

LEIDEN: MÁS LECCIONES DE CIENCIA Y UNIVERSIDAD

“Tras unas décadas en las que los resultados de las ciencias en Leiden no hacían justicia a su pasado, dos jóvenes profesores van a ocupar sendas cátedras de Física, y a contribuir significativamente a cambiarla para siempre.”

**POR FERNANDO
BARTOLOMÉ**

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

En la primera parte de este relato¹ sobre la Historia de las Ciencias en la Universidad de Leiden, se puso de manifiesto cómo la apuesta decidida de los responsables académicos y políticos por una Universidad en la que la docencia y la investigación de excelencia pudiesen florecer sin obstáculos ideológicos, religiosos o administrativos dio lugar a algunos de los hitos de la Ciencia entre el siglo XV y el XVIII.

Tan solo un par de nubes amenazaban con esconder la “claridad luminosa” en que se había convertido la Física de finales del XIX. O al menos eso pensaba Lord Kelvin², quien demostró tener muy buena vista y, al tiempo, no tan buena. Identificó de maravilla las dos nubes

(la naturaleza del éter y la radiación del cuerpo negro) en su discurso “Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light” ante la Royal Institution en abril de 1900. Pero no vio que eran dos nubarrones muy negros y que las dos tormentas que provocaron se iban a cruzar muy pronto, a principios del S. XX. De hecho, las primeras gotas cayeron solo unos meses después de su discurso, con la hipótesis de Planck, el 14 de diciembre de ese mismo año 1900. La Física se dio la vuelta y las dos revoluciones (una por nube) inundaron no solo los patios de las facultades de Ciencias, sino que han acabado conformando la sociedad y la Historia. En este segundo artículo pretendo repasar brevemente el papel de la Universidad de Leiden en la Física de principios del S. XX,

tal vez menos conocido que el desarrollado en otros centros científicos de aquel tiempo, pero no menos brillante. Leiden recogió la cosecha de una siembra realizada durante siglos, basada en la adecuada selección de personal docente e investigador y una decidida apuesta por el trabajo bien hecho.

EL HIJO DEL CARPINTERO Y LA CÁTEDRA DE FÍSICA TEÓRICA

Desde mediados del S. XIX disponía la Universidad de Leiden de un Laboratorio de Ciencias, que ocupaba un moderno edificio frente a la rama sur del Rapenburg, uno de los canales por los que el “Viejo Rin” cruza la ciudad. De hecho, fue la tremenda explosión de un barco cargado con pólvora en el canal lo que “liberó” accidentalmente el solar en el que se instaló el Laboratorio. Se construyó un moderno edificio y un parque frente a él, dedicado a Van der Werf, el burgomaestre que lideró la resis-



tencia de la ciudad durante el sitio español que dio comienzo a nuestra historia. Tras unas décadas en las que los resultados de las ciencias en Leiden no hacían justicia a su pasado, dos jóvenes profesores van a ocupar sendas cátedras de Física, y a contribuir significativamente a cambiarla para siempre.

El primero de ellos, Hendrik Antoon Lorentz, había sido estudiante de Física y Matemáticas en Leiden. Tras su graduación, y mientras daba clases nocturnas de Matemáticas en su Arnhem natal, trabajó bajo la dirección de P. Rijke, catedrático de Física Experimental, en su tesis doctoral “Sobre la teoría de la reflexión y la refracción de la luz” que defendió en Leiden en 1875, a la edad de 22 años. Dos años después se crea en Leiden la cátedra de Física Teórica, que es ofrecida al anterior estudiante de Rijke, Johannes D. van der Waals, quien había leído su tesis en Leiden en 1873. Van der Waals era el mayor de los diez hijos de un carpintero de Leiden. Debido a la economía familiar, no cursó la educación secundaria conducente a la Universidad (cosas del XIX y tal vez del XXI). Su aventura académica estaba predestinada a terminar a los quince años. Solo su tesón y su genio hicieron de él un profesor de primaria a la edad de 24 años (poco más que un bachiller). Poco después se matriculó

Paul Ehrenfest (en el centro) con algunos de sus estudiantes y visitantes en Leiden en 1925 (de izda. a dcha.: G. H. Dieke, S. Goudsmit, J. Tinbergen, R. Kronig, y E. Fermi).

Imagen cedida por el autor.

“Desde mediados del S. XIX disponía la Universidad de Leiden de un Laboratorio de Ciencias.”



Heike Kamerlingh Onnes (dcha.) con el responsable técnico del laboratorio, Gerrit Flim, ante el licuador de helio.

Imagen cedida por el autor.



De izda. a dcha.: George Uhlenbeck, Hendrik Kramers y Samuel Goudsmit, hacia 1928 en la Universidad de Michigan (Ann Arbor, MI), donde Uhlenbeck fue profesor durante ocho años, antes de volver a Holanda por una temporada, para después asentarse en Boulder (Colorado) hasta el fin de su carrera.

Imagen cedida por el autor.

en Física y Matemáticas en Leiden, aunque la falta de Latín y Griego clásicos en su currículum, entonces obligatorios, le impidió matricularse al ritmo normal necesitando dispensas en cada curso. A los 30, tras años de compaginar estudio y trabajo docente, consiguió su graduación y una posición de profesor de Física en un instituto de secundaria en La Haya. Vivía lo suficientemente cerca de Leiden como para plantearse preparar los exámenes de ingreso en los estudios de doctorado. La suerte se alió con él: el Ministerio de Educación cambió las reglas de admisión al doctorado y las lenguas clásicas dejaron de ser condición indispensable para el doctorado en Holanda. Con casi 36 años, van der Waals defendió su tesis "Sobre la con-

tinuidad de los estados líquido y gaseoso" bajo la supervisión de Rijke. Su tesis fue reconocida desde un principio como un trabajo fundamental en Termodinámica: el propio J. C. Maxwell la reseñó en Nature en los términos más elogiosos, animando a aprender holandés para leerla³.

