. Einstein no disponía de una teoría unificadora, pero sus ideas parecían señalar hacia una inversión de términos, con una teoría cuántica que al mismo tiempo describiera la naturaleza ondulatoria de la radiación. Einstein no tuvo mucho éxito en convencer a la audiencia. Y para colmo el moderador de su charla fue el mismo Planck. Epstein recordaría más tarde que “Planck inmediatamente dijo que lo expuesto por Einstein era muy interesante pero que no concordaba con él. Y la única persona que secundó a Einstein fue Stark”. Planck abrió la sección de discusión con una extensa exposición acerca de la necesidad o no del concepto de cuanto de luz. Claramente la postura de Einstein no tenía en cuenta que la cuantización podía estar en los detalles de la interacción entre la radiación y la materia, mecanismo sobre el cual no se sabía nada. Uno debería primero estudiar ese fenómeno, dejando por ahora los procesos que se desarrollan en el vacío a las ecuaciones de Maxwell.

Después de esta charla, cada uno continuó explorando su propio camino. Por la correspondencia que mantenía con Jakob Laub, sabemos que Einstein comenzó a trabajar en una generalización no lineal de la ecuación de ondas en el vacío. Creía que la clave estaba en que la constante de Planck tenía las mismas unidades que e^2/c , y que la naturaleza cuantizada de la carga eléctrica conduciría a la cuantización de la radiación. El 4 de Noviembre de 1910 le escribió a Laub que “tenía grandes

esperanzas en resolver el problema cuántico, y sin usar el cuanto de luz. Estoy muy ansioso por ver como trabaja esta idea, Pero si lo logro, tendremos que abandonar el principio de conservación de energía”. Pero pocos días después le volvió a escribir admitiendo su fracaso: “Nuevamente no he tenido éxito en resolver el problema de la radiación. En ello el diablo me ha jugado una mala pasada”. Por su parte, Planck expresó su punto de vista en un artículo enviado a publicar en *Annalen der Physik* en Enero de 1910. Según su opinión, había dos opciones extremas. Una, tomada por Jeans, era usar la mecánica y la electrodinámica para derivar la ecuación de la radiación. Pero el resultado no concordaba con la experiencia. La otra era modificar las ecuaciones de la mecánica y la electrodinámica para incluir el cuanto de acción h . Esta actitud extrema era desarrollada en Alemania por Einstein y Stark. Pero esto no podía ser, ya que, "¿cómo imagina uno un campo electromagnético compuesto de infinitos cuantos de radiación?". Habría que construir un electromagnetismo completamente nuevo, lo cual sería un sacrificio muy grande. Para Planck, el secreto estaba a medio camino, en la forma que la materia interactúa con el campo electromagnético. Planck continuó trabajando en esta línea, presentando sus primeros resultados en una reunión de la Sociedad Alemana de Física en Berlín el 3 de Febrero de 1911. En este trabajo Planck mostraba que su ecuación podía recuperarse en base a un modelo donde la absorción de la radiación por la materia fuese continua, y su emisión cuantizada. Y de yapa obtuvo un resultado adicional e inesperado. Aún a temperatura nula, un oscilador debería tener una energía de punto cero, igual a $h\nu/2$, que no podría emitir por ser menor que $h\nu$. Este “segundo modelo cuántico” de Planck, logró rápidamente un cierto apoyo de la comunidad científica. En esa época Einstein, ocupado con la teoría general de la relatividad, prácticamente se retiró de los aspectos fundamentales de la mecánica cuántica. Muchos entendieron que eso era una forma de aceptar el nuevo modelo de Planck. Al año siguiente, Einstein le respondió a Sommerfeld diciendo que no tenía nada nuevo que decir sobre los cuanta. Hacia 1914 Planck desarrolló un tercer modelo donde tanto la emisión como la absorción ocurría de una manera continua, y donde la cuantización ocurría sólo a nivel de los osciladores. Planck parecía estar ganando el debate. Por otra parte, las ideas de Einstein sólo eran apoyadas por algunos científicos jóvenes. Y aún cuando su reputación iba creciendo, su idea de los cuantos de luz necesitaba de figuras mejor establecidas para ser aceptada. Además, hay que tener en cuenta que una cosa es

aceptar la cuantización de la energía de un átomo, lo cual se impondría por obra de Bohr y Sommerfeld en lo teórico y Franck y Hertz en lo experimental a partir de 1914, y otra muy distinta la de cuantizar la luz, que sin duda era un concepto más extraño.

En base a lo expuesto, se puede afirmar que los puntos 1 y 3 indicados en la Introducción, representan claros errores en el relato que se encuentra en los textos de Física Cuántica. Planck NO postuló la existencia de los cuantos de luz. Para él la cuantización fue primero un truco matemático para introducir una estadística tipo Boltzmann en una variable continua, tal como era la energía del cuerpo negro. Posteriormente pasó a darle sentido físico, pero sólo en relación con los *resonadores*. Este era un proceder muy razonable, ya que al hacerlo mantenía la validez de la teoría electromagnética de Maxwell, y trasladaba esa nueva hipótesis al mundo atómico, o al menos a su interacción con el campo de radiación, dos aspectos de la física del problema sobre los cuales no se conocía prácticamente nada. Tal como había dicho en la ya mencionada carta a Lorentz de Octubre de 1908, Planck no veía “ninguna razón para abandonar la suposición de una absoluta continuidad en el éter libre y de todos los procesos que ocurren en él”. Por lo tanto, en su opinión el cuanto de acción debía ser una propiedad del resonador. Notablemente, a fines de 1911, al volver a Praga después de la conferencia Solvay de Bruselas, Einstein le escribió a Heinrich Zangger en Zurich: “Pude convencer a Planck sobre mis ideas, algo a lo que se había resistido durante tantos años. Es una persona muy honesta que no se preocupa por si mismo”. Este sería un buen epílogo para la larga discusión entre Planck y Einstein, con el primero aceptando las ideas de su contrincante con casi una década de anticipación respecto del resto de sus contemporáneos. Pero no fue así. Planck se mantuvo convencido de la continuidad del campo electromagnético hasta el final. De hecho, pocos días después de la carta que acabamos de mencionar, Einstein le escribió una segunda carta a Zangger diciendo: “Planck es intratable en algunas de sus ideas preconcebidas que además, sin duda, están equivocadas...”

Al trasladar los hechos históricos a un relato sobre el nacimiento de la Cuántica se construyó un pasado en base a una especie de semi-ficción ó falsificación, donde Planck, padre fundador indiscutido de la nueva teoría, compartía con el joven

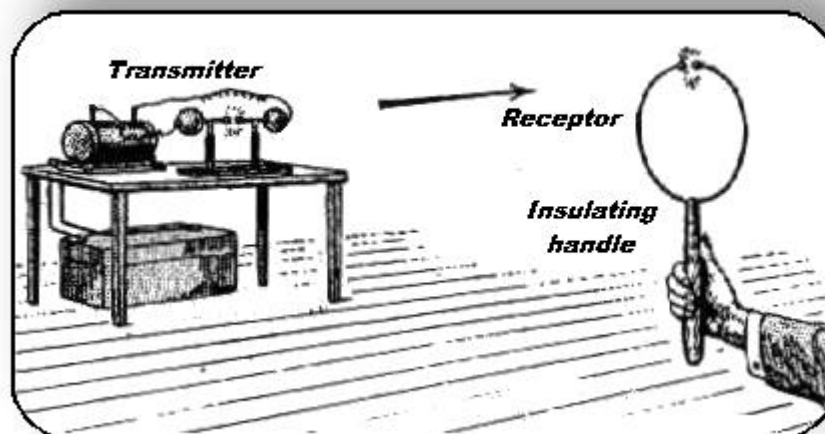
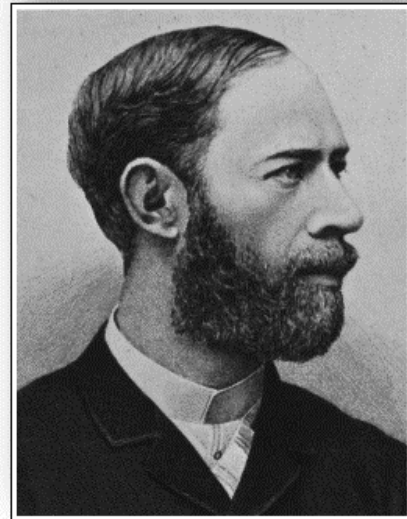
Einstein la defensa del concepto de cuanto de luz. Tal como hemos visto, lo que ocurrió es exactamente lo opuesto, ya que el mismo Planck fue el primero y más tenaz opositor de esa idea. Sin duda, el concepto del cuanto de luz es de la exclusiva paternidad de Albert Einstein. Por otra parte, a diferencia de la opinión vertida en los libros de texto, no aplicó las ideas de Planck sino que utilizó un desarrollo propio e independiente, hasta el punto que creía que su teoría era opuesto al de aquel. Posteriormente advirtió que había importantes puntos de contacto entre ambas teorías, pero aún así Planck y Einstein mantendrían posiciones muy distintas respecto al significado de esa primera teoría cuántica.

