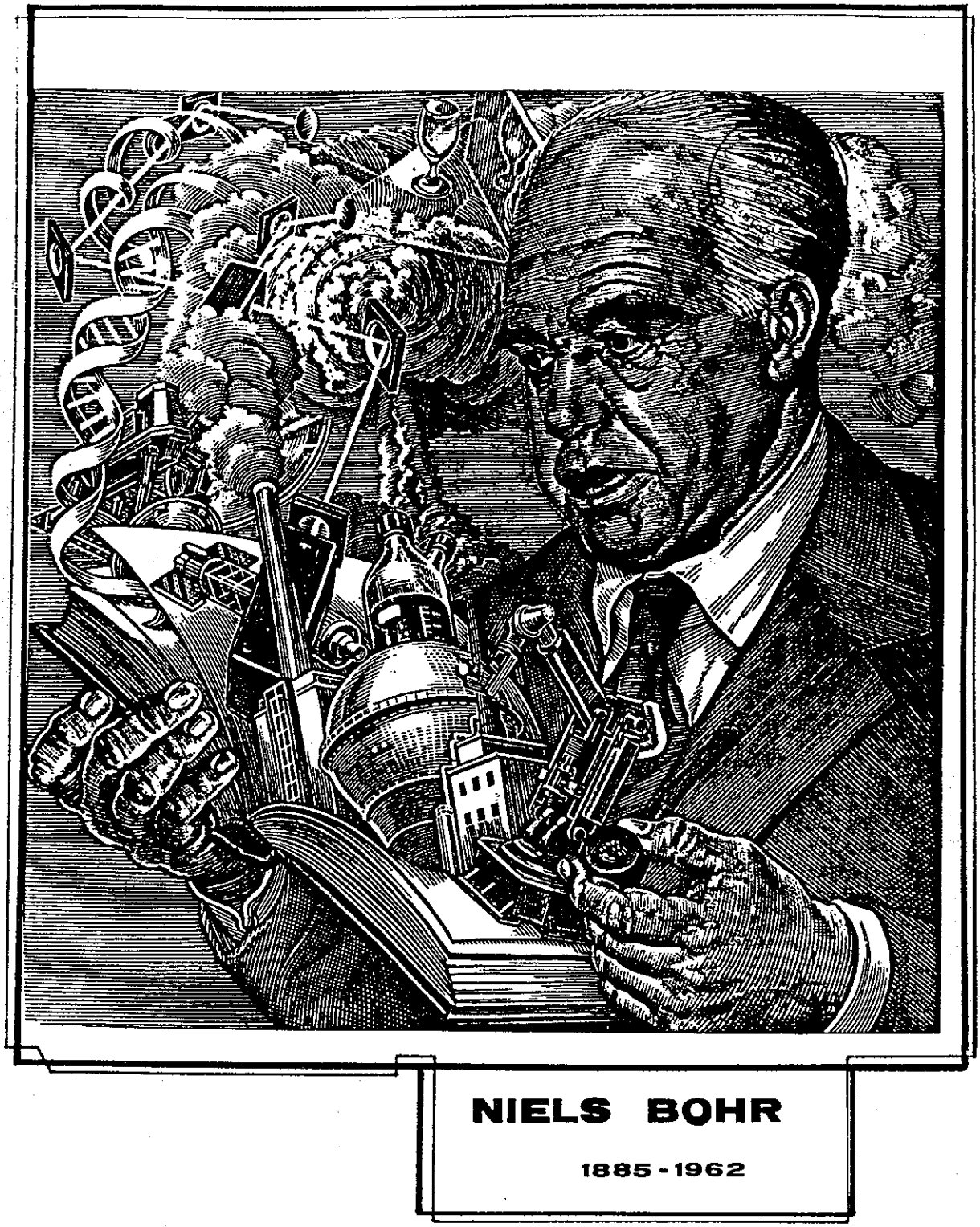
EVOCACION DE NIELS BOHR
EN SU CENTENARIO

Berta Marco

documentos i.e.p.s.

monografías
nº 2



Dep. Legal. M - 39396 - 1985

EVOCACION DE NIELS BOHR EN SU CENTENARIO

Berta Marco Stiefel
Doctora en Ciencias Químicas
Proyecto Historia de la Ciencia
I.E.P.S. Velázquez 114, 4º
28006 Madrid.

EVOCACION DE NIELS BOHR EN SU CENTENARIO

INTRODUCCION

Este trabajo se preparó para difundir la figura de Niels Bohr con motivo de la celebración del centenario de su nacimiento y está escrito para un nivel de C.O.U.

La síntesis que se ha hecho responde a la contribución de Bohr al tema del átomo y por tanto engancha con la Teoría Atómica, una de las líneas más importantes de la Física y la Química del nivel a que nos referimos. No obstante, el sondeo en la figura de Bohr nos ha llevado a destacar dos aspectos: su personalidad humana y el papel que jugó en la comunidad científica internacional, ayudando a la depuración de ideas en torno al átomo y a la promoción de las jóvenes generaciones de estudiantes.

El texto aquí descrito es adecuado para una charla monográfica, donde se tiene la oportunidad de ahondar un poco en la persona a la cual se evoca. Desde este ángulo se escribió y se experimentó en los siguientes centros:

- Centro Poveda, Madrid
- Instituto Veritas, Madrid
- I.N.B. "Carlos III", Madrid
- I.N.B. "Leganés", Madrid
- I.N.B. "Rianjares", Tarancón, Cuenca

El Proyecto de Historia de la Ciencia del I.E.P.S. cuenta con una colección de diapositivas que sigue el hilo de este trabajo, que puede prestarse. Las colecciones que se distribuyeron el año pasado junto al texto se agotaron.