Como parece costumbre, el hijo del carpintero no fue profeta en su tierra, sino que optó por la cátedra de Física en la recién creada Universidad de Amsterdam, en la que se mantuvo hasta su jubilación en 1908, a los 70 años. Van der Waals recibió el Premio Nobel de Física de 1910 por su trabajo en la ecuación de estado de gases y líquidos, y tuvo una influencia capital en el desarrollo del Departamento de Física

en Leiden, no solo por la inspiración que su trabajo teórico ejerció en Heike Kamerlingh Onnes (el sucesor de Rijke) sino por el hueco que dejó al elegir Amsterdam, que fue ocupado por Lorentz con tan sólo 24 años.

En 1878, Lorentz dio su lección inaugural como primer catedrático de Física Teórica de la Universidad de Leiden, "Las teorías moleculares en la Física". Ocupó ese cargo hasta 1912, en que con 58 años aceptó el puesto de conservador del Gabinete de Física del Museo Teylers en Haarlem, una pequeña ciudad cercana a Leiden. Esta modesta ocupación le permitió seguir investigando sin más encargo docente en Leiden que una clase semanal, cada lunes por la mañana. Mantuvo esa doble vinculación hasta su muerte a los 74 años.

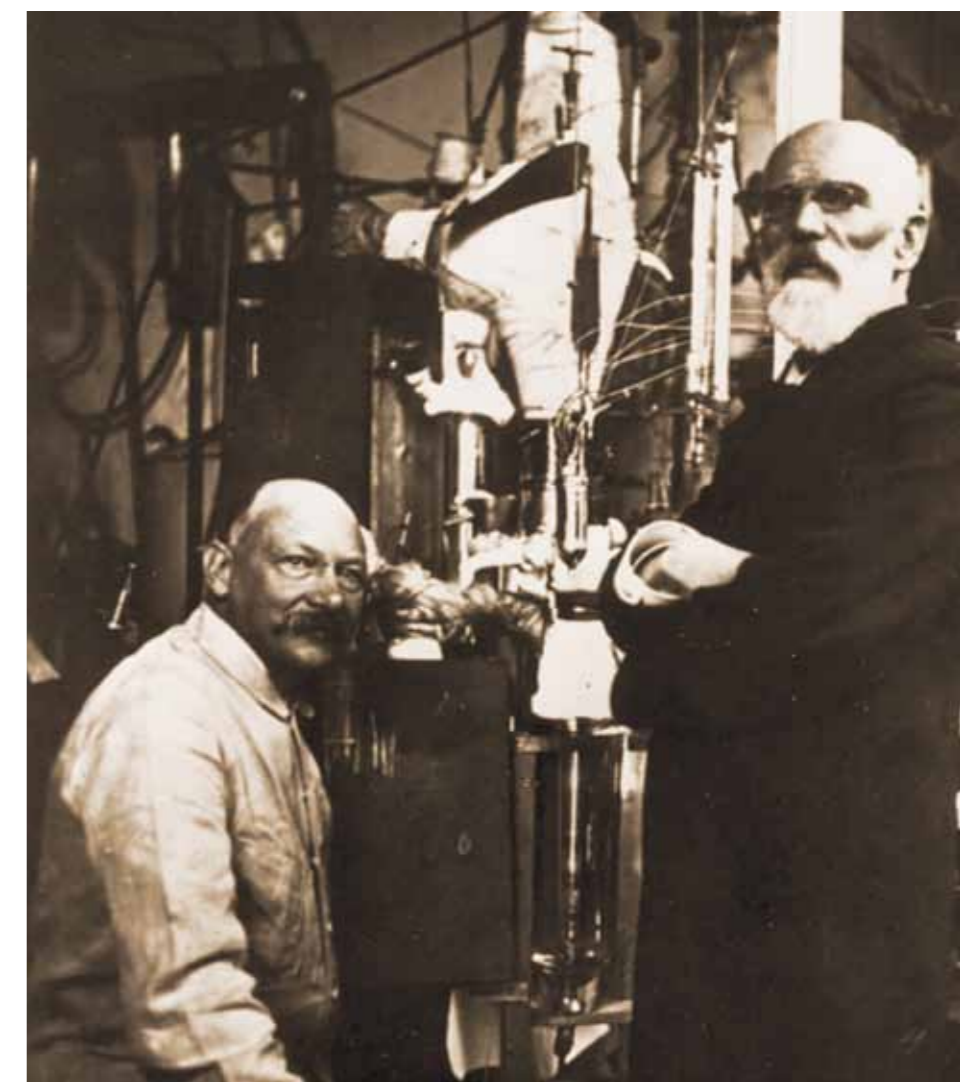
TRANSFORMACIONES, ELECTRONES Y MAREAS

La obra de Lorentz fue un programa centrado en completar y aplicar la Electrodinámica Clásica. Por una parte, Lorentz formuló en una expresión la fuerza que los campos eléctricos y magnéticos ejercen sobre una carga en movimiento, aunando y corrigiendo las contribuciones de Heaviside y FitzGerald. La fuerza de Lorentz establece la relación dinámica entre campos y materia. Pudo desde allí formular una "óptica de los cuerpos cargados en movimiento", lo que le exigió una descripción apropiada del éter, que Lorentz postuló totalmente inmóvil. Para describir los resultados del experimento de Michelson y Morley, Lorentz se ve forzado a introducir la hipótesis de la contracción de la longitud de los objetos en la direc-

"Van der Waals defendió su tesis *Sobre la continuidad de los estados líquido y gaseoso* bajo la supervisión de Rijke. Su tesis fue reconocida desde un principio como un trabajo fundamental en Termodinámica."

.....
Heike Kamerlingh Onnes y Johannes van der Waals junto al licuador de helio en Leiden.

Imagen cedida por el autor.



Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

ción del movimiento en 1892, llegando a una expresión cuantitativa. Además de la contracción de la longitud de los cuerpos (que podría entenderse como un efecto del movimiento en las distancias de enlace químico) Lorentz introduce el "tiempo local", destronando el tiempo Newtoniano universal e independiente del estado de movimiento de los cuerpos. Con todo ello, Poincaré formula las transformaciones de coordenadas en la forma que conocemos hoy y les da el nombre "de Lorentz". A ambos les falta únicamente dar el salto de achacar la contracción relativista al propio espacio y no a los cuerpos (lo que como es bien sabido hace Einstein en 1905).

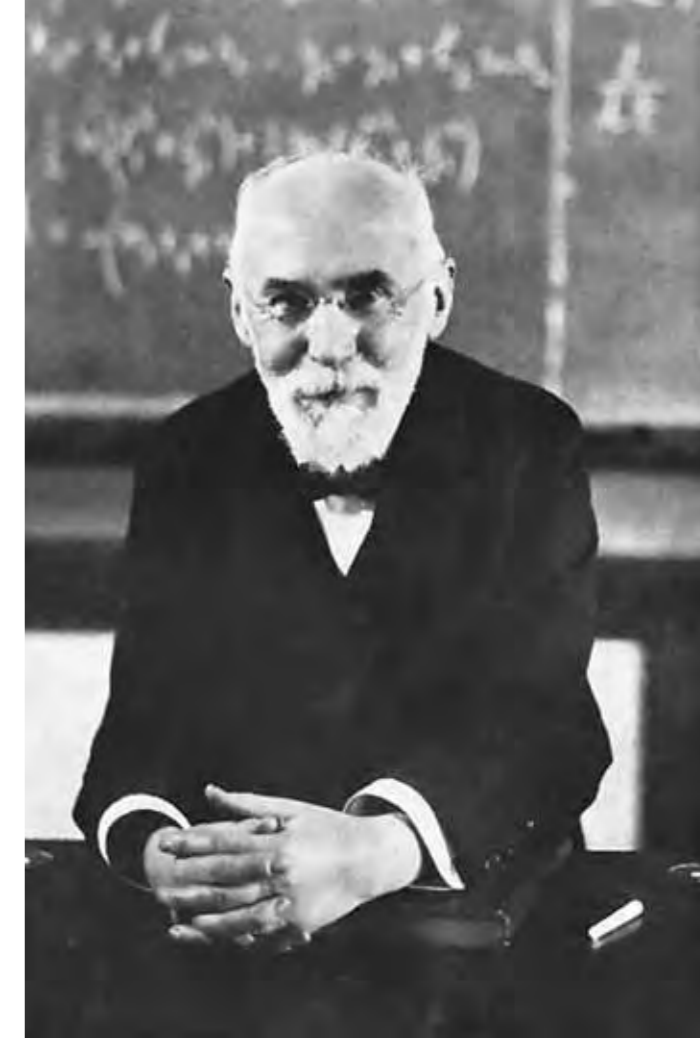
A lo largo de los años, Lorentz fue construyendo lo que él llamaba "la teoría de los electrones": la materia es un reservorio de electrones "qua-

si-libres" en torno a posiciones de equilibrio. La descripción del electrón, la partícula constituyente de los rayos catódicos que descubrió J. J. Thomson en 1897, le lleva a darse de bruces con una descripción clásica llena de problemas, que solo encontrarán un marco teórico satisfactorio en la Mecánica Cuántica. Es notable la hipótesis de Lorentz de que la masa del electrón pueda ser un efecto puramente electromagnético (preguntándose por la existencia o no de una componente "material" a la masa del electrón) lo que le lleva a plantear problemas que solo la Electrodinámica Cuántica resolverá medio siglo más tarde. Esta "teoría de los electrones" tuvo su gran éxito en la explicación de un experimento crucial: en 1896, uno de sus asistentes, el entonces *privaatdocent* Peter Zeeman, repetía por enésima vez un experimento que Faraday y él mismo habían inten-

tado múltiples veces sin éxito: observar cómo un campo magnético afectaba la luz emitida por llamas de diversos gases. Pero Zeeman utilizó esta vez un nuevo espectrómetro; un espejo cóncavo, grabado con más de 500 líneas por milímetro que el Laboratorio había comprado a H. Rowland, de la U. Johns Hopkins en Baltimore. El nuevo espectrómetro le permitió observar y cuantificar el desdoblamiento bajo campo magnético de cada línea de emisión en dos o tres líneas espectrales (dependiendo de la dirección del campo con respecto a la de propagación de la luz emitida).