Por otra parte, en el artículo de 1905 donde Einstein postuló por primera vez el concepto de cuanto de luz, no lo aplicó exclusivamente al efecto fotoeléctrico tal como señala la historia usualmente presentada en los libros de texto, sino a varios procesos físicos distintos. De hecho, Einstein demostró la utilidad del nuevo concepto del cuanto de luz, aplicándolo a otros dos casos particulares: la fluorescencia y la ionización de gases por luz ultravioleta. La idea central del artículo era justificar la suposición de que "la radiación monocromática actúa, en un sentido termodinámico, como si consistiese de cuantos de radiación mutuamente independientes" a partir de su aplicación a tres fenómenos particulares. En primer lugar mostró que los datos empíricos disponibles sobre la ionización de moléculas por luz ultravioleta estaban de acuerdo con la suposición de que cada evento de emisión de electrones ocurría como resultado de la interacción con un único cuanto de radiación. En el segundo ejemplo, Einstein estudió el fenómeno de fluorescencia, descubierto por George Gabriel Stokes, donde la luz emitida por ciertas sustancias tiene menor frecuencia que la luz absorbida. Einstein ensayó una explicación de este fenómeno suponiendo que "tanto la luz original como la emitida consisten en cuantos de energía de magnitud $h\nu$ ". Esto significaba simplemente que "de acuerdo a la ley de conservación de energía, la energía del cuanto de luz emitido no puede ser mayor que la del cuanto de luz inicial". En esta frase, el término *cuanto de luz* aparece por primera vez en la literatura científica. La palabra *fotón* sería adoptada años más tarde para referirse a este paquete o partícula de luz. Recién el tercero y último ejemplo desarrollado por Einstein en su artículo tiene que ver con el efecto fotoeléctrico.

Tal como señala Eric Hobsbawm²⁰, "la diferencia entre historia y ficción reside en el hecho de que el historiador halla sus relatos que yacen ocultos en las crónicas, mientras que el escritor de ficción inventa los suyos". Sin embargo, veremos a continuación hasta qué punto la invención también desempeña un papel en la construcción de los relatos históricos.

¿Quién descubrió el efecto fotoeléctrico?

A pesar de que en su artículo de 1905 Einstein no le brinda más espacio y atención al efecto fotoeléctrico que a los otros dos fenómenos, su explicación de ese proceso es el tema que despertaría mayor interés. Pero, ¿cuáles eran los antecedentes inmediatos de esa línea de investigación?. Y, en particular, ¿quién había descubierto ese efecto?. De aceptar los relatos que aparecen en los libros de texto, su descubridor fue Heinrich Hertz (1857 - 1894). En 1887 Hertz observó que un circuito con una corriente eléctrica

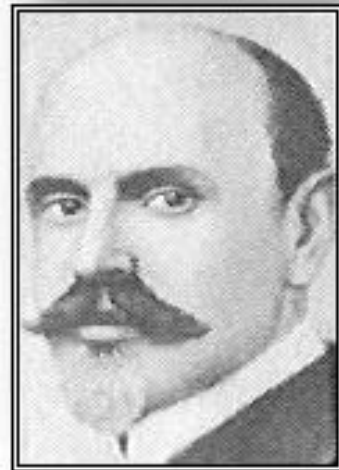


²⁰ Eric Hobsbawm and Terence Ranger: *The Invention of Tradition* (Cambridge University Press, Cambridge, 2nd edition, 1983).

variable emitía radiación²¹. Más aún, demostró que esta radiación tenía propiedades ondulatorias: reflexión, refracción, interferencia, polarización, y una velocidad que coincidía con la de la luz visible. El arreglo experimental utilizado por Hertz consistía básicamente en dos circuitos abiertos, actuando como transmisor y receptor, que podían sintonizarse para resonar en la misma frecuencia. Cuando se inducía una corriente en el transmisor de manera que una chispa saltara de un extremo al otro de la abertura del circuito, una segunda chispa se observaba en el circuito receptor.

En el transcurso de sus mediciones, Hertz observó que la descarga en el receptor se veía facilitada si sus electrodos se iluminaban con la luz proveniente de la chispa del transmisor. Más tarde observó el mismo efecto al utilizar la luz intensa de una lámpara de magnesio. Metódico como era, Hertz realizó un "análisis espectral" de la luz utilizada y mostró que la causa de este efecto se hallaba en la porción ultravioleta del espectro del magnesio. Hertz estaba a punto de descubrir el efecto fotoeléctrico, pero no prosiguió su estudio, volviendo a la cuestión principal de la emisión y recepción de la radiación electromagnética. Ese análisis fue retomado por Wilhelm Hallwachs (1859 - 1922) en 1888. Wilhelm Hallwachs nació en Darmstadt el 9 de Julio de 1859 y falleció en Dresden en 1922.

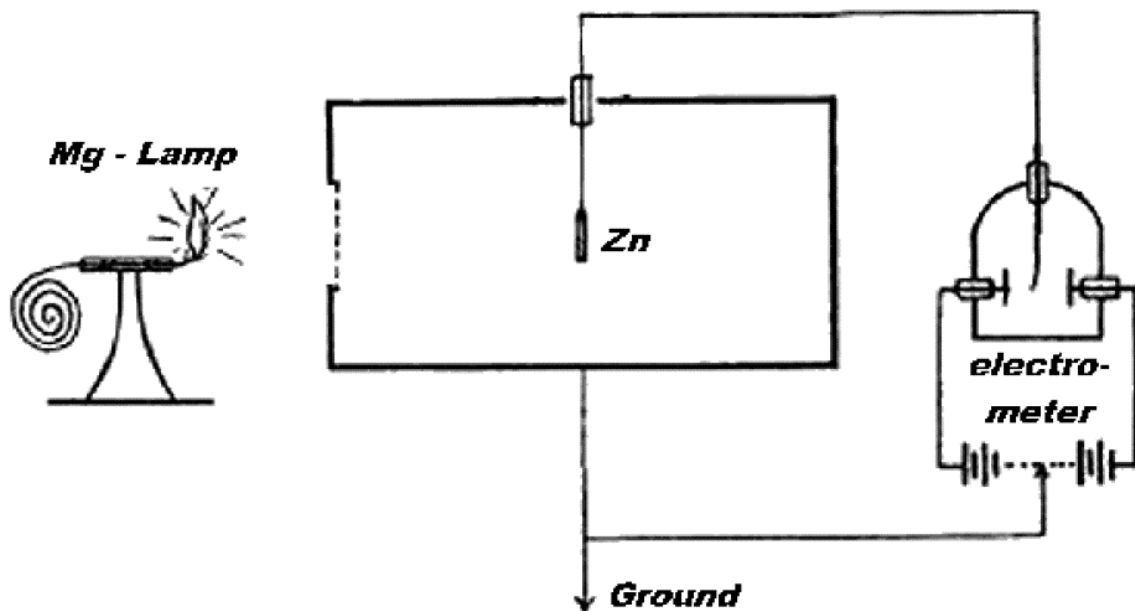
Desarrolló su carrera como Profesor en el departamento de Física de la Technische Hochschule, de Dresde. Básicamente, utilizando un aparato como el que se muestra en la figura²² de la siguiente página, Hallwachs observó que cuando una superficie metálica es iluminada con luz ultravioleta, esta adquiere una carga eléctrica positiva. Además advirtió que esto ocurría siempre que la frecuencia de la radiación fuera mayor que cierto valor umbral característico del metal.



²¹ H. Hertz: Ann. d. Phys. (Wiedemann) 31, 983-1000 (1887), "*Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der electromagnetischen Wirkungen*", Sitz. ber. Preuss. Akad. Wiss. (Berlin), 197-210 (1888), y en Ann. d. Phys. (Wiedemann) 34, 551-569 (1888).

²² W. L. F. Hallwachs, "*Über den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene Körper*", Ann. d. Phys. (Wiedmann) 33, 301-312 (1888).

En el centenario del descubrimiento de efecto fotoeléctrico hubo varias discusiones entre los físicos alemanes sobre si la paternidad del mismo debía atribuirse a Heinrich Hertz o a Wilhelm Hallwachs. ¿Quién había comenzado esa rama de investigación?, una pregunta que -sin embargo- el siempre modesto y amigable Hertz ya había respondido: "*¡Dieses ist erst Herrn Hallwachs gleungen!*". De todas maneras, si bien las observaciones realizadas por Hertz y Hallwachs pueden explicarse en términos del efecto fotoeléctrico, ningún investigador actual reconocería en dichos experimentos a lo que hoy entendemos como "efecto fotoeléctrico" propiamente dicho, esto es la emisión de electrones por un metal iluminado por luz ultravioleta con una relación específica entre la energía cinética de los electrones y la frecuencia de la luz incidente. Por ejemplo, recién en 1899 Joseph John Thomson (1856 - 1940) demostró que las observaciones de Hertz y Hallwachs se debían a la emisión de electrones²³. Debe tenerse en cuenta que estas cargas elementales habían sido descubiertas por el mismo Thomson unos pocos años antes, pero casi una década después de que Hertz y Hallwachs realizaran sus experimentos.



²³ J. J. Thomson, "On the masses of ions in gases at low temperatures", Phil. Mag. (5) 48, 547-567 (1899).