Madrid, diciembre 1986

Berta Marco

Fdo: Berta Marco

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

Sumario:

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

Introducción

Hace poco más de un mes, se ha cumplido el Centenario del nacimiento de un famoso físico teórico, cuya herencia cultural, en el más amplio sentido, prevalece en nuestros días. Y no sólo por su aportación concreta en el campo estrictamente científico, sino porque fue un hombre capaz de mantenerse en diálogo constante con amigos, compañeros y colaboradores, y porque le interesó conocer humana y cercanamente a sus discípulos, haciéndolos participes del proceso de su pensamiento. Tuvo la suerte de nacer en una época realmente brillante y destacada en la historia de la Ciencia donde las personalidades que en ese momento surgieron, estaban dotadas de sentimientos humanos profundos, tenían hondura filosófica y gran apertura a las humanidades.

Entre 1878 y 1885 nacen Lise Meitner y Otto Hahn, la pareja vinculada al logro de la Fisión Nuclear, Albert Einstein y Niels Bohr, por no citar sino algunos de ellos. El clima de laboratorio, el intercambio de ideas, la correspondencia cruzada entre distintas escuelas, estaban impregnadas de un tono cultural apasionante donde cada maestro, es decir, cada personalidad que convocaba a las jóvenes generaciones de estudiantes, era multifacética y hacía posible el desarrollo de las cualidades de los que le rodeaban.

Quizás, el momento crucial que atravesaba la Ciencia a comienzos de siglo con las intuiciones del átomo por un lado, la ruptura definitiva de Einstein con el pensamiento clasico y la ley de los quantos de Planck predecían la necesidad de un fuerte aglutinante entre las escuelas científicas para sacar una visión nueva del mundo físico.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

La mayoría de estos científicos se sienten atraidos hacia la física al contacto, en su tiempo de estudiantes, con las nuevas teorías. En algunos predominaba inicialmente el pensamiento abstracto y matemático; en otros, la habilidad experimental o el atractivo por la simplicidad y regularidad observable en las leyes naturales; en unos pocos, el trasfondo filosófico de toda búsqueda... pero la Ciencia que por entonces empezaba a ser marcadamente interdisciplinar, precisaba de todos estos puntos de vista y de personas-puente, verdaderos aglutinantes, para lograr procesos de síntesis. Una de esas personas fue Niels Bohr.

La herencia de Bohr subyace en los grandes logros científicos de nuestros días, porque su mirada se dirigió al universo microscópico donde el átomo -en el pensamiento de Dalton unidad indivisible- ha ido mostrando sus secretos en los últimos 50 años. El láser, las energías de fisión y fusión nuclear, etc. pueden citarse entre las aplicaciones más directas de su teoría.

Muchos de los avances científicos de estos últimos tiempos, nos han transmitido una imagen controvertida de la Ciencia porque ponen de manifiesto la ambivalencia científica. Después de los primeros vuelos espaciales, los efectos contaminantes del medio procedentes de vertidos industriales o fuentes de energía, la manipulación del material genético o el riesgo de sentir la opresión de la inteligencia artificial, ha creado cierto recelo en orden a la Ciencia. En ocasiones resulta inaccesible, envuelta en aparato matemático complicado o traducida en tecnología de frontera... Quizás, hoy más que nunca, sea necesario revelar el rostro humano de la Ciencia, el proceso que la construye, las manos que traban intuiciones, formulaciones y descubrimientos, las dudas que atenazan a los investigadores, las variables que está en su mano controlar y las que se escapan, la búsqueda sistemática y la intuición certera... Porque ser científico es ser hombre y asumir la vida humana tratando de leer, con mirada objetiva, lo que la Naturaleza desvela de su orden interno. El hombre de Ciencia se basa en los que le han precedido y crea, sabiendo que tiene que dejarse trascender, porque las ideas y la luz certera para un momento histórico, a la larga puede quedar superada por el tiempo.

Acercarse a Niels Bohr es descubrir a un hombre en sus inclinaciones y posibilidades naturales; conocer su obra es abrirse a la comunicación interpersonal, al contraste de pareceres. En definitiva, es descubrir la Ciencia a través de un rostro humano. Desde este ángulo de mira nos adentramos en su figura, no sin antes subrayar, en palabras de Sir Peter B. Medewar, Premio Nóbel en el campo de la Inmunología, el carácter humano, y con ello accesible de la Ciencia.

"La comprensión de la empresa científica está al alcance de todos. Al fin y al cabo, es una labor efectuada por hombres y mujeres que pueden ser nuestros vecinos, que van y vienen todos los días a su lugar de trabajo, alentados por esperanzas y propósitos que son comunes a todos; recompensados, como la mayoría, por triunfos esporádicos y entristecidos por reveses ocasionales. Es una empresa que tiene sus propias reglas y costumbres, pero su entendimiento no es inaccesible a ninguno de nosotros porque es esencialmente humana"

P. B. Medewar, "Consejos a un joven Científico".(1)

Historia familiar y primeros pasos académicos

Niels Bohr nació en Copenhague (Dinamarca) el 7 de octubre de 1885. Su padre, Christian Bohr, fue un famoso fisiólogo danés y su madre, Ellen Adler, hija de un prestigioso banquero judío. Su familia le suministró a Bohr una completa formación académica y cultural. Tanto él como su hermano, Harald (un famoso matemático), llegaron a ser destacados científicos. Su vida se desenvolvió en un ambiente correspondiente a una clase media alta, lo que permitía, en un país tan pequeño, tener acceso al mundo intelectual danés de su tiempo, especialmente al relacionado con filósofos y médicos. No se tiene evidencia de que Bohr fuera un genio de niño; tan sólo se sabe que hizo unos dibujos muy exactos y creativos de pequeño. El alguna vez manifestó que había tenido dificultades en aprender a escribir. Sin embargo, ambos hermanos fueron atletas casi hasta el grado de profesionales.