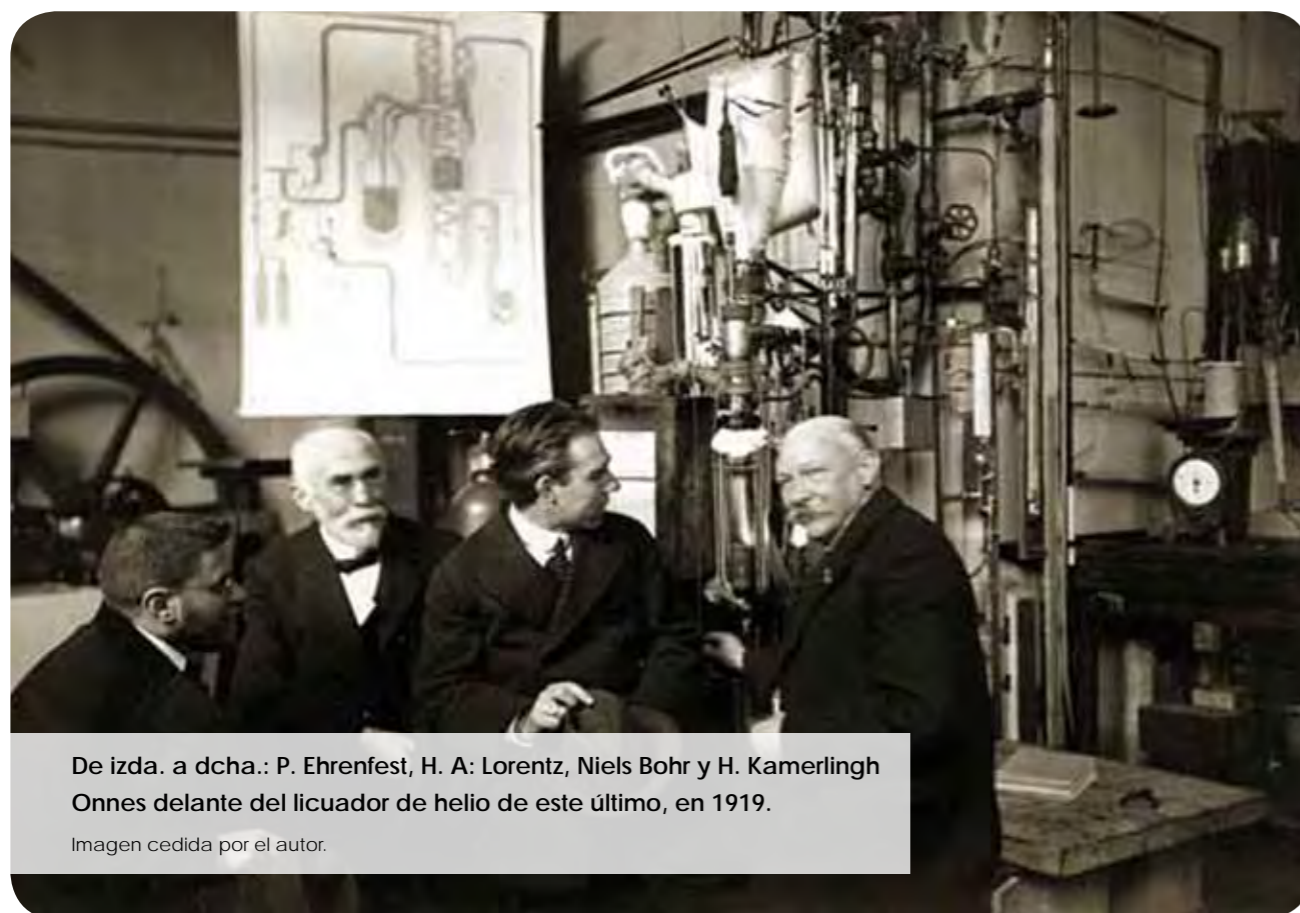
La "teoría de los electrones" de Lorentz explicaba clásicamente el efecto, basándose en la acción del campo magnético sobre los "electrones oscilantes" de la fuente, que en su modelo eran el origen de la emisión. La relación entre la dirección del campo y la polarización de la emisión concordaba con sus predicciones. Lorentz propuso realizar el experimento inverso, de absorción, y el resultado coincidió también magníficamente con la predicción teórica. La importancia del descubrimiento era enorme: demostró la naturaleza negativa de la carga del electrón y su relación carga/masa, inesperadamente alta frente a la del ion hidrógeno. Lorentz y Zeeman recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Física en 1902 por este trabajo. Experimentos posteriores pusieron de manifiesto el "efecto Zeeman anómalo" cuya explicación completa no sería posible hasta el desarrollo de la Mecánica Cuántica. En cierto modo, Zeeman y Lorentz tuvieron suerte de experimentar con una llama de sodio, un caso relativamente simple que admitía un tratamiento clásico. En 1906, Lorentz impartió unas lecciones en la Universidad de Columbia, de las cuales hay una copia disponible *online*⁴, en las que da una detallada explicación del efecto Zeeman en el marco de su modelo precuántico.

Lorentz nunca esquivó los problemas prácticos. En particular, es muy reconocida en Holanda su participación en el diseño del dique (Afsluitdijk) de 30 km de largo que transformó un mar abierto (el Zuiderzee, que no es sino Mar del Norte)



H. A. Lorentz (1853-1928).

Imagen cedida por el autor.



De izda. a dcha.: P. Ehrenfest, H. A. Lorentz, Niels Bohr y H. Kamerlingh Onnes delante del licuador de helio de este último, en 1919.

Imagen cedida por el autor.

“A lo largo de los años, Lorentz fue construyendo lo que él llamaba *la teoría de los electrones*: la materia es un reservorio de electrones *quasi-libres* en torno a posiciones de equilibrio.”