Aunque Hertz y Hallwachs dieron los primeros pasos en el estudio del efecto fotoeléctrico, el mayor mérito en ese descubrimiento se debe atribuir a otra persona. Esta persona fue Philipp Lenard, quien en 1902 publicó un muy completo trabajo donde discutía una larga serie de detalladas investigaciones referidas a ese nuevo efecto²⁴. No sólo observó la consabida emisión de electrones desde un metal iluminado con luz ultravioleta, sino que también pudo verificar que el número de electrones emitidos es proporcional a la energía de la luz incidente, aunque la velocidad electrónica varía inversamente con la longitud de onda de la luz. La realización de este tipo de experimentos fue facilitado por la utilización de un potencial de retardo entre la superficie del metal y el colector, lo que constituía en esencia un tipo de celda fotoeléctrica que anticipaba la "lámpara de tres electrodos". Que el flujo de los electrones emitidos aumentase linealmente con la intensidad de la luz, podía explicarse fácilmente, ya que -según las leyes del electromagnetismo- la energía depositada por unidad de tiempo sobre el metal debe ser proporcional a la intensidad de la radiación absorbida. Sin embargo, la presencia de una frecuencia umbral y -más generalmente- que la velocidad electrónica dependiese de la longitud de onda, eran dos hechos que se encontraban en abierto conflicto con los modelos existentes, y su explicación representaba un desafío mayor. Lenard ensayó una justificación de estos resultados suponiendo que la velocidad de los electrones emitidos "no se origina a partir de la energía lumínica, sino de los violentos movimientos que existen en el interior de los átomos antes de iluminarlos". Por lo tanto, en su opinión, la radiación incidente "sólo juega el papel de un mecanismo de disparo".

Lenard publicó este resultado a principios de 1902. Tres años después recibió el premio Nobel, pero no por sus trabajos sobre el efecto fotoeléctrico, como señala equivocadamente Lewis Pyenson²⁵, sino por sus investigaciones previas referidas a los rayos catódicos. Con toda justicia, a Lenard se le debería conceder si no todo, al menos algo de crédito en el descubrimiento del efecto fotoeléctrico, y sin duda la ley

²⁴ P. Lenard, "*Über die lichtelektrische Wirkung*", Ann. d. Phys (Drude) 8, 149-198 (1902).

²⁵ En su libro *Silver Horizon: A note on the Later Career of the Physicist-Diplomat Jakob Laub*, Jahrbuch für Geschichte von Stadt, Wirtschaft und Gesellschaft Latein-amerikan 25, 757-766 (1988), Lewis Pyenson señala que Lenard recibió el premio Nobel por sus trabajos en el efecto fotoeléctrico, cuando en realidad fue por sus trabajos con rayos catódicos. De hecho, el descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico ocurrió en el mismo año 1905 cuando se le otorgó el premio Nobel.

empírica del efecto fotoeléctrico debería denominarse "Ley de Lenard". Sin embargo, en la actualidad la conocemos como "Ley de Einstein". Esto se debe a que, tal como vimos, tres años después del descubrimiento de Lenard, Einstein revolucionó la interpretación del efecto fotoeléctrico al basarla en la nueva hipótesis cuántica. En el modelo de Einstein, cada cuanto de luz de frecuencia ν que choca contra una superficie metálica puede ser absorbido por un único electrón. Si la energía $h\nu$ ganada por el electrón es mayor que la energía umbral E_0 necesaria para escapar del metal, este sale del mismo con una energía $E = h\nu - E_0$, que es justamente la ley empírica descubierta por Lenard.

No sólo Lenard no recibió el crédito que merecía por su descubrimiento, sino que en los libros de texto de Física Cuántica, este se atribuye a Hertz, cuando ello es claramente imposible, ya que Hertz falleció varios años antes de que se descubriera el electrón. Más aún, el nombre de Lenard es omitido en casi todas las exégesis sobre nacimiento de la Física Cuántica. Esta omisión resulta aún más asombrosa si se tiene en cuenta que las contribuciones de Lenard a la Física Cuántica no se limitaron a sus trabajos sobre rayos catódicos y efecto fotoeléctrico. Por ejemplo, en 1903 Lenard demostró que al atravesar un gas, un electrón debe tener una cierta energía mínima antes de poder producir ionización, un resultado que anticipa en una década el experimento realizado por James Franck²⁶ (1883 - 1964) y Gustav Ludwig Hertz (1887-1975) en 1913 y que los llevaría al premio Nobel de Física en 1925. También en 1903 desarrolló un modelo atómico basado en lo que el llamó "dynamides", pequeños dipolos eléctricos muy separados dentro del átomo, y cuyo número era igual a la masa atómica. Este modelo primitivo de la estructura atómica,

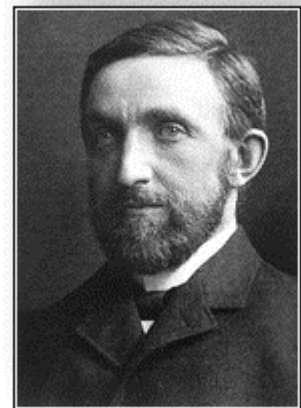
²⁶ James Franck nació en Hamburgo, Alemania, el 26 de Agosto de 1882. Estudió en la Universidad de Heidelberg antes de obtener su doctorado en la Universidad de Berlín en 1906. En el famoso experimento que realizó con Gustav Hertz, bombardeó átomos de Mercurio con electrones, midiendo los cambios de energía que ocurrían como resultado de las colisiones. Este experimento ayudó a mostrar que un átomo sólo puede absorber energía en cantidades discretas. Durante la primer Guerra Mundial sirvió en el ejército alemán, y al finalizar aceptó un puesto de profesor de Física Experimental en Göttingen. Un ferviente opositor de Adolf Hitler, Franck abandonó Alemania en 1933, emigrando a Estados Unidos. En 1943 se unió al Proyecto Manhattan en Los Alamos, donde trabajó con Robert Oppenheimer, Edward Teller, Enrico Fermi, Rudolf Peierls, Felix Bloch, David Bohm, Otto Frisch, James Chadwick, Emilio Segre, Eugene Wigner, Leo Szilard y Klaus Fuchs en el desarrollo de la Bomba Atómica. Inmediatamente después de la rendición de Alemania, y antes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki, junto con Leo Szilard redactó y circuló una petición en la comunidad científica destinada a frenar el uso militar de la energía nuclear. Después de la Segunda Guerra Mundial investigó en el área de la fotosíntesis. James Franck murió en Göttingen el 21 de Mayo de 1964.

contemporáneo del modelo de Thomson pero diez años anterior al modelo de Niels Bohr, contribuyó a la posterior teoría electrónica de Lorentz. En los últimos años de su carrera Lenard estudió la naturaleza y origen de las líneas del espectro, demostrando que las distintas series correspondían a modificaciones definidas de la estructura atómica.

¿Cómo y porqué se ha generado y propagado esa omisión tan obvia?. Tal como veremos a continuación, una posible explicación puede encontrarse en la muy conflictiva personalidad de Lenard, que contrastaba tan marcadamente con la afabilidad de su maestro Hertz, y en su relación con los jóvenes investigadores que sentarían las bases y eventualmente *escribirían* la historia de la Física Cuántica.

Philipp Lenard

Así como la historia de los orígenes de la Física Cuántica tiene sus héroes, también tiene sus grandes ausentes. Uno de ellos, y posiblemente el más notorio, es Philipp Eduard Anton von Lenard. Nació en Pozsony²⁷ (Pressburgo) en Hungría el 7 de Junio de 1862 y falleció el 20 de Mayo de 1947 en Messehausen. Su familia era originaria del Tirol, con una fuerte ideología nacionalista pan-germana. Estudió en Budapest, Viena, Berlín y Heidelberg con Bunsen, Helmholtz, Königsberger y Quincke. En 1886 se doctoró en Heidelberg. A partir de 1892 trabajó como *Privatdozent* y asistente de Hertz en la Universidad de Bonn. En 1894 fue nombrado profesor extraordinario de la Universidad de Breslau, en 1895 como profesor de Física en Aix-la-Chapelle y en 1896 como profesor ordinario de la Universidad de Kiel. Los primeros trabajos de Lenard se desarrollaron en el campo de la Mecánica. En 1894 publicó los *Principios de Mecánica* que Hertz había dejado inconclusos al momento de su fallecimiento. En 1888, mientras trabajaba en Heidelberg con Quincke, Lenard



²⁷ Hoy Bratislava, ubicada en Eslovaquia.

realizó su primer trabajo sobre los rayos catódicos. Luego de muchos experimentos, descubrió que una lámina de aluminio, sólo lo suficientemente gruesa como para mantener el vacío dentro del tubo de descarga, no detenía los rayos catódicos, y que por lo tanto, permitía estudiarlos fuera del tubo, y en particular utilizarlos para experimentos de fluorescencia. Como principal conclusión de estas series de experimentos, Lenard afirmó que los rayos catódicos eran una perturbación del éter, una posición defendida por su maestro Hertz. Sin embargo, en años posteriores debió abandonar esta postura ante la evidencia aportada por los trabajos de Jean Perrin en 1895 y Sir J. J. Thomson en 1897, que apuntaban hacia la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos. A pesar de este error, los trabajos de Lenard habían aportado una serie de resultados confiables y sistemáticos como para justificar que se le adjudicase el premio Nobel de Física en 1905. Todos sus colegas consideraban que este premio era bien merecido, ya que Lenard era sin duda un físico experimental genial. En 1909 Einstein le escribió a su amigo Jakob Laub desde Würzburg instándolo a aceptar una posición con Philipp Lenard en la Universidad de Heidelberg, sugiriéndole que *"tolerara todas sus manías, [ya que era] un gran maestro y un pensador original"*. Sin embargo, vistas en retrospectiva, sus concepciones teóricas resultaron mayoritariamente dudosas o fallidas.