---

(1) Breviarios, nº 341, Fondo de Cultura Económica, México, 1982.

Dep. Legal. M-39396 - 1985

Entre sus hobbies destacaron las manualidades (trabajo sobre madera y metal) y una gran habilidad para arreglar bicicletas, así como para arrojar certeramente piedras sobre un blanco. Y muy especialmente, la poesía de Goethe.

El interés de Bohr por la Física se lo despertó inicialmente su padre cuando estaba realizando estudios primarios. Después, al entrar en la Universidad de Copenhague, se inscribió en Física. A los 2 años trabajó en propulsión de líquidos y tensión superficial para tomar parte en un concurso organizado por la Academia Danesa de las Ciencias. En 1905 ganó la Medalla de Oro por un trabajo teórico y experimental, que llevó a cabo en el laboratorio de su padre. Más tarde, su actividad se fue concentrando poco a poco en aspectos teóricos. Su tesis Doctoral versó sobre la Teoría de los Metales. El mismo escribe a su hermano Harald en aquel tiempo:

> "por el momento estoy frenéticamente entusiasmado con la teoría de los electrones de Lorenz".

De su aspecto físico destacan los estudiosos: su gran cabeza, rostro de expresión amable y contextura atlética.

Su carácter bondadoso, un poco tímido de apariencia, profundidad sin ostentación, capacidad de diálogo, acogedor de infinidad de amigos.

Y,entre otros testimonios directos, así lo describe Otto R. Frisch en su edad madura:

> "Niels Bohr tenía por entonces 50 años y estaba en plenitud de facultades mentales y físicas.Era de complexión robusta, pero cuando bajaba las escaleras de dos en dos no era fácil seguirle, ni siquiera los que eramos más jovenes. Y también nos ganaba a todos al ping-pong. La mesa estaba instalada en la pequeña biblioteca del Instituto y a los lectores no parecía importarles que echaramos una partida de vez en cuando.
>
> La cabeza, grande y pesada, provista de cejas muy pobladas, y las manos cubiertas de vello, le conferían a Bohr cierto aire de campesino. Aun recuerdo esos ojos que podían

atenazarte con toda la fuerza de la mente que había tras ellos, para luego, de pronto, inundársele la cara con una sonrisa que lo convertía todo en una broma. Bohr era patrón de yate, esquiaba en las montañas noruegas y yo mismo le vi talar árboles, manejando un hacha grande con la fuerza y destreza de uno del oficio. Por lo general se movía en bicicleta y recuerdo que una vez, a la vuelta de un largo viaje por Rusia, olvidó la combinación del candado; entre los números que él recordaba y los que algunos de nosotros nos sabiamos por haberle visto abrirlo, conseguimos, tras media hora de continuos ensayos, reconstruir la combinación y que Bohr se pudiera ir a casa en bicicleta.

Otto R. Frish, "Recuerdos de un físico nuclear"

De Cambridge a Manchester

El 13 de Mayo de 1911, poco después de morir su padre, Bohr presenta su tesis en la Universidad de Copenhague. Más tarde, y, a pesar de su formación inicial de corte germánico, a la hora de ampliar estudios postdoctorales, no se dirige a Berlin, donde estaba Planck, creador de la teoría de los cuantos, ni a Holanda, siguiendo los pasos de Lorentz; su mirada se detiene en la enorme reputación que tiene en el momento el Cavendish Laboratory de Cambrigde y su admiración por J.J. Thompson, el padre del electrón.

Dotado con una beca, Bohr llega a Cambridge en septiembre de 1911. Su entusiasmo se refleja en una de sus cartas:

"Me sentí lleno de alegría cuando, estando a la salida de una tienda, acerté a leer la palabra 'Cambridge' sobre la puerta".

Su adaptación a la ciudad inglesa fue perfecta. Su correspondencia descubre la fascinante vida universitaria antes de la guerra: invitaciones, coloquios, deportes, paseos por los prados junto al río. Pero, a pesar de su inmersión en el ambiente universita-

rio de aquella ciudad, se le iban desdibujando poco a poco las razones de estar allí. El deseaba extender sus ideas a los físicos ingleses y buscar un guía para seguir profundizando. Sus quejas se centran en el orden científico. En torno a Thompson se ha reunido una pléyade de jóvenes estudiantes a quienes no puede llegar a atender. Su tesis reciente, llena de ideas nuevas, descansa sobre la mesa del profesor sin tiempo para ser considerada como se merece. Bohr transmite ilusión y desencanto al respecto en sus cartas a los más allegados, su madre y su entrañable hermano Harald, con quien se comunicó estrechamente toda la vida:

> "Acabo de hablar con Thompson y le expliqué tan bien como pude, mis puntos de vista sobre radiación, magnetismo etc. Debería ser consciente de lo que significa para mi hablar con este hombre. Fue muy amable conmigo; tratamos muchas cosas y creo que consideró algo de lo que yo le dije. Prometió leer mi tesis y me invitó a cenar con él el próximo domingo en el Trinity College..."
>
> N. Bohr, carta a su hermano Harald, el 29 de septiembre de 1911.

y un mes más tarde, le dice:

> " (Thompson) aún no ha tenido tiempo de leer mi tesis y tampoco se si está de acuerdo con mis críticas. Solamente he hablado informalmente unas cuantas veces y unos cuantos minutos, y lo que era una cosa simple, mi objeción a su cálculo de la absorción de rayos calientes... Thompson dijo que no veía que el tiempo de colisión pudiera ser tan grande en influencia sobre la absorción. Trate de explicarlo y, al día siguiente, le di un ejemplo muy simple que lo mostraba claramente. Desde entonces he hablado con él sólo un momento y hace una semana. Pienso que él cree que mi cálculo es correcto, pero no estoy seguro de que él no crea que se puede diseñar un modelo mecánico para explicar la ley de la radiación del calor sobre los principios electromecánicos usuales".