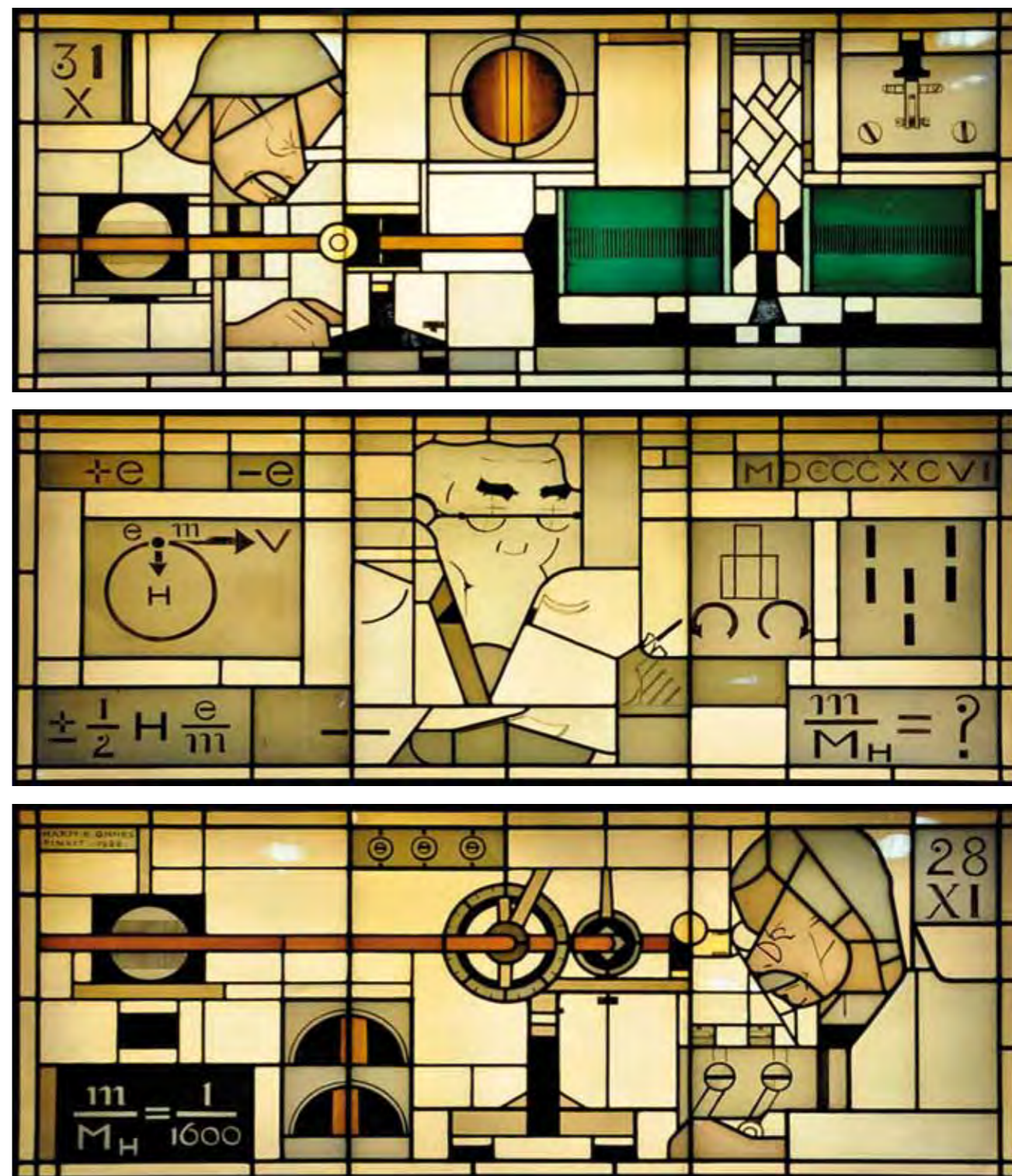
en un lago cerrado (el IJsselmeer). El objetivo fundamental era proteger las zonas habitadas de grandes inundaciones esporádicas, aunque el Afsluitdijk también ha facilitado ganar más terreno al mar. Sin embargo, construir el dique conllevaría una variación en las alturas de las mareas a lo largo de la cercana costa de Frisia. Era imperativo calcular no solo la altura del nuevo Afsluitdijk, sino también cuánto había que elevar los diques preexistentes para mantener la seguridad de pueblos y ciudades. En 1918, se nombró un comité nacional, con Lorentz a la cabeza, para calcular las nuevas alturas máximas esperables en pleamar a lo largo de la costa. La ingeniería hidráulica era básicamente empírica y, como las perturbaciones en los flujos podían ser enormes, los métodos basados en pequeñas perturbaciones no eran aplicables (las estimaciones variaban ¡de 15 cm a 4 m!). Lorentz introdujo un nuevo método: aproximó el flujo de agua en las costas holandesas del Mar del Norte con un modelo unidimensional de canales interconectados (un "grafo"), que se resolvió mediante técnicas numéricas (y "computadores humanos"). Lorentz y su comisión trabajaron durante ocho años en los cálculos, entregando un informe final en 1926. El Afsluitdijk se acabó de construir en 1933 y las predicciones del comité Lorentz resultaron ser de gran precisión. Lorentz murió en 1928, así que no vivió para ver este último éxito de su trabajo. Durante su funeral, los servicios telegráficos y telefónicos de Holanda se suspendieron durante tres minutos "en homenaje al hombre más grande que Holanda ha producido en nuestro tiempo".

"(Kamerlingh Onnes) Estaba dotado de un gran talento organizativo, un carácter persuasivo y una voluntad de hierro, virtudes que fueron la clave de su éxito."

DOOR METEN TOT WETEN (POR LA MEDIDA AL CONOCIMIENTO)

La cátedra de Física Experimental de Rijke fue ocupada por Heike Kamerlingh Onnes. A sus 29 años, había estudiado Química en Groningen, para después trabajar un año en Química con Bunsen y otro en Física con Kirchhoff. Parece que la aversión por la teoría y las Matemáticas de Bunsen le empujaron a abrazar la Física. Estaba dotado de un gran talento organizativo, un carácter persuasivo y una voluntad de hierro, virtudes que fueron la clave de su éxito. En 1882, cuando llega a Leiden, tiene claro su programa científico: verificar experimentalmente la teoría molecular de líquidos y gases de su admirado van der Waals. Nótese que la misma existencia de las moléculas no era aceptada por todo el mundo en aquel entonces. El Laboratorio que se encontró era una institución que estaba muy lejos de permitirle plantearse este objetivo, así que Kamerlingh Onnes hubo de reorganizarlo desde el principio. En sus primeros años en Leiden, consigue abundante financiación, amplía notablemente el edificio y facilita el traslado de administrativos y de sus colegas de otras ramas científicas a otras dependencias, de modo que puede planificar a lo grande. Funda la famosa "Escuela de constructores de instrumentos de Leiden" (LIS, que todavía funciona) como parte del Laboratorio. Unos años después, la escuela le procurará los mejores mecánicos y sopladores de vidrio del momento. Con esos mimbres, Kamerlingh Onnes pone en marcha el laboratorio criogénico de Leiden, que llegó a ser, durante muchos años del S. XX, el rincón más frío del planeta. Durante sus diez primeros años en Leiden, Kamerlingh Onnes no publicó ni un solo artículo.

Para verificar las teorías de van der Waals, Onnes se centró en gases simples: oxígeno e hidrógeno. En 1889 instaló una cadena de refrigeradores de ciclo cerrado de tamaño casi industrial, de modo que



La pared del laboratorio donde se descubrió el efecto Zeeman se decoró con estas cristaleras conmemorativas, en las que se puede ver a Zeeman haciendo los dos experimentos (el de emisión el 31 de octubre y el de absorción el 28 de noviembre) y a Lorentz calculando entre ambos. Nótese la firma de Harm Kamerlingh Onnes, afamado artista holandés y sobrino del científico.