Lenard recibió en vida muchos honores. Por ejemplo, doctorados honorarios de las Universidades de Christiania (hoy Oslo) en 1911, Dresde en 1922 y Pressburgo en 1942, la medalla Franklin en 1905, la medalla del águila del Reich alemán en 1933, fue elegido ciudadano de honor de Heidelberg en ese mismo año, y recibió el premio Nobel en 1905. Sin embargo, tanto en su correspondencia como en varios de sus discursos, se advierte su sentimiento de ser ignorado por sus colegas, y probablemente ese sea el motivo de las constantes peleas que tenía con otros físicos en distintos países. Por ejemplo, es interesante que en su largo discurso de aceptación del Premio Nobel, si bien Lenard menciona los rayos X en varias oportunidades, sólo citó a Röntgen una vez, y con el objeto de desmerecer su descubrimiento, que en su opinión representaba *"sólo un ejemplo de buena suerte [...], ya que este descubrimiento se iba a dar por necesidad en ese momento histórico"*. En una ocasión posterior llegó a decir que: *"Roentgen fue la partera de los rayos X, pero la madre fui yo"*. Sin embargo no eran estas las únicas *manías* a las que se refería

Einstein en su carta a Laub. Ya en esa época Lenard comenzaba a mostrar un aspecto más siniestro de su personalidad conflictiva.

Lenard nunca perdonaría a Einstein por una teoría que contradecía su propio modelo referido al efecto fotoeléctrico y que opacaba sus propios trabajos experimentales sobre el tema. Pero este rencor no se debía tanto al hecho de que se asociara el nombre de Einstein a una ley que el consideraba su propio y exclusivo descubrimiento, sino por que esta usurpación fuese realizada por un físico judío. En su relación con Einstein, Lenard unía el odio personal con una fuerte dosis de antisemitismo. Para colmo en 1921 Einstein obtuvo el premio Nobel “especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico”. En 1923, mientras daba un discurso en una convención de físicos alemanes en Munich, Lenard llegó a decir que: “La relatividad es un fraude judío [...], pues su padre es un judío”. Años más tarde, Lenard se convertiría en un convencido miembro del partido Nacional Socialista y un ferviente admirador de Adolf Hitler, manteniendo una adhesión sin reservas a sus ideas y postulados, en particular en lo concerniente al antisemitismo y la superioridad de la raza aria. El partido lo recompensaría nombrándolo *Jefe de la Física Aria*. Desde esa posición atacó lo que el llamaba "Física Judía", en la que incluía muy especialmente a la Teoría de la Relatividad. Entre las publicaciones de Lenard se destacan varios libros: *Ueber Aether und Materie* (segunda edición, 1911), *Quantitatives über Kathodenstrahlen* (1918) y *Ueber das Relativitätsprinzip* (1918). Pero además escribió dos libros *Grosse Naturforscher* (Grandes Naturalistas; 1929) y *Deutsche Physik* (Física Alemana; 1936 - 1937), donde intentó establecer una base racista para comprender los fenómenos naturales y hacer de la ciencia una parte integral de la filosofía nacional-socialista. Alfred Rosenberg²⁸, al entregar a Lenard un nuevo premio, elogió su lucha por una física de raíz "aria". Al terminar la segunda guerra mundial hubieron intentos de llevar a Lenard ante un tribunal de desnazificación, pero el rector de la Universidad de Heidelberg disuadió a las autoridades de tomar esa acción.

²⁸ Alfred Rosenberg fue uno de los principales ideólogos del partido Nacional-Socialista y responsable de las Relaciones Externas de Alemania durante el gobierno de Adolf Hitler. En 1946 fue condenado a muerte durante los juicios de Nuremberg.

Aunque la abierta simpatía de Lenard por Adolf Hitler y Erich Ludendorff se hizo pública con su temprana afiliación al partido Nacional - Socialista en 1924, sus tendencias nacionalistas y los fuertes prejuicios antisemitas ya comenzaban a ser evidentes durante la primera década del siglo XX. Un posible indicio de esto puede apreciarse a través de la bien documentada relación que mantuvo con su discípulo Jakob Laub²⁹. Este joven científico era nominalmente católico, pero mantenía una posición prominente en los círculos judíos de Heidelberg. Apenas ingresado al equipo de trabajo de Lenard en 1909, Laub fue puesto a medir... ¡la densidad del éter electromagnético!. Esto puede verse como una abierta provocación, ya que es difícil imaginar que Lenard no conociese las investigaciones que su dirigido había hecho con Einstein el año anterior. Durante tres meses en el verano de 1908, Laub había viajado a Berna para trabajar con Einstein, convirtiéndose en su primer colaborador. De esa estadía en Suiza resultaron tres artículos donde Einstein y Laub aparecen como coautores³⁰. Debía ser obvio para Lenard que para Laub el éter representaba una sustancia hipotética sin sentido físico. El hecho es que Laub puso poco esfuerzo en llevar adelante este proyecto incubado por Lenard y Vilhelm Bjerknes, y la relación entre Laub y Lenard fue volviéndose más y más difícil. Esta tensión se vio seriamente agravada cuando Laub publicó un extenso artículo sobre la Teoría de la Relatividad en el *Jahrbuch* de Stark. Este trabajo incluía toda la evidencia experimental existente en favor de la Teoría Especial de la Relatividad³¹. Tal como señala Lewis Pyenson³², aún en 1912, cuando la literatura sobre la Teoría de la Relatividad contaba con cientos de artículos, el matemático Georg Königsberger de la Universidad de Freiburg opinaba que el análisis de Laub era el mejor existente. Inclusive el premio Nobel Hendrik Lorentz utilizaba este estudio en sus clases. El hecho es que en Junio de 1910 Laub le escribió a Stark lamentándose por las serias dificultades que estaba teniendo en su relación con Lenard. Comenzaba a ser

²⁹ No se pretende afirmar que la disputa entre Lenard y Laub haya tenido su único origen en una posición antisemita del primero. Sólo se quiere señalar que ese pudo ser un ingrediente más de esa difícil relación

³⁰ A. Einstein und J. Laub: *Ueber die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper*, Ann. Phys. 23, 532-40 (1908); *Bemerkungen zu unserer Arbeit*, Ann. Phys. 28, 445-7 (1909); *Ueber die im elektromagnetischen Felde auf ruhende Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte*, Ann. Phys. 26, 541-50 (1908).

³¹ J. Laub: *Ueber die experimentellen Grundlagen des Relativitätsprinzips*, Jahrbuch Radioakt. Elektr. 7, 405-63 (1910).

³² Lewis Pyenson: *Silver Horizon: A note on the Later Career of the Physicist-Diplomat Jakob Laub*, en Jahrbuch für Geschichte von Stadt. Wirtschaft und Gesellschaft Latein-amerikan 25, 757-766 (1988).

evidente que Lenard bloquearía cualquier intento de Laub para convertirse en *Privatdozent*, arguyendo que no había alcanzado suficiencia en sus habilidades experimentales. A principios de 1912, al abrirse una posición de profesor asociado en Física Teórica en Heidelberg, Lenard se opuso enérgicamente a que esa posición fuera dada a su discípulo. Conocemos la posición de Lenard por una carta que Friedrich Pockels le escribió a Laub, quien por ese entonces se encontraba fuera de Alemania. En su carta Pockels comentaba que "*Lenard niega cualquier derecho de la física teórica a una existencia independiente, arguyendo que él mismo es suficientemente teórico, etc. Por ejemplo, se opone por principio a aceptar estudiantes teóricos como candidatos doctorales*".

Ya a mediados de 1910 era evidente que a Laub se le estaban cerrando las puertas para conseguir una posición estable en Heidelberg, e inclusive dentro del rígido esquema de la Ciencia Alemana. Habiendo caído en desgracia con un profesor del prestigio de Lenard, sus posibilidades dentro de Alemania se habían anulado casi por completo. El 25 de Noviembre de 1910 le escribió a Stark diciéndole que estaba buscando una posición en América. Pocas semanas después le escribió a Einstein contándole que su relación con Lenard se había roto. Einstein estaba furioso por la situación en que se encontraba su amigo, y le escribió a Laub confortándolo:

*"¡Lenard es un personaje realmente perverso!. ¡Todo bilis e intriga!. Sin embargo, tú estás en una posición considerablemente mejor que la de él. Puedes alejarte de él, mientras que él deberá habitar con su propio monstruo hasta morder el polvo"*³³.