(Esta carta desvela cómo Bohr estaba pensando en algún nuevo principio aplicable a los problemas subatómicos).

En este clima de desorientación, en Noviembre de ese mismo año, Bohr se encuentra con Rutherford en una de las cenas anuales del Cavendish y, de tal manera se siente impresionado por su persona, que se tralada a Manchester para seguir un curso dirigido por él sobre medidas radiactivas ; mientras espera que le llegue la fuente radiactiva que necesita, se entusiasma sobre el paso de partículas alfa a través de la materia y empieza a reflexionar sobre el modelo atómico propuesto con anterioridad por Rutherford.

La vinculación entre ambos científicos nace en este momento y permanece a lo largo de la vida. Bohr no duda en afirmar: "Fue casi un segundo padre para mi".

Comparando sus etapas de Cambridge y Manchester no se detiene en contrastar el grado de competencia de Thompson y el de Rutherford. Definitivamente, le conquista este último porque (en sus palabras):

> "Tenía un interés real en toda la gente que trabajaba con él y venía con regularidad a ver cómo iban las cosas, a hablar sobre cualquier asunto de poca monta".

En torno al átomo. Nace un modelo

Ernest Rutherford junto a sus colaboradores de Manchester habían demostrado, por vía experimental, que los átomos tenían un nucleo denso rodeado de una nube de electrones. Bohr, que estaba trabajando en su escuela y participando en sus experimentos, se preguntaba por qué los electrones, de carga negativa, no caían sobre el nucleo donde se concentraba la carga positiva. De acuerdo con las teorías electromagnéticas de Maxwell, unas partículas cargadas eléctricamente producen radiación si se salen de un camino recto. Los átomos de Rutherford tienen sus electrones en órbitas circulares y deberían perder radiación. Si esto sucede, perderían energía y se precipitarían sobre el nucleo. El átomo colapsaría en si mismo.

La descripción de Bohr, por la que recibió el Premio Nobel en 1922, se basa en que un electrón, en un órbita específica en torno al nucleo, sólo puede escapar de esa misma órbita absorbiéndo o emitiendo un cuanto de energía, $h.\nu$. No puede emitir o

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

absorber radiación de una manera continua porque la radiación electromagnética sólo se da en paquetes discretos llamados cuantos. Cuando cambia de órbita pasa instantaneamente de un nivel de energía a otro y la radiación emitida u absorbida, en cantidades precisas, origina las características líneas espectrales a frecuencias determinadas que son como las huellas dactilares de los diferentes elementos.

De esta época es el fragmento que viene a continuación, recogido de una carta de Bohr a su hermano:

> "...Quizás pudiera ser que yo haya profundizado algo más en la estructura de los átomos. No debes decir nada a nadie pues, de otra manera, yo dejaría de escribirte sobre esto. Si estoy en lo cierto, esto podría no ser la indicación de una posibilidad, sino un trozo pequeño de realidad. Todo ha salido de una información que he sacado de la absorción de partículas alfa (la teoría de que te hablé en mi última carta). Comprende que puedo estar aún en un error, porque no esta completamente terminado (yo pienso que, sin embargo, esto no es así); tampoco creo que Rutherford piense que esto es completamente erroneo, pero es un hombre tan honesto, que nunca dice que esta convencido de algo si no esta totalmente terminado".
>
> N. Bohr, carta a su hermano Harald, junio, 1912.

Y, pasadas las primeras intuiciones, las cartas cruzadas con Rutherford, donde claramente se expresan puntos de vista . Bohr escribe desde Copenhague donde se ha instalado definitivamente, después de su matrimonio, que se da también en esta coyuntura:

> "Le mando el primer capítulo de mi artículo sobre la constitución del átomo. Espero que los próximos le sigan en unas pocas semanas. En los últimos tiempos he hecho buenos progresos en mi trabajo y espero tener éxito en ampliar las consideraciones tenidas en cuenta a un gran número de fenómenos tales como espectros de emisión, magnetismo y, posiblemente, indicar algo sobre la teoría de la constitución de las estructuras cristalinas... Como verá el primer capítulo trata de los problemas de emisión

de las líneas espectrales consideradas desde el punto de vista esbozado en mi carta anterior. He intentado demostrar que, desde tal punto de vista, parece posible dar una interpretación simple a la ley del espectro del hidrógeno y que los cálculos obtenidos están cuantitativamente de acuerdo con los experimentos... Espero que se de cuenta de que he tenido una consideración razonable con la delicada cuestión del uso simultaneo de la mecánica clásica y de las nuevas aportaciones introducidas por la teorías de la radiación de Plank. Estoy deseando saber que piensa usted de todo esto.

N. Bohr, carta a Rutherford del 6 de marzo de 1913.

La repuesta de Rutherford, con pocas fechas de retraso, dice así:

"He recibido su artículo y lo he leido con gran interés pero quiero volver sobre él con cuidado cuando tenga tiempo libre. Sus ideas, asi como el modelo que da origen al espectro del Hidrógeno son muy ingeniosas y parecen bastante razonables, pero la mezcla de las ideas de Planck con la mecánica clásica hace difícil el formarse una idea de lo que es su base. Me parece esto una gran dificultad en su hipótesis, de lo cual no dudo que usted se haya dado cuenta, a saber, cómo un electrón decide a que frecuencia va a vibrar cuando pasa de un estado estacionario a otro. Creo que usted debe de asumir que el eléctrón sabe de antemano donde va a ir a parar".