Imagen cedida por el autor.

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

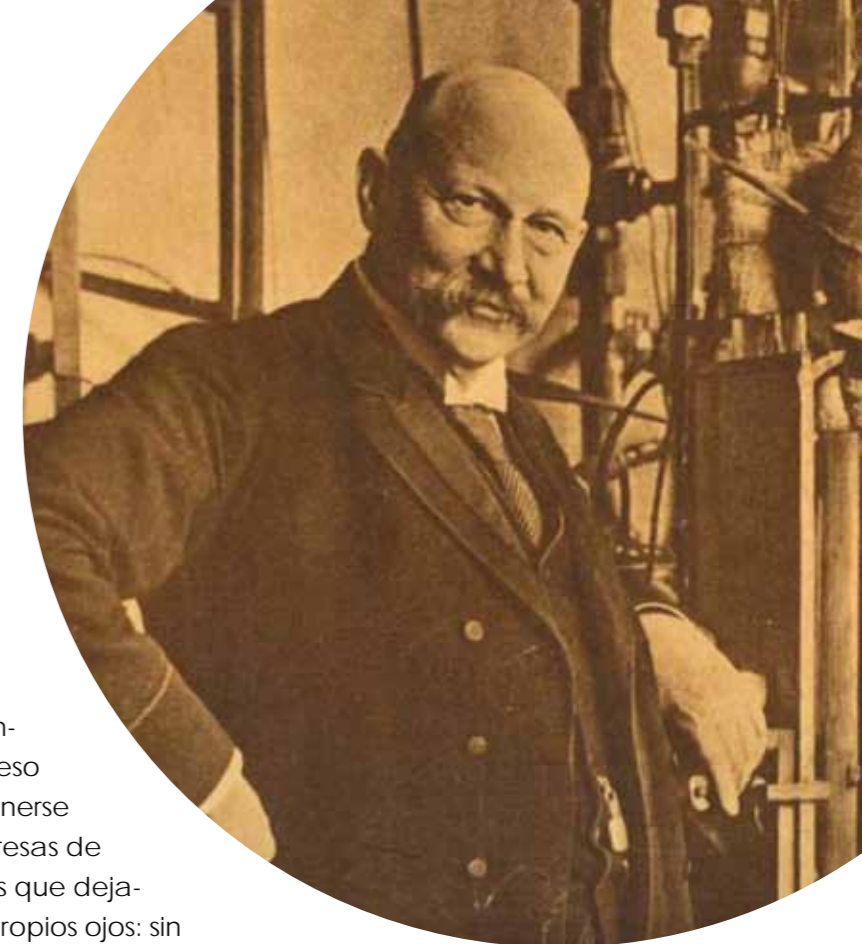
la temperatura de ebullición del gas licuado en la etapa previa era la temperatura inicial de la siguiente. En 1892 fue capaz de licuar las primeras gotas de oxígeno (-183 °C), usando clorometano (-90 °C) y etileno (-145 °C) como pasos intermedios. En 1894 se licuaban litros por hora de oxígeno, pudiendo usar un gran volumen del mismo como foco frío para el siguiente paso; el hidrógeno (-253 °C). Ese salto no se podía alcanzar con un ciclo de compresión-expansión puesto que la mínima temperatura alcanzable reduciendo la presión del oxígeno líquido está 20 grados por encima de la temperatura crítica del hidrógeno. Para salvar esta dificultad, Kamerlingh Onnes echó mano del efecto Joule-Thomson, haciendo pasar hidrógeno gas previamente enfriado con O₂ líquido por un estrangulamiento a entalpía constante, lo que le permitió licuarlo. Las temperaturas críticas y los volúmenes necesarios en cada etapa se calculaban a priori gracias a la ley de estados correspondientes de van der Waals, eligiendo los gases y optimizando el diseño de los

licuadores de acuerdo a los cálculos. Aunque Dewar, en la Royal Institution, ganó la carrera por ser el primero en licuar H₂ (1898), nunca consiguió volúmenes suficientes para encarar con garantías el siguiente reto: la licuefacción del helio. El equipo de Leiden necesitó largos años para afianzar su método, pero en 1906 lograron licuar litros de H₂ por hora. Eso fue el trampolín que permitió licuar helio, usando de nuevo Joule-Thomson con H₂ líquido como reservorio térmico inicial: el 10 de julio de 1908 se obtuvieron las primeras gotas de helio, cuya temperatura de ebullición, 4.2 K solo era un poco más baja que la predicción de la teoría de van der Waals. Reduciendo la presión mediante una bomba de vacío, la temperatura del líquido bajó hasta 1.8 K, aunque curiosamente, el helio no se solidificó.

Aquello fue un hito internacional. Se abrió un nuevo mundo de bajas temperaturas, un territorio inexplorado de frío extremo, lleno de sorpresas. El camino estaba trazado para el

descubrimiento de la superconductividad, que siguió en 1911. Durante años, Leiden fue el lugar más frío en la Tierra. El Laboratorio de Física fue el único instituto en licuar helio hasta 1923, a pesar de que Kamerlingh Onnes publicó cada detalle de su método. ¿Cómo se puede entender? En 1922 uno de sus ayudantes decía: "La victoria debe atribuirse al diseño meticuloso de cada componente, sin saltarse ni un paso y en progreso constante en el camino elegido, sin detenerse a "probar cosas" por el camino". Las sorpresas de la Física de bajas temperaturas eran tantas que dejaron pasar algunas, aún viéndolas con sus propios ojos: sin duda, la superfluidez del helio fue provocada el mismo día en que licuaron helio por primera vez, puesto que bajaron sobradamente de 2.17K, pero aunque la transición es visualmente bastante escandalosa, si no mides la capacidad calorífica del helio no es trivial identificarla como una transición de fase, de origen fundamentalmente cuántico.