Heinrich Hertz

La personalidad de Lenard establece un claro contraste con la de su maestro Heinrich Hertz. Hertz nació en Hamburgo en 1857, en el seno de una familia judía. Su famoso experimento tuvo una gran trascendencia, al demostrar no sólo que los campos eléctricos podían existir fuera de los elementos conductores sino que la luz misma

³³ Einstein le escribió a sus colegas Anton Lampa y Walther Nernst, en procura de una posición para Laub, e inclusive le buscó una posición en Chile. Finalmente, Laub aceptó un puesto en el Instituto de Física de La Plata, en Argentina.

era una perturbación electromagnética libre. Como dijo Oliverf Heaviside en 1891: "Tres años atrás, las ondas electromagnéticas no estaban en ningún lado, y poco después, están en todas partes". En reconocimiento por estos descubrimientos, la unidad de frecuencia (un ciclo por segundo) se llama hertz.

Así como Lenard era de una personalidad muy conflictiva, Hertz era afable y modesto. Sus alumnos y conocidos han dejado un gran número de anécdotas al respecto. Por ejemplo, mientras demostraba la generación de ondas electromagnéticas a sus alumnos del Karlsruhe Polytechnic de Berlín, estos le preguntaron que uso podía llegar a tener ese fenómeno sorprendente. Hertz les respondió: "No tiene ninguna aplicación que yo sepa. Sólo es un experimento que prueba que el Maestro Maxwell estaba en lo correcto". Años más tarde otro estudiante le preguntó: "Y ahora, ¿qué?". El modesto Hertz se encogió de hombros y le respondió: "Nada, supongo". Sin embargo, toda la comunidad científica estaba asombrada por ese descubrimiento, e inclusive a un joven adolescente de vacaciones en los Alpes, que había leído uno de los artículos de Hertz de 1888, se le había ocurrido utilizar el descubrimiento de Hertz de una manera inédita y sorprendente. Su nombre era Guglielmo Marconi.

Hertz falleció de leucemia en Bonn a la edad de 37 años, después de una corta convalecencia que dedicó a escribir sus famosos *"Principios de Mecánica"*. Era el año 1894, y toda la comunidad científica alabó no sólo sus logros, sino también su humanidad. Como dijo uno de sus muchos panegiristas:

"Hertz era un hombre noble, quien tuvo la singular fortuna de encontrar muchos admiradores, pero nadie que lo odiara o envidiara. Aquellos que lo conocieron personalmente quedaban sorprendidos por su modestia y encantados por su amabilidad. Era un verdadero amigo de sus amigos, un maestro respetado para sus alumnos que habían comenzado a reunirse alrededor de el en gran número [...], y un amante esposo y padre para su familia".

¿Hertz o Lenard?

Si comparamos estas dos personalidades tan disímiles, no es de extrañar que aquellos científicos como, por ejemplo, Albert Einstein, Max Born³⁴, Werner Heisenberg³⁵, Erwin Schrödinger³⁶ e inclusive Arnold Sommerfeld, que en mayor o menor medida

³⁴ Max Born nació en Breslau, Alemania, el 11 de Diciembre de 1882, en el seno de una familia judía. Estudió en la Universidad de Göttingen donde obtuvo su doctorado en 1907. Entre 1919 y 1921 mantuvo un puesto de profesor de física en Frankfurt-am-Main antes de integrarse en el Centro de Física Teórica de la Universidad de Göttingen. Inspirado por Niels Bohr, intentó buscar una base matemática para la nueva teoría cuántica. En 1924, acuñó el nombre de Mecánica Cuántica, y en los años subsiguientes trabajó con su estudiante Werner Heisenberg, con el fin de desarrollar un sistema *matricial* para describir la posición e impulso de los electrones en el átomo. También desarrolló el primer modelo cuántico de colisiones atómicas. Debido a su origen judío y a su abierta oposición al nuevo gobierno, abandonó Alemania en 1933, trasladándose primero a la Universidad de Cambridge y, a partir de 1936, a la de Edinburgo (1936-53). En 1954 compartió el premio Nobel de Física con Walther Bothe por sus trabajos en el campo de la Mecánica Cuántica. Max Born falleció el 5 de Enero de 1970.

³⁵ Werner Heisenberg nació en Wurzburg, Alemania, el 5 de Diciembre de 1901. Estudió en Munich con Sommerfeld y en 1923 comenzó a trabajar con Max Born en Göttingen. Al año siguiente se unió a Niels Bohr en el Instituto de Física Teórica de Copenhague. Con ayuda de Max Born y Niels Bohr, Heisenberg diseñó el primer sistema matemático exitoso para la Física Cuántica, denominado Mecánica Matricial, por cuyo desarrollo recibió el premio Nobel de Física en 1932. Heisenberg no firmó la declaración de 1934 en apoyo de Hitler, y nunca se afilió al partido Nacional Socialista. El movimiento de físicos "arios" liderados por Philipp Lennard y Johannes Stark rechazó la mecánica matricial de Heisenberg, refiriéndose a ella como "formalismo teórico en el espíritu de Einstein", acusando a su creador de compartir las ideas fundamentales de la "Física Judía". Un ominoso artículo en el órgano de las SS, *Das Schwarze Korps* del 15 de Julio de 1937, titulado *Judíos blancos en las Instituciones Académicas*, sugirió que Heisenberg y otros *pro-judíos* debían desaparecer de las Universidades Alemanas. Al año siguiente Heisenberg obtuvo la protección de Himmler, como resultado de la intervención de su madre, quien apeló a la madre del *Reichsführer-SS*, a quien conocía, pero también debido al apoyo que recibió de la comunidad científica, algunos diplomáticos alemanes y aún de altos oficiales del gobierno. Sin embargo, a pesar de ser el físico más famoso de Alemania, no pudo obtener la posición que había dejado vacante Arnold Sommerfeld en la Universidad de Munich. Sin embargo, en 1940 Heisenberg fue nombrado director del grupo dedicado al desarrollo de armamento nuclear. En Abril de 1945 fue arrestado por las fuerzas aliadas junto con otros científicos alemanes tales como Otto Hahn, Carl von Weizsacker, Max von Laue, Karl Wirtz y Walter Gerlach. Al recuperar la libertad, Heisenberg regresó a Alemania donde fue nombrado director del Instituto Max Planck para el desarrollo de la Ciencia. Werner Heisenberg falleció en 1976. Sus libros más importantes son *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (1944, 3rd ed.), *Die Physik der Atomkerne* (1949, 3rd ed.), *Die Naturbild der Heutigen Physik* (1955) y *Schritte über Grenzen* (1971).

³⁶ Erwin Schrödinger nació el 12 de Agosto de 1887 en Viena, el hijo único de una familia de buena posición y de gran cultura. De 1906 a 1910 estudió en la Universidad de Viena. Durante la Primera Guerra Mundial actuó como oficial de artillería. En 1920 se casó con quien sería su fiel compañera de toda su vida, Annemarie Bertel. A partir de ese año tomó posiciones en Stuttgart (profesor extraordinario), Breslau (profesor ordinario) y Zurich (en reemplazo de von Laue), donde se estableció durante seis años. Allí realizó su gran descubrimiento, la ecuación de ondas de la Física Cuántica. En 1927 se trasladó a Berlín como sucesor de Planck. En 1933 compartió con Dirac el premio Nobel de Física. Cuando Hitler tomó el poder en ese mismo año, decidió que no podía permanecer en Alemania. Por un corto período aceptó una posición en Oxford. En 1934 se le ofreció una posición permanente en Princeton, pero no la aceptó. En 1936, después de muchas cavilaciones, su nostalgia pudo más que sus temores, y decidió aceptar una posición en Graz. Sin embargo, con la anexión de Austria en 1938, comenzó a experimentar serias dificultades, ya que su salida de Alemania en 1933 fue vista como un acto reprobable. Poco después logró escapar a través de Italia hacia Inglaterra, trasladándose al recientemente creado Institute for Advanced Studies en Dublin, de cuya

sufrieron las persecuciones inspiradas por Lenard, tomaran ciertas libertades al transmitir a sus discípulos los recuerdos de aquellos años iniciales de la Física Cuántica, asignándole a Hertz el papel central en el descubrimiento del efecto fotoeléctrico, y en el proceso relegando a Lenard al olvido. Con lo dicho no se está intentando plantear una teoría conspiradora, ni se está escogiendo a cierto individuo o grupo de individuos como responsables únicos y voluntarios de estos errores y omisiones. Tampoco se plantea la posibilidad de que existiera algún tipo de propósito, en términos de algún plan deliberado, en los que escribieron el relato sobre el nacimiento de la Física Cuántica durante la posguerra. Sin embargo, es prácticamente imposible que en ese época particular no existiera algún tipo de juicio moral en la comunidad científica en su conjunto, y que este influenciara de una manera u otra, y hasta de manera inconsciente, el relato histórico. Debe tenerse en cuenta que los primeros libros de texto de Física Cuántica se escribieron justamente en esa época. Autores posteriores tomaron esa historia de manera no crítica, transmitiéndolo a las nuevas generaciones, hasta llegar a nuestros días. Por ejemplo, esta omisión del trabajo de Lenard es evidente, por ejemplo, en un artículo³⁷ muy reciente publicado en una reconocida revista dedicada a la enseñanza de la Física. En ese artículo se afirma que "la supuesta derivación por Einstein de la hipótesis del fotón a partir de datos referidos al efecto fotoeléctrico es un absurdo histórico, [ya que] tales datos no existían cuando Einstein realizó su trabajo en 1904-5. Hertz en 1887, Thompson en 1899 y Lenard en 1892 habían descubierto el efecto fotoeléctrico, relacionado con los electrones, y demostrado que la energía de los estos es independiente de la intensidad de la luz"³⁸. Adviértase como en esta frase se menciona a Hertz como uno de los descubridores del efecto fotoeléctrico "relacionado con los electrones", se omiten las contribuciones de Hallwachs, y no se mencionan los trabajos de Lenard de 1902. Inclusive, en el mismo artículo se señala

Escuela de Física Teórica fue nombrado Director, hasta 1955. Posteriormente regresó a Viena con una posición honoraria. Falleció el 4 de Enero de 1961, luego de una larga enfermedad.