E. Rutherford, carta a Bohr, del 20 de marzo de 1913.

Al cabo de unos pocos días, cuando Rutherford, tuvo ocasión de volver sobre el asunto, escribe la siguiente carta haciéndole nuevas observaciones, esta vez sobre el modo cómo se debe escribir una comunicación científica:

Manchester, 25 Marzo, 1913

"Querido Dr. Bohr, recibí esta mañana el manuscrito del artículo que he leído de nuevo. Pienso que los añadidos

son excelentes y parecen bastante razonables; la dificultad está en que su artículo tiene aún bastante contenido y es largo para una simple comunicación. Pienso realmente que sería conveniente que abreviase algunas de las discusiones para llegar a una extensión más razonable. Como usted sabe, en Inglaterra es costumbre poner las cosas del modo más corto y conciso posible en contraste con el método alemán donde el enrollarse largamente parece ser una virtud.

Le agradecería,en síntesis,saber qué partes se pueden desechar o cortar. Pienso que no sería difícil reducir el artículo a un tercio sin sacrificar ningún punto esencial. Como le mencioné en mi última carta, es mejor no publicar escritos tan largos porque asustan prácticamente a todos los lectores".

Ernest Rutherford.

Al cabo de un cierto tiempo, Bohr da cuenta del eco que despertaron aquellas observaciones:

"Me di cuenta de que la única manera de salir del apuro era ir de una vez a Manchester y hablar con Rutherford. Aunque siempre estaba muy ocupado, manifestó conmigo una paciencia casi angélica y después de discusiones a lo largo de algunas largas tardes durante las cuales expresó que nunca había pensado que yo fuera tan tenaz, consintió en dejar los aspectos antiguos y nuevos en el artículo final. Seguramente tanto el estilo como el lenguaje fueron mejorados con la ayuda y las orientaciones de Rutherford y yo había tenido la oportunidad de darme cuenta de lo preciso que él era en poner objeciones a la presentación bastante complicada y especialmente a las abundantes repeticiones procedentes de las referencias bibliográficas".

Niels Bohr.

Los fragmentos elegidos explicitan la relación humana y científica que va naciendo entre ambos investigadores. Por entonces la cautela científica de Rutherford, su habilidad para dis--

tinguir entre la pura especulación y los puntos de vista fundamentados, aparecen en sus cartas junto al respeto y admiración de los primeros contactos. La relación deriva hacia una fuerte amistad que llega a compartirse en el futuro entorno de cada familia tanto en lo humano cuanto en lo que a su carácter científico se refiere.

A comienzos de 1913 Bohr había empezado a escribir una trilogía formidable de artículos. En el primero daba una explicación general de la constitución del átomo y moléculas. El segundo se iba a referir a sistemas con algunos grados de libertad y el tercero a sistemas con más de un nucleo. El proyecto no se terminó nunca y sólo parte de él apareció alrededor de 1918. De sus últimos debates científicos da cuenta la carta a su amigo O.W. Richardson de agosto de 1918:

> "Se que te haces cargo de cómo ocurren las cosas y cómo mi vida, desde el punto de vista científico, pasa periodos de euforia y de desesperación, de sentirse lleno de vigor y sobrecargado de trabajo, de empezar artículos y no llegar a publicarlos, pues, en todo momento, estoy continuamente cambiando de opinión sobre esta terrible criba que es la Teoría Cuántica"

El primer trabajo que al fin salió a la luz pública, se encuentra recogido en el vol. 26 del Philosophical Magazine del 5 de Abril de 1913; es de lectura fácil para cualquier persona con conocimientos básicos de física.

Las audaces hipótesis de Bohr y sus ajustados cálculos matemáticos sobre las órbitas permisibles a los electrones, fueron comprendidas agudamente por Einstein, quien expresó:

> "Lo que era un fundamento inseguro y contradictorio fue suficiente para permitir a un hombre del instinto y la percepción de Bohr, descubrir las leyes más importantes de las líneas espectrales y de la corteza eléctrónica de los átomos, así como su significado químico. Me parecio un milagro e incluso me parece un milagro aún hoy día. Es la forma más alta de musicalidad en la esfera del pensamiento".
>
> A. Einstein, Philosopher - Scientist

El avance de las escuelas de Teoría Atómica

El átomo de Bohr precedió a la primera guerra mundial sólo en unos meses. Por entonces, Bohr tenía un trabajo bastante insatisfactorio en Copenhague, por lo que, en 1916, se fue a trabajar con Rutherford a Manchester y allí permaneció hasta 1919 en que fue reclamado por el gobierno danés que le ofreció un puesto de profesor de Física Teórica. Después de la guerra se construyó un Instituto para ponerlo bajo su dirección donde Bohr además vivía. Más tarde, en 1932, el físico danés y su familia ocuparon la "Casa de Honor", un edificio de corte neoclásico construido en la mejor zona de Copenhague. Ambos lugares se convirtieron en el foro más importante de aquellos años. Muchos científicos, de los más sobresalientes de este siglo, pasaron por allí con becas de importe y duración variadas a formarse a la sombra de Bohr, o fueron invitados a solemnes sesiones científicas y siempre a entrar en contacto con una gran familia.

Muchas de estas personalidades procedían de otras tres escuelas centroeuropeas que hicieron aportaciones complementarias al tema del átomo. Los de más solera se concentraban en Berlin, Munich y Gotinga.

En 1900, el famoso físico alemán Max Planck, establecido como profesor en Berlín, desde 1889, formuló la teoría de los cuantos. Alrededor de Planck se fue creando una escuela científica que celebraba frecuentes coloquios por donde pasaban las figuras más notables de la Química, la Física y la Astrofísica del momento.

En 1919, se incorpora al grupo de Berlin Max Von Laue, que en 1912 había explicitado su teoría sobre el carácter electromagnético de los Rayos X. Por este trabajo recibió el Nobel de Física en 1914.