En 1911 Kamerlingh Onnes y su estudiante de doctorado Gilles Holst estaban estudiando la resistividad de los metales a baja temperatura para dilucidar qué modelo de comportamiento de los electrones en metales era correcto de los tres en disputa en aquel momento: uno de osciladores cuánticos *à la Einstein*, otro debido a dispersión con impurezas, o un tercero, de Lord Kelvin, que predecía un aumento al infinito de la resistividad conforme la temperatura se acercase al cero absoluto, por recombinación de los electrones de la nube metálica con los átomos constituyentes. Tras observar que la resistividad del oro parecía dominada por impurezas, eligieron un metal que se podía purificar mejor que el oro: el mercurio. El 8 de abril de 1911, Onnes y Holst observaron que la resistencia de un cable de Hg sólido se anulaba a una temperatura de aproximadamente 4 K. En un principio atribuyeron el hecho a un cortocircuito pero incluso con las conexiones invertidas, el cortocircuito se reparaba solo, de modo reproducible, cada vez que la temperatura del baño se elevaba por encima de 4,2 K. Holst mejoró la técnica de medida de resistividad en 3 órdenes de



Heike Kamerlingh Onnes junto al licuador, tras recibir el Premio Nobel.

Imagen cedida por el autor.

“Aquello fue un hito internacional. Se abrió un nuevo mundo de bajas temperaturas, un territorio inexplorado de frío extremo, lleno de sorpresas. El camino estaba trazado para el descubrimiento de la superconductividad.”



Una imagen de la Escuela de Constructores de Instrumentos fundada por Kamerlingh Onnes.

Imagen cedida por el autor.



Einstein, profesor visitante en Leiden, y H. Kamerlingh Onnes.

Dibujo de Menso Kamerlingh Onnes, hermano del científico.

.....

“Ehrenfest hizo grandes aportaciones en Física, como la teoría de invariantes adiabáticos, sus trabajos en transiciones de fase, y el famoso Teorema de Ehrenfest.”

magnitud, encontrando que la resistividad del mercurio a 3 K era menor que 10^{-7} veces su valor a temperatura ambiente. En el otoño de ese mismo año habían establecido que la caída de la resistencia en 4,2 K era demasiado abrupta como para ser explicada por el modelo de Einstein, adoptando el nombre de *superconductividad* para el nuevo fenómeno (nombre que se ha mantenido en francés, pero no en español ni en inglés, en los que ha prevalecido el prefijo *súper*-).

El resultado fue presentado por primera vez por Kamerlingh Onnes en la primera Conferencia Solvay, celebrada en Bruselas del 30 de octubre al 3 de noviembre de 1911. Como era su costumbre, firmaba él solo los trabajos de su laboratorio, sin coautores. Holst, aunque nunca consiguió su parte del crédito por el descubrimiento de la superconductividad, tuvo una

exitosa carrera en los laboratorios Philips en Eindhoven. En 1913 el mismo efecto se descubrió en estaño y plomo, a diferentes temperaturas críticas, y en 1914 lograron mantener una corriente persistente en una espira superconductora. La importancia del descubrimiento se hizo evidente en seguida, y aunque Kamerlingh Onnes recibió el Premio Nobel en 1913 sobre todo por sus investigaciones sobre el helio, Onnes subrayó la naturaleza inesperada y abrupta de la desaparición de la resistencia en su lección de aceptación del premio. En 1913 ya estaba establecido que el fenómeno se producía también en plomo y estaño, pero no en oro o platino. En 1914, había “peregrinaciones” a Leiden para observar una corriente persistente en un aro de alambre superconductor, interactuando con una aguja de imán común. Sin embargo, otros acontecimientos que se produjeron en Europa en 1914 eclipsarían temporalmente el descubrimiento de la superconductividad.

Kamerlingh Onnes hizo verdad su lema, “por la medida al conocimiento”. Llegó a conseguir temperaturas aún más bajas reduciendo la presión de un recipiente con helio líquido con sumo cuidado, alcanzando $T_{\min} \approx 0.8$ K. En las décadas posteriores, su legado se hizo patente, gracias a que se rodeó siempre de los mejores y a que planificó muy bien lo que se proponía. Entre sus sucesores encontramos a Keesom, que fue el primero en solidificar helio, y a de Haas (famoso por el efecto de Haas-van Alphen). Las décadas posteriores vieron llegar a grandes científicos (Jos de Jongh, Giorgio Frossati, entre otros) que siguieron manteniendo a Leiden en la vanguardia de la Física de bajas temperaturas.

TÍO SÓCRATES

Con ocasión de su retiro a Haarlem en 1912, Lorentz había propuesto como su sucesor a Einstein, pero éste optó por Zurich. La cátedra fue finalmente ocupada por Paul Ehrenfest, un físico vienés de origen judío, cuya tesis doctoral fue dirigida por Boltzmann, a quien reverenciaba. Ehrenfest hizo grandes aportaciones en Física, como la teoría de invariantes adiabáticos, sus trabajos en transiciones de fase, y el famoso Teorema de Ehrenfest, que relaciona la variación temporal de un operador cuántico con el conmutador de dicho operador con el Hamiltoniano, y que permite recuperar en cierto modo la Física Clásica a partir de la Mecáni-



Jan Hendrik Oort con su telescopio, a mediados de S. XX.

Imagen cedida por el autor.

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

ca Cuántica. Ehrenfest, como Einstein, siempre tuvo objeciones epistemológicas con el carácter paradójico e “incomprensible” de la Mecánica Cuántica que, en su caso, llegaron a afectarle gravemente.