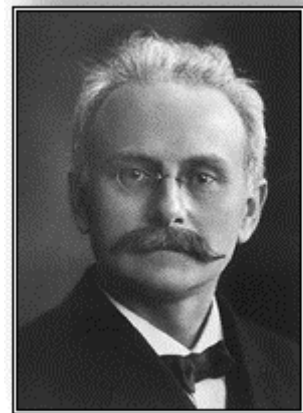
³⁷ G Margaritondo: *A historically correct didactic first step in the quantum world: stressing the interplay of relativity, thermodynamics and quantum physics*, European Journal of Physics 24, 15–19 (2003)

³⁸ ... Einstein's supposed derivation of the photon hypothesis from data on the photoelectric effect [...] is a historical absurdity. Such data, in fact, did not exist at the time of Einstein's work in 1904–1905. The works of Hertz in 1887, Thompson in 1899 and Lenard in 1892 had discovered the photoelectric effect, related it to electrons and demonstrated that the electron energy is independent of the light intensity [3]. However, suitable photoemission experiments to test Einstein's photon hypothesis took place much later, in 1915.

que "los pocos resultados disponibles sobre el efecto fotoeléctrico no incluían todavía el umbral de frecuencia para la fotoemisión"³⁹.

Johannes Stark

Otra figura controvertida de estos años iniciales de la Física Cuántica es Johannes Stark. Nació en Schinckenhof, Bavaria. Su padre era terrateniente. Fue educado en el Gymnasium de Bayreuth, y luego en Regensburg. Se graduó en la Universidad de Munich en 1897, donde comenzó su carrera como asistente de von Lommel. Ocupó posiciones en la Universidad de Göttingen, en la Technische Hochschule de Hannover, en la Technische Hochschule de Hannover, en la Universidad de Greifswald y en la Universidad de Würzburg. Durante su carrera, Stark publicó más de 300 trabajos científicos, además de varios libros, como por ejemplo: *Die Elektrizität in Gasen* (Electricidad en Gases, 1902) y *Die Elektrizität im chemischen Atom* (Electricidad en el átomo químico). Además, entre 1904 y 1913 editó el *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* (Anuario de radioactividad y electrónica). Johannes Stark fue miembro de las Academias de Göttingen, Roma, Leyden, Viena and Calcuta. Obtuvo el premio Baumgartner de la Academia vienesa de Ciencias en 1910, el premio Vahlbruch de la Academia de Ciencias de Göttingen en 1914, y la medalla and Matteucci de la Academia de Roma. Con el premio Nobel obtenido en 1919 por sus trabajos referidos al efecto Doppler en los rayos canales y al desdoblamiento de las líneas espectrales por la acción de campos eléctricos, pudo establecer su propio laboratorio privado. Durante las primeras décadas del siglo XX, Stark mantuvo una activa correspondencia con Albert Einstein, siendo uno de los pioneros en el estudio de la hipótesis de los cuantos de luz. Recordemos que ya en 1907, en un trabajo titulado "*Cuanto elemental de energía, un modelo de la electricidad positiva y negativa*", Stark fue uno de los primeros físicos en estudiar la cuantización de la luz en la línea seguida por Einstein. Además en



³⁹ ... the few available results on the photoelectric effect did not yet include the frequency threshold for photoemission.

1908 advirtió que la hipótesis del cuanto de luz de Einstein y la ley elemental de Planck debían considerarse como sinónimos, embarcándose, simultáneamente con Planck, Einstein y Sommerfeld, en el diseño de una teoría que, ya fuese en base a la cuantización del éter o de los resonadores, condujese a la fórmula de la radiación. Además, tal como recordaría Epstein, “la única persona que secundó a Einstein [en la primera conferencia Solvay] fue Stark”. Sin embargo, a pesar de ser uno de los principales pioneros de la Física Cuántica, el nombre de Stark corrió la misma suerte que el de Lenard en las narraciones sobre esos primeros años. Probablemente, una posible explicación pueda encontrarse en sus acciones posteriores, sobre todo a partir de la publicación en 1922 de su libro *Die Gegenwartige Krisis in der Deutschen Physik* (La Crisis presente de la Física Alemana, 1922). En ese libro, Stark realizaba un feroz ataque a la teoría de la relatividad de Einstein, y a la teoría cuántica de Bohr y Sommerfeld. Estas críticas lo aislaron de la comunidad científica alemana, como resultado de lo cual renunció a su cargo en la Universidad de Wurzburg. Las ideas nacionalistas de derecha de Stark comenzaron a radicalizarse, al mismo tiempo que fracasaba su aventura comercial en la fabricación de porcelana. La naturaleza combativa de Stark lo llevó a militar en el movimiento *volkisch*. Ya en 1924 declaró públicamente su apoyo a Adolf Hitler. El racismo se transformó en una justificación de su status de paria intelectual y en un arma contra aquellos que, supuestamente, lo habían expulsado de la vida académica. En sus discursos en apoyo de Adolf Hitler, Stark demostraba compartir sus ideas racistas, atacando principalmente a los científicos judíos, y opinando que "la física judía carece de toda relación con la observación fáctica, con la experiencia o con la objetividad científica". El 1ro de Abril de 1930 se afilió al partido Nacional-Socialista. Con la llegada de Hitler al poder en 1933, Stark fue elegido presidente del *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* como sucesor de von Paschen. Mantuvo esta posición hasta su retiro en 1939. Desde 1933 hasta 1936 fue también presidente de la *Deutsche Forschungsgemeinschaft*. En su libro *Nationalsozialismus und Wissenschaft* (1934), Stark argumentaba que el primer deber de todo científico era para con su nación. Denunciaba la esterilidad de la física teórica y afirmaba la necesidad de orientar la investigación científica hacia las aplicaciones industriales y la producción de armamento. Además argumentaba que todas las posiciones de dirección en la Ciencia Alemana debían ser ocupadas por alemanes étnicamente puros y comprometidos con

la Nación alemana. Stark mantenía una posición particularmente crítica sobre los científicos judíos. Cuando Werner Heisenberg salió en defensa de Einstein, Stark escribió un artículo en el periódico *Das Schwarze Korps*, donde describía a Heisenberg como "Judío blanco". Según Stark, la observación exacta y desinteresada de los fenómenos naturales era una función del alma nórdica, "mayoritariamente una creación de las componentes sanguíneas nórdico - germanas de la raza aria". Por el contrario, los científicos judíos eran "egocéntricos, sin respeto por la verdad, mezclando hechos e imputaciones". Stark opinaba además que sin aptitudes para la actividad creativa de las ciencias naturales, "el celo dogmático y propagandístico lleva a los científicos judíos a promocionar sus logros no sólo en las publicaciones científicas, sino también en la prensa y en giras de propaganda". Similares argumentos racistas se pueden encontrar en su libro *Judische und Deutsche Physik* (1941). Sin embargo, para esta época la influencia de Stark en la comunidad científica alemana había declinado. Habiendo cometido el error de antagonizar con el ministro de Ciencia, Educación y Cultura, Bernhard Rust, se vio envuelto en intrigas internas del Partido. Intentó un acercamiento a Alfred Rosenberg, sufriendo las consecuencias de su posterior pérdida de influencia dentro del gobierno. Después de la Segunda Guerra Mundial, Stark fue arrestado. Durante su juicio en Bavaria ante una corte de desnazificación, algunos de los principales físicos alemanes, incluyendo a Laue, Heisenberg y Sommerfeld, testificaron en su contra. El 20 de Julio de 1947 fue condenado a cuatro años de trabajos forzados. Sin embargo, esta sentencia fue posteriormente conmutada y puesta en suspenso. Durante sus últimos años de vida continuó con sus investigaciones en su laboratorio privado en Eppenstatt, cerca de Treunstein en Bavaria, donde murió el 21 de Junio de 1957. Estuvo casado con Luise Uepler, con quien tuvo cinco hijos.