Desde 1906, coexistía en Munich, otro grupo, especializado en la Física Teórica, que crecía en torno a la personalidad de Sommerfeld. "Era entonces... uno de los profesores más brillantes de la Universidad, considerado como un amigo de la juventud" (en palabras de W. Heisenberg); "Tenía la habilidad de hacer surgir los genios como por encanto " (en expresión de Albert Einstein).

La principal contribución de Sommerfeld, fue la modificación del modelo de Bohr, permitiendo la inclusión de órbitas elípticas, así como la sólida formación de un conjunto de futuros investigadores que, a partir de 1922, se fueron disgregando atraidos por otros dos insignes físicos: Niels Bohr y Max Born, que, así mismo, crearon escuela.

Alrededor de Born en Gotínga, desde 1922 en que, a raiz de las conferencias de Bohr en esta ciudad empieza a polarizarse su interés en la teoría Cuántica, crece otro grupo que aglutina una nueva escuela científica y que concluye con la colaboración Born - Heisenberg - Pauli, que logra los resultados más brillantes de la naciente Teoría Atómica.

Max Born encabezaba una escuela de interpretación matemática, buscando más allá de lo que -como excelente matemático- hacía Sommerfeld. Su interés se dirigía hacia las raices filosóficas, en las que tanto ahondará así mismo, Wolfrand Pauli.

La actividad en torno al átomo crecía desde esos cuatro frentes.

El trabajo de Werner Heisenberg, joven investigador alemán llegó a demostrar cómo el comportamiento de los electrones se puede describir con rigor matemático y con la supervisión de Max Born y Pascual Jordan, desarrolló una teoría basada en la mecánica de matrices. Apenas apareció en escena esta teoría otra, también completa, lógica y autoconsistente, nació del trabajo de Louis de Broglie en París. De Broglie formuló la idea de que el comportamiento del electrón es tanto de partícula como de onda.

Erwin Schrödinger, un profesor de Física austriaco que trabajaba en Zurich, usando las matemáticas propia de las ondas, calculó los niveles de energía permisibles y publicó sus investigaciones paralelamente a las de Born y Heisenberg. Las ecuaciones de Schrödinger como modificadoras de la mecánica cuántica, eran similares a las que describen las ondas en la vida real: sobre la superficie de un océano, el sonido de las notas de un órgano o de las cuerdas de una guitarra. Su pensamiento le llevó a elimi-

nar los saltos cuánticos de un estado a otro. Para él las transiciones de un electrón eran similares al cambio en la vibración de una cuerda de violín de una nota a otra.

Formuló su famosa ecuación de la función de onda, que se corresponde con niveles de energía que no son fijos sino ámbitos del espacio donde hay probabilidad de encontrar los electrones.

Aunque la teoría de Schrödinger tuvo un éxito inmediato y muy superior a la de Born, porque el tipo de matemáticas empleadas era familiar a los físicos, más tarde se demostró que ambas propuestas eran matemáticamente equivalentes.

La dualidad onda-partícula para el electrón presentaba grandes dificultades al ser considerada en el conjunto del átomo (2). Schrödinger fue llamado a Copenhague después de difundirse sus artículos para discutir su propuesta con Bohr. Finalmente Bohr logró dar una explicación coherente con lo que se ha llamado el Principio de Complementariedad al decir que el electrón no es ni una partícula ni una onda sino que, en determinadas circunstancias, se comporta como si fuera una onda y, bajo otras, como si fuera una partícula (En palabras sencillas: la respuesta experimental que se obtiene de un electrón depende de cómo se le haga la pregunta). Esto quiere decir que, bajo ningún punto de vista, se puede plantear un experimento que ponga de manifiesto simultáneamente el comportamiento de un electrón como partícula y onda.

Max Born dió una posterior explicación a la propuesta de Schrödinger. Las partículas, siguiendo este modelo, son reales, pero están guiadas por la función de onda y la fuerza de la onda (o sea el valor de ψ^2), en cualquier lugar del espacio, es una medida de la probabilidad de encontrar a la partícula en un punto determinado.

En estas ideas se trabajó en el Instituto de Copenhague al final del año 1926. Dado el doble carácter de partícula y onda que tiene el electrón, se llega a la conclusión de que es imposible definir a la vez la "posición" de una partícula con el

---

(2) Heisenberg, en 1927, constató experimentalmente, en el nivel eléctrónico, o sea subatómico, que la incertidumbre es inherente a la Mecánica Cuántica

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

"momento" (característico de la misma) o la longitud de una onda y su frecuencia de vibración, y mientras más exactamente se haga una medida de la primera, con menos exactitud se logra una medida de la segunda. No se trata de un fallo experimental, sino de una característica del mundo físico.

Los físicos se refieren a este conjunto de ideas-incertidumbres, complementariedad, probabilidad y perturbación del sistema por parte del observador, dándoles el nombre de "Interpretación de Copenhague" de la Mecánica Cuántica en tributo a Bohr por su interés de cohesionar las variadas interpretaciones que, derivadas de su modelo, fueron dando luz sobre el problema del átomo.

La huella de Bohr en sus discípulos. Algunos testimonios.

El modo singular que tuvo Bohr de hacer Ciencia fue lo que sus colaboradores llamaron "pensar en alto": Siendo extremadamente perfeccionista para lo escrito y estando dotado de una mente singularmente profunda, los borradores, gérmenes de sus artículos, se sucedían unos a otros con nuevos añadidos de ideas sin llegar al proceso final. Sin embargo, cuidó sobremanera la elaboración del pensamiento, despertando la agudeza de las jóvenes generaciones o suscitando interés por cuestiones vulgares relacionadas con el mundo físico. A todo ello se asomaba con hondura filosófica a través de largas pausas, esperando la llegada de la palabra justa. Su espacio de trabajo, el familiar, su propia persona, fueron plataforma de diálogo. Se preocupó del intercambio en la comunidad científica internacional, dejó que su propio modelo atómico fuera sobrepasado y recapituló, asumiendolo, todo lo nacido en pos de él. Pero sobre todo, le interesó formar a los jóvenes investigadores, preparar el futuro de la Física con algo más que Ciencia, es decir, con el interés cruzado persona a persona.