Claramente, el relato construido por los "padres fundadores" de la Física Cuántica y por sus discípulos directos no podía evitar mostrar una cierta posición ideológica desde la cual contemplaron su relación no sólo con sus antecesores sino con aquellos físicos contemporáneos. En el caso que nos ocupa, no es de extrañar que la historia se haya construido con ciertos condimentos de reacción contra la actitud de los adeptos a la *física aria* y contra sus dos máximos mentores: Philipp Lenard y Johannes Stark. No se intentó inventar una tradición o continuidad con el

pasado anterior al nacimiento de la Física Cuántica, excepto con aquellos precursores como Kirchhoff ó Hertz cuyos experimentos mostraron la inconsistencia de la Física de Newton y Maxwell. Por el contrario, los autores de los primeros manuales de Física Cuántica se esforzaron en afirmar el carácter esencialmente revolucionario de la nueva teoría. Sin embargo, sí se intentó establecer, a través del ejemplo dado por científicos como Planck, Einstein o Bohr, una tradición entre la Física Actual y la de aquellos años iniciales, inculcando en los nuevos aprendices no sólo ciertas formas y estilos del quehacer científico, sino también una serie de valores y normas de conducta, como el debate abierto, la libre circulación de ideas, o el carácter universalista del conocimiento científico. Y científicos como Lenard y Stark no encajaban en dicha trama, más allá de su clara capacidad científica y sus muchas e importantes contribuciones a la Física Cuántica. No se debe descartar tampoco la posible existencia de un prejuicio por medio del cual se pudiese fundamentar en forma retroactiva la presunta superioridad del grupo de físicos que construyeron la nueva Teoría, estableciendo una cohesión y legitimidad que no admitía la inclusión de personalidades como las de Lenard y Stark. Por último es preciso aclarar que no hay ninguna evidencia de que este proceso de exclusión de ambos científicos se haya dado de manera racional o premeditada. Más bien lo que posiblemente se ocurrió es un "drama de pasiones y necesidades", de "propósitos privados y deseos egoístas" que -al decir de Hegel- operaron como causa eficiente e inconsciente de dicho proceso.

Otro gran ausente: Arnold Sommerfeld

En las historias sobre el nacimiento de la Física Cuántica, tampoco suele leerse u oírse el nombre de Arnold Sommerfeld, aunque posiblemente este silencio se deba a causas muy distintas que las que operan en los casos de Lenard y Stark. Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld nació en Königsberg, Prusia Oriental, el 5 de Diciembre de 1868. Su padre Franz Wilhelm y su madre Cécile Matthias dieron a su hijo una educación muy esmerada, con especial énfasis en el interés por las ciencias naturales. Arnold Sommerfeld estudió en el Altstädtisches Gymnasium. En la universidad de Königsberg estudió matemáticas, aunque también asistió a cursos de filosofía y economía política. Su tesis doctoral se enfocó en la "Teoría de las

Funciones de Variable Compleja en Problemas de Contorno". Después de servir en las fuerzas armadas (1892-3) obtuvo un puesto como asistente de Felix Klein en el Instituto de Mineralogía de la Universidad de Göttingen, y posteriormente como Privatdozent en Matemáticas. Después de cinco años obtuvo un puesto como profesor de matemáticas en la *Bergakademie*, en Clausthal. Habiendo obtenido un considerable aumento de sueldo, Sommerfeld pudo casarse con Jahanna Höpfner, cuyo padre era *Kurator* en Göttingen. En Clausthal, Sommerfeld trabajó en la propagación de ondas electromagnéticas y la difracción de rayos X. También publicó junto con Klein una serie de volúmenes sobre *Theorie des Kreisels* (Teoría de Cristales), entre 1897 y 1910. En 1900, Klein logró conseguir un puesto para Sommerfeld como profesor de Mecánica Técnica en el *Technische Hochschule* de Aachen. Debido a su formación como matemático, Sommerfeld tuvo que remontar un fuerte escepticismo de sus colegas en el área de la Ingeniería Aplicada. Sin embargo, logró aplicar su dominio de las matemáticas a varios problemas de ingeniería, tales como un estudio sobre resonancias en puentes y barcos. También analizó la hidrodinámica de líquidos viscosos, en un intento por explicar la turbulencia, y desarrolló una teoría de la lubricación. A medida que su reputación crecía, sobre todo en el nuevo campo de la física de electrones, Sommerfeld fue interesado por la Universidad de Munich para tomar el puesto Director del Departamento de Física Teórica, lo que hizo en 1906, permaneciendo en ese puesto hasta su retiro en 1940. En 1918 fue elegido presidente de la Sociedad Física Alemana. Con notable maestría logró reorganizar una institución profundamente dividida, y plagada por peleas internas. Fue uno de los pioneros de la naciente Física Cuántica. Su libro *Atombau and Spektrallinien*, constituyó un notable esfuerzo por resumir los nuevos conocimientos en un todo orgánico, aunque fue posteriormente superado por la Mecánica Cuántica de



Heisenberg y Schrödinger. Fue también uno de los primeros mentores del joven Einstein, con quien mantuvo una larga amistad. Brindó un apoyo crítico de sus teorías de la Relatividad Especial y de los cuantos de luz. En la primera conferencia Solvay, Sommerfeld presentó una idea innovadora, distinta de las propuestas por Planck y Einstein, donde la cuantización se centraba en la acción asociada al proceso de emisión o absorción de la luz. Aunque inicialmente tuvo grandes reservas sobre la teoría atómica desarrollada por Niels Bohr en 1913, posteriormente se convirtió en uno de sus más ardientes defensores. De hecho, generalizó la teoría a fin de incluir órbitas elípticas, logrando explicar el efecto Zeeman, es decir el desdoblamiento de las líneas espectrales en presencia de campos magnéticos. Esta y otras contribuciones y refinamientos de la teoría de Bohr, dieron origen a la *Teoría Atómica de Bohr-Sommerfeld*, que por casi una década fue la base de todos los estudios sobre la estructura atómica, hasta que fue superada por la mecánica matricial de Heisenberg y la mecánica ondulatoria de Schrödinger. A partir de ese momento, Sommerfeld fue uno de los pioneros en el desarrollo de aplicaciones de la nueva teoría. Entre 1910 y 1951 publicó más de 90 trabajos, donde aproximadamente un tercio estaban dedicados al estudio de problemas espectroscópicos. Fue el científico que más veces fue nominado para el premio Nobel por sus colegas, sin recibirlo. Sin embargo, obtuvo varios galardones, premios, doctorados honorarios y memberships de academias extranjeras. Dirigió más doctorados que ningún otro físico alemán contemporáneo, un monopolio que mantuvo hasta la llegada de Max Born a Göttingen en 1921. Siempre mantuvo una relación de amistad con sus estudiantes, con quienes solía compartir salidas y excursiones. Entre ellos podemos mencionar a Hans Bethe, Peter Debye, Paul S. Epstein, P. P. Ewald, Herbert Fröhlich, Erwin Fues, Hans Grimm, Werner Heisenberg, Walter Heitler, Helmut Höhl, Ludwig Hopf, Otto Laporte, Alfred Landé, Wilhelm Lenz, Wolfgang Pauli, Albrecht Unsöld y Gregor Wentzel. Tal como dijo Einstein,

“Lo que más admiro de Ud. es la forma en que un gran número de jóvenes y talentosos físicos teóricos surgen de las huellas dejadas por sus pisadas”.

Sommerfeld fue uno de los primeros y más fervientes antagonistas del movimiento de *Físicos Arios*. Ayudó incondicionalmente a varios físicos perseguidos por el gobierno, nombrando a varios de ellos para puestos académicos. En 1935, y con el fin de influir en el nombramiento de su sucesor, Sommerfeld continuó en su puesto y dictando cursos, aún cuando había pasado la edad de retiro. Sommerfeld y varios de sus colegas apoyaban a uno de sus mejores alumnos, Werner Heisenberg, pero el grupo de *Físicos Arios* se oponía vehementemente. Lo mismo ocurría con otros posibles candidatos, como Peter Debye ó Richard Becker. Para colmo de males, el asistente de Sommerfeld, Otto Schrezer, también estaba dejando Munich, y su ausencia dejaba a la universidad sin físicos teóricos. El Ministerio de Educación rechazó a los tres candidatos sin dar explicación. La oposición también venía de un gran grupo de estudiantes de filiación nacional-socialista, encabezado por Wilhelm Führer. Finalmente, en 1940 el Ministerio nombró a Wilhelm Müller como sucesor de Sommerfeld. Müller nunca había publicado un artículo científico, nunca había asistido a una conferencia científica, y ni siquiera pertenecía a la Sociedad Física Alemana⁴⁰. ¿Porqué se nombró a un científico tan obviamente inapropiado como Müller para suceder a un físico teórico de la talla de Sommerfeld?. La razón hay que buscarla en su principal mentor, Johannes Stark. Ya en 1915, Stark había denunciado a Sommerfeld como el líder del movimiento judía dentro de la Física Alemana. Además pesaba su animadversión contra Heisenberg, a quien llegó a comparar con Carl von Ossietzky, quien había sido encarcelado en 1933, y ganador del premio Nobel de la Paz en 1936. Obviamente, ser comparado con un enemigo del Reich no era la mejor carta de recomendación para obtener un puesto en el ambiente académico alemán. Aunque Heisenberg fue exonerado por Himmler en Julio de 1938, el movimiento de Físicos Arios logró el apoyo de otra organización, la Liga de Profesores Universitarios, consiguiendo inclinar la balanza en favor de Müller, un firme partidario de la Física Aria. Sommerfeld se refirió a Müller como el "peor sucesor posible". De hecho, después de ocupar la posición de Sommerfeld, se suspendieron todos los cursos de Física Teórica en la Universidad de Munich, con excepción del de Física Clásica. Gerlach se quejó ante el decano, pero sólo recibió como respuesta la opinión de que Müller estaba haciendo un excelente trabajo en la enseñanza de la Física Teórica. Al dejar su puesto en 1940, Sommerfeld ya tenía 71

⁴⁰ A. D. Beyerchen: *Scientists under Hitler* (London: Yale University Press, 1977).

años de edad. Sobrevivió la Segunda Guerra Mundial, falleciendo víctima de un accidente de tránsito el 26 de Abril de 1951.

¿Porqué un físico tan capaz, prolífico y carismático como Sommerfeld, con un gran número de contribuciones en la naciente Física Cuántica, es nombrado tan escasamente en los relatos sobre esos primeros desarrollos?. Si se recuerda y menciona el modelo de Bohr-Sommerfeld, pero eso es prácticamente todo. Tal vez, como dice Karin Shafer⁴¹, "la razón es que la mayoría de sus contribuciones fueron indirectas". Esto también podría explicar que a Sommerfeld nunca se le otorgara el Premio Nobel, aún cuando recibió el mayor número de nominaciones del premio en cualquiera de las áreas (81 nominaciones en 33 años)⁴². De hecho, los estatutos del premio señalan que este debe ser otorgado por un descubrimiento específico. Esto mismo se aplicaría a otros grandes "perdedores" como Robert Williams Wood y Paul Langevin, quienes, a lo largo de sus carreras, recibieron 38 y 25 nominaciones, respectivamente.

Aceptación de la Teoría de los Cuantos de Luz

La ecuación obtenida por Einstein para el efecto fotoeléctrico fue confirmada por Millikan en 1914, aún cuando este dejaba bien en claro en sus publicaciones que no apoyaba la hipótesis de los cuantos de luz⁴³. En 1916, por ejemplo, escribía que esa hipótesis era tan "insostenible" que, en su opinión, hasta el mismo Einstein había dejado de apoyarla⁴⁴. Como se ve, se necesitaba más que la confirmación experimental de una ecuación para convencer a la comunidad científica. Algunos, como Jeans en 1911, cambiaron de opinión tempranamente, pero fueron los menos. De hecho, con posterioridad al experimento de Millikan y por casi una década no hubo ninguna evidencia adicional que apoyara la hipótesis del cuanto de luz. La creciente aceptación que fueron ganando las ideas de Einstein hay que buscarla en otro ámbito como, por ejemplo, en su cada vez mayor ascendiente en la comunidad

⁴¹ Karin Shafer: *The Life and Work of Arnold Sommerfeld* (Umaie course, 2000)

⁴² Elisabeth Crawford: *Nobel population 1901-50: anatomy of a scientific elite*, Physics World (IoP, Londres, December 2001).

⁴³ R. A. Millikan, "A direct determination of h ", Phys. Rev. (series 2) 4, 73-75 (1914).

⁴⁴ R. A. Millikan, "A direct photoelectric determination of Planck's constant h ", Phys. Rev. (series 2) 7, 355 - 388 (1916).



Aunque no de manera determinante, los resultados experimentales obtenidos por los físicos norteamericanos R. A. Millikan (1868 – 1953) en 1914 y A. H. Compton (1892 - 1962) en 1923, a quienes se los ve en una foto tomada en 1952, ayudaron a convencer a la comunidad científica sobre la validez de la hipótesis de Einstein sobre los cuantos de luz. Por otro lado debe señalarse que ninguno de ellos comulgaba inicialmente con esa idea. Por ejemplo, Millikan aseguraba que la hipótesis de los cuantos de luz era “so untenable that Einstein himself no longer holds to it”.

científica y en la súbita popularidad que obtuvo en 1919 con la observación astronómica de Eddington. La “historia oficial” señala que el espaldarazo final para la hipótesis del cuanto de luz llegó con las observaciones de Compton⁴⁵. Este mostró que sus datos de dispersión de rayos X y gamma por átomos no podían explicarse con la teoría ondulatoria, pero si suponiendo que la luz estaba formada por cuantos que no sólo tenían una energía, sino también un impulso, y que ambos estaban relacionados con la frecuencia por la ley elemental de Planck. Sin embargo, esta historia no es y no puede ser válida, ya que este experimento de 1923 fue dos años posterior a la obtención por

Einstein del premio Nobel, justamente debido a explicación del efecto fotoeléctrico en base al concepto de cuanto de luz. O sea que la hipótesis de Einstein ya había sido aceptada por la comunidad científica hacia 1923, sin mediar casi ninguna “confirmación” experimental, excepto por el estudio realizado por Millikan en 1914, y en cuya publicación el mismo Millikan había escrito que ni siquiera el mismo Einstein apoyaba ya la hipótesis de los cuantos de luz. De hecho, con posterioridad al experimento de Millikan y por casi una década no hubo ninguna evidencia adicional que apoyara la hipótesis del cuanto de luz.

Además de intentar contar lo que sucedió, los relatos existentes sobre el nacimiento de la Física Cuántica intentan dar un sentido a los hechos que lo conforman. En algunos casos esto se da de manera explícita, y otros no. En este nivel de conceptualización, se explican los hechos se pueden llegar a reordenan mediante

⁴⁵ A. H. Compton, “A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements”, Phys. Rev. (series 2) 21, 483 - 502 (1923). A. H. Compton and A. Simon, “Directed quanta of scattered X-rays”, Phys.

una argumentación que se basa en una ley supuestamente universal de relaciones causales. Y ello es posiblemente lo que ocurre en este caso. Al invertir el orden cronológico entre el experimento de Compton y la obtención del premio Nobel por Einstein se vuelve sostenible la idea de que el concepto del cuanto de luz fue aceptado por la comunidad científica gracias a la realización de un experimento crucial, y no por la autoridad o *popularidad* de su creador.

Conclusiones

Tal como señala Hobsbawm, "aún los innovadores pueden generar sus propias tradiciones inventadas". Los relatos sobre los primeros años de la Física Cuántica, que hemos analizado en este trabajo, dan un claro ejemplo de ello. Hemos visto como estos relatos contienen errores y omisiones que terminaron conformando una historia semi - que se estableció gran rapidez. Tal *construcción* del pasado sería más fácil de comprender si hubiese sido deliberadamente inventada por un único individuo, o desde un punto de vista institucional. En el presente caso, en cambio, es el resultado de la tarea de un gran grupo de personas, los mismos "padres fundadores" y sus discípulos inmediatos. No se puede intentar explicarlo en base a una teoría conspirativa, aunque es difícil evitar imaginar que tácitos ingredientes de propósitos privados, pasiones y juicios morales cruzaran todos los relatos existentes, y actuaran como causas, mayormente inconscientes, de tales construcciones. Científicos como Hertz y Planck recibieron un crédito no merecido, por experimentos no realizados el primero, y por opiniones no compartidas el segundo. Por el contrario, los nombres de otros científicos como Lenard y Stark fueron excluidos de la mayoría de las narraciones, y por ende del grupo creador de la nueva teoría. Al mismo tiempo se establecía una relación directa con ciertas prácticas, valores y normas de conducta comunes a todos los miembros de dicho grupo. El pasado, real o inventado, al cual se hace referencia en todos los relatos, impone a los nuevos aprendices del oficio el ejercicio de dichas prácticas y valores ejercidos por sus predecesores. También hemos visto que en los relatos existentes, además de una selección de los datos del registro histórico, se produjo una subversión de su orden cronológico con el fin de justificar ciertos procesos causales. Por último se intentó

Rev. (series 2) 26, 289 - 299 (1925). A. H. Compton, "*The scattering of X-rays as particles*", Am. J.

afirmar el carácter revolucionario de la nueva teoría, donde ninguno de sus mentores y mucho menos el primero de ellos, Planck, podían mantener una posición ambigua, postulando el modelo del cuanto de energía, pero rechazando el gran salto conceptual que significaba el concepto del cuanto de luz.

Bibliografía:

- W. H. Dray: *Filosofía de la Historia* (Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México).
- Albert Einstein: *Notas autobiográficas* (Alianza Editorial, Madrid, 1984).
- Eric Hobsbawm and Terence Ranger: *The Invention of Tradition* (Cambridge University Press, Cambridge, 2nd edition, 1983).
- Thomas S. Kuhn: *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1916, with a new Afterword* (The University of Chicago Press, Chicago, 1978).
- Jagdish Mehra and Helmut Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory* (Springer-Verlag, New York, 1982).
- The Nobel e-Museum (www.nobel.se).
- Oscar Nudler: *Campos controversiales y Progreso en Filosofía* (XI Congreso Nacional de Filosofía, Univ. Nac. de Salta, 2001)
- H. White: *Metahistoria* (Fondo de Cultura Económica, México).
- The Simon Wiesenthal Center: *Online Museum of Tolerance* (www.motlc.wiesenthal.org).