(De Werner Heisenberg):

"Bohr era ante todo filósofo, más que físico, pero sabía que en nuestro tiempo la filosofía pura sólo tiene valor cuando se acrisola en todos sus detalles a través de los

implacables criterios de la experimentación".

W. Heisenberg, "Más allá de la Física"

(De Paul Dirac):

"Frecuentemente era yo su compañero durante el proceso de 'pensar en alto'. Admiraba mucho a Bohr; me parecía el pensador más profundo con el que yo me había encontrado. Sus pensamientos eran de un tipo que yo calificaría de bastante filosófico. No los entendía del todo aunque luchaba tan fuertemente como podía por entenderlo. Mi propia línea de pensar consistía en dar énfasis a las ideas que se podían expresar en forma de ecuaciones y muchos de los pensamientos de Bohr eran de un carácter más general y bastante lejanos a las matemáticas. Pero, aún así, yo era muy feliz de tener este íntimo contacto con Bohr como he mencionado antes, y no logro darme cuenta hasta que punto todos estos contactos con Bohr influyeron en mi propio trabajo.

P. Dirac, Proc. of The Intl. School of Physics, "Enrico Fermi", vol.57

(De Werner Heisenberg):

"La primera impresión que me produjo Bohr, como persona, sigue aún grabada en mi memoria. De pie, allí en el podio de la sala de conferencias, en la que entraba a raudales por las ventanas abiertas de par en par toda la luz del verano de Gotinga, se hallaba el físico danés lleno de ardor juvenil, aunque un tanto confuso y tímido, con la cabeza ligeramente ladeada. Sus frases llegaban al auditorio un tanto entrecortadas y en tono bajo, pero, tras cada una de aquellas palabras escogidas, se traslucia una larga cadena de pensamientos, que se adentraban muy hondo por los recovecos de una filosofía para mi sumamente excitante.

W. Heisenberg, "Más allá de la Física".

(De Otto R. Frisch):

"Tuvo que ser por entonces cuando Niels Bohr vino a visitar a Blackett. Yo le conocía, naturalmente, de Copenhague, pero en Londres era tanta la gente que asediaba a Bohr que apenas intercambiamos cuatro palabras. Es probable que Blackett le dijera que mi beca expiraba en octubre y le convenciera de que yo sería útil en Copenhague pero son puras cábalas; lo único que se es que Bohr vino a hablar conmigo; me cogió por uno de los botones de la chaqueta y me dijo: 'Tiene usted que venir a Copenhague a trabajar con nosotros. Nos gusta la gente que realmente sabe hacer experimentos mentales'. Se refería al último experimento que hice en Hamburgo cuando trabajaba con Stern, porque anteriormente había sido estudiado como si sólo fuerse posible realizarlo en la mente. Huelga decir lo ufano que estaba yo con la visita de Bohr, con su amable comentario y ese rostro suyo inmensamente impresionante pero benevolente; así que escribí a mi madre: 'Ya no tienes que preocuparte por mi. Dios todopoderoso en persona me ha cogido por el botón de la chaqueta y me ha dispensado palabras amables'".

Otto R. Frisch, "Recuerdos de un Físico Nuclear".

(De Werner Heisenberg)

"Mi visita a Copenhague coincidió, si mal no recuerdo, con las vacaciones de Navidad de año 1924. Mi primera visita al Instituto y al círculo de los jóvenes que se agrupaban junto a Bohr me produjo en los primeros días una fuerte depresión. Estos jóvenes físicos, que procedían de distintos países del mundo, eran muy superiores a mí. La mayoría dominaba varios idiomas, en tanto que yo no era capaz de expresarme sensatamente ni en uno solo; ellos sabían desenvolverse con madurez y cultura en el mundo exterior, conocían la cultura y la poesía de otros pueblos, tocaban instrumentos musicales con gran competencia y, sobre todo, entendían de física atómica mucho más que yo. Difícilmente podría yo encajar en este

círculo. Pero, a pesar de todo, pronto surgieron relaciones amistosas. Recuerdo en especial el primer coloquio con el noruego Kramer, el norteamericano Urey y el noruego Rosseland. Todos parecían conocer y estimar sobremanera a Bohr y, llenos de optimismo, confiaban en el desarrollo de su teoría."

"Hasta el curso de invierno de 1924-25 no pude ir de nuevo a Copenhague... Desde el primer día se estableció una estrecha colaboración científica entre Bohr, Kramer, su más directo colaborador y yo. Las conversaciones entre los dos, o entre los tres, llegaron a convertirse en algo establecido y para mi eran lo más importante de cada día, más importante incluso que las lecciones de clase o seminarios".

"La acogedora casa que Bohr poseía en Tisvilde jugaba un destacado papel en toda la actividad científica. A menudo pasé allí varios días en compañía de su familia. Juntos jugábamos a través del monte camino de la playa disfrutando, desde las dunas arenosas llenas de arbolado, de la vista que ofrecía el Báltico con su color azul claro y los vetustos veleros que aún hacían su ruta; otras veces nos adentrábamos en el mar nadando grandes distancias... Con frecuencia venían visitas de Copenhague o del extranjero y volvían a renacer las conversaciones científicas sobre las dificultades, que tanto nos preocupaban, de la teoría atómica. Unas veces exponíamos cada uno nuestras opiniones; otras, comentábamos los nuevos resultados experimentales".

W. Heisenberg, "Más allá de la Física"

La actividad de Bohr jugó un rol importante en el desarrollo de la Mecánica Cuántica, no solamente por medio de su investigación personal sino también a través de su inquietud y espíritu crítico que cultivó en su Instituto y a través de su hospitalidad hacia los jóvenes físicos teóricos de todos los países; asimismo, sus frecuentes desplazamientos contribuyeron a la difusión de las nuevas ideas que no sólo conocía, sino que recreaba.

Con la llegada del nazismo se convirtió en uno de los más activos rescatadores de científicos. Más tarde, contribuyó con sus ideas al desarrollo de la Física Nuclear, en general, así como a la difusión del logro de la fisión nuclear.

Durante la segunda guerra mundial sufrió varias aventuras. Al ser ocupada Dinamarca estuvo a punto de ser apresado por los nazis y tuvo que huir a Suecia de noche en un pequeño bote arriesgando su vida. Después pasó a Inglaterra en un pequeño avión donde pudo morir por falta de oxígeno. De allí a los EE UU, donde participó en la experiencia de Los Alamos, invitado en secreto como otros tantos científicos europeos.

Bohr vivió sus últimos años profundamente afectado por las consecuencias de las armas atómicas y trató de interceder ante el Presidente Roosevelt y Churchill acerca de la carrera de armamentos. Al mismo tiempo soñaba en las aplicaciones de la energía atómica en beneficio de la humanidad. Sus pensamientos al respecto los expresó en una carta abierta a las Naciones Unidas en 1950. En 1956, por su iniciativa, se celebró la primera conferencia de "Atomos para la paz" y, en 1950, recibió el premio del mismo título. Unos años más tarde, el 18 de noviembre de 1962, falleció repentinamente.

Su recuerdo, en este primer Centenario, evoca las palabras que un día le dedicara Albert Einstein:

> "No me ha sido frecuente en la vida que una persona, con su mera presencia, me haya dado tanta alegría como tu. ...Ahora que estoy leyendo tus grandes artículos, cuando me atasco en alguna cosa, tengo el placer de ver tu rostro jovial delante de mi, riendo y explicándomelo".
>
> A. Einstein, Bohr, Collected Works, Vol.3.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

*Niels Bohr cuando era niño.

*Una fotografía de Bohr hacia los años veinte.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

*Margrethe Norlund y Niels Bohr en la época del anuncio de su compromiso matrimonial.

*Con Marx Planck en 1930 durante una visita del famoso físico al Instituto Niels Bohr en Copenhague.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

*Niels Bohr trabajando en su despacho.

*Bohr era un continuo fumador de pipa y usaba cajas grandes de cerillas para mantenerla encendida. Esto era algo característico suyo.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

*Margrethe y Niels Bohr al pie de la escalera de su casa (arriba) y en el jardín de su casa de campo en Tisvilde (abajo).

*Niels Bohr con uno de sus nietos.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

BIBLIOGRAFIA

FRISCH, O.R.: De la fisión del átomo a la bomba de hidrógeno. Recuerdos de un físico nuclear, Alianza, Libro de Bolsillo, 1982.

GRIBBIN, J.: "The quantum cookbook" en New Scientist, 10 October 1985.

GRIBBIN, J.: "Niels Bohr" en El Correo de la Unesco, Abril, 1985

HEISENBERG, W.: Más allá de la Física, BAC, nº 370, Madrid, 1974

HEISENBERG, W.: Diálogos sobre la Física atómica, BAC, nº 340, Madrid, 1975.

HEISENBERG, W.: Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos, Alianza, Libro de Bolsillo, 1977.

KRAGH, H.: "Chemical Aspects of Bohr's 1913 Theory" en Journal of Chemical Education, Vol. 54, 4, April, 1977.

KELLER, A.: The Infancy of the Atomic Physics, Oxford, 1983

McCREA,W.: "How quantum physics come to Cambrigde" en New Scientist 17, october, 1985.

McKAY, A.: The Making of the Atomic Age, Oxford University Press, Oxford,1984.

McKENZIE, A.E.E.: The Major Achievements of Science, vol. I. and II Cambrigde University Press, Cambrigde, 1960.

MARCO, B.: Material Didáctico Historia de la Ciencia II. Documentos IEPS, IEPS, Madrid, 1984.

MARCO, B.: "Niels Bohr, entre los cánones clásicos y el pensamiento probabilista" en Crítica, nº 726, junio, 1985

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

MARCO, B. y otros: La perspectiva histórica en el aprendizaje de las Ciencias, Apuntes IEPS, nº 41, Narcea, Madrid, 1986.

MARKS, J.: Science and the Making of the Modern World, Heinemann, London, 1983

RUTHERFORD, F.J. y otros: Project Physics, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1975.

SANCHEZ RON, J.M.: "Niels Bohr: notas para un centenario" en El País, 8 de octubre de 1985

SEGRE, E.: From X-Rays to Quarks, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.

SIEVERS, D.R.: "Niels Bohr" en Journal of the Chemical Education, vol. 59, 4, April, 1982.

SMOLIN, L.: "What is quantum mechanics really about", New Scientist 24 October, 1985.

SNOW, C.P.: The Physicists. Macmillan, London, 1981

TEJADA, J. y otros: Historia del átomo, Promociones Publicaciones Universitarias. BArcelona, 1984.

WILSON, D.: Rutherford simple genius, Hodder and Stonghton, London, 1983.

ARBOR, Octubre, 1985.

Dep. Legal. M - 39396 - 1985

i.e.p.s.

instituto de estudios
pedagógicos somosaguas

Vizconde de Matamala 3, 1°
28028 MADRID