Ehrenfest tenía un temperamento inquieto, y le gustaba debatir, casi con un enfoque socrático, tanto los temas científicos como los no científicos. Sorprendido por la ausencia de seminarios en el Laboratorio de Leiden que reuniesen a estudiantes, profesores e investigadores, instauró un coloquio, que se mantiene hasta hoy en día. El renombre de Leiden hizo que por allí pasasen (y que sigan pasando) grandes científicos. Los Colloquium Ehrenfestii tienen lugar uno o dos miércoles de cada mes, a las 19:30 h., después de una cena a la que debe apuntarse todo el que quiera asistir a la charla, según una tradición impuesta por el propio Ehrenfest. Los conferenciantes eran invitados a firmar en una pared del laboratorio, en la que, tras casi cien años, han firmado la mayoría de los grandes físicos del S. XX, y del XXI. Cuando el Laboratorio se trasladó del antiguo edificio al actual, más moderno y espacioso, el muro fue trasladado con extremo cuidado. Se puede explorar en internet con cierto detalle⁵.

Además, Ehrenfest era un gran profesor. Einstein dijo de él: “No solo era el mejor profesor en nuestra profesión que yo haya conocido, también estaba apasionadamente preocupado por el desarrollo y el destino de las personas, y muy especialmente de sus estudiantes”. La lista de sus discípulos es impresionante, e incluye entre otros a Kramers (famoso por el teorema que lleva su nombre, por la relación de Kramers-Kronig, por la fórmula de dispersión de Kramers-Heisenberg, el método de aproximación WKB, y un largo etc.), Casimir (conocido por el efecto que lleva su nombre y el modelo de dos fluidos en superconductividad), Kuiper (que da nombre al cinturón de asteroides) y J. Tinbergen,

quien aplicó los métodos de la Física Teórica en Economía y estableció el primer modelo macroeconómico cuantitativo siendo el pionero de la Econometría, por lo que recibió el primer premio Nobel de Economía en 1969. Mención aparte merecen Uhlenbeck y Goudsmit, quienes siendo aún sus estudiantes de doctorado propusieron, para explicar la estructura de los espectros atómicos de absorción y emisión, que el electrón tenía un cuarto grado de libertad: el electrón rotaba sobre sí mismo, y esa rotación le confería un momento angular de medio magnetón de Bohr. Juntos escribieron un artículo con su hipótesis y se lo pasaron a Ehrenfest para recabar su opinión ante esa “idea loca”. Uhlenbeck pensó que Lorentz estaría interesado en un electrón girando sobre su eje, y decidió enseñarle también el manuscrito. Inmediatamente, Lorentz calculó que ese electrón rotatorio (necesariamente no puntual) era inestable, su autoenergía generaba problemas irresolubles y por tanto, la hipótesis no podía ser cierta. Uhlenbeck se apresuró a decirle a Ehrenfest y Goudsmit que no podían enviar el artículo porque todo estaba mal. ¡Pero Ehrenfest ya lo había enviado! “*Sois muy jóvenes y no tenéis una reputación que mantener, así que os podéis permitir un error*”. Los recuerdos de Goudsmit⁶ y Uhlenbeck⁷ acerca de todo el asunto son de deliciosa lectura. Ehrenfest siempre animó a sus estudiantes y colaboradores a ser creativos y críticos con lo que se les enseñaba. Sus alumnos lo apodaron “Tío Sócrates”.

Ehrenfest y Einstein fueron muy amigos hasta la trágica muerte de Ehrenfest. Onnes, Ehrenfest y Lorentz lucharon lo indecible para atraer a Einstein a Leiden, primero con una cátedra muy bien pagada, que Einstein rechazó en 1919 por lealtad a Max Planck, que le había roga-

do que se quedase con él en el misérrimo Berlín de posguerra. Tras eso, Onnes consiguió financiación para un puesto de Profesor Invitado para Einstein, que esta vez sí aceptó. Einstein pasaba unas semanas en Leiden cada año, alojado en la habitación de invitados de la casa de Ehrenfest. El inquilino de la casa en 1994 me dejó ver (pero no fotografiar) las firmas en una de las paredes de la espartana habitación (Einstein, Bohr, Fermi, Dirac...) al estilo del muro del Laboratorio. Por allí había pasado la flor y nata de la

“Onnes consiguió financiación para un puesto de Profesor Invitado para Einstein, que esta vez sí aceptó.”

Física. La clase inaugural de Einstein en Leiden tuvo lugar en 1920, con el título “El éter y la teoría de la relatividad” a sugerencia de Lorentz. En 1921, Einstein presentó su modelo de superconductividad, un problema cuya adecuada



Conrado Rillo, Javier Sesé y parte del equipo (ICMA - INA - Quantum Design) en el Kamerlingh Onnes Laboratorium, haciendo entrega al personal del KOL del nuevo licuador ATL (en rojo, bajo la foto de Kamerlingh Onnes) hace unos meses. Door meten tot weten!

Imagen cedida por el autor.



Observatorio Astronómico de Leiden.

www.strw.leidenuniv.nl

explicación se le resistió por siempre (como a Feynman y a tantos otros). Einstein acudió siete veces a cumplir con su obligación docente en Leiden. La última de ellas fue en 1930, y nunca regresó, tras instalarse en Princeton en 1932 huyendo de la barbarie nazi.

Ehrenfest sufrió una severa depresión desde 1931, a la que contribuían tanto el deterioro de su matrimonio como la enfermedad de su hijo menor, Vasily, que nació con síndrome de Down. Además, la huida de Einstein, la muerte de Lorentz y, en buena medida, según él mismo cuenta en sus cartas de despedida, su sentimiento de incompreensión de la Física Cuántica contribuyeron a hundir su ánimo. Einstein estaba tan preocupado que escribió al Consejo de Dirección de la Universidad de Leiden, sugirién-

doles que rebajasen su carga docente. El 25 de septiembre de 1933, Ehrenfest recogió a Vasily de la institución de Amsterdam donde lo cuidaban, y tras quitarle la vida de un disparo, se suicidó. Kramers, que había vuelto a Holanda tras trabajar durante 10 años en el instituto Bohr, ocupó la cátedra de Física Teórica de Leiden tras la muerte de Ehrenfest.

EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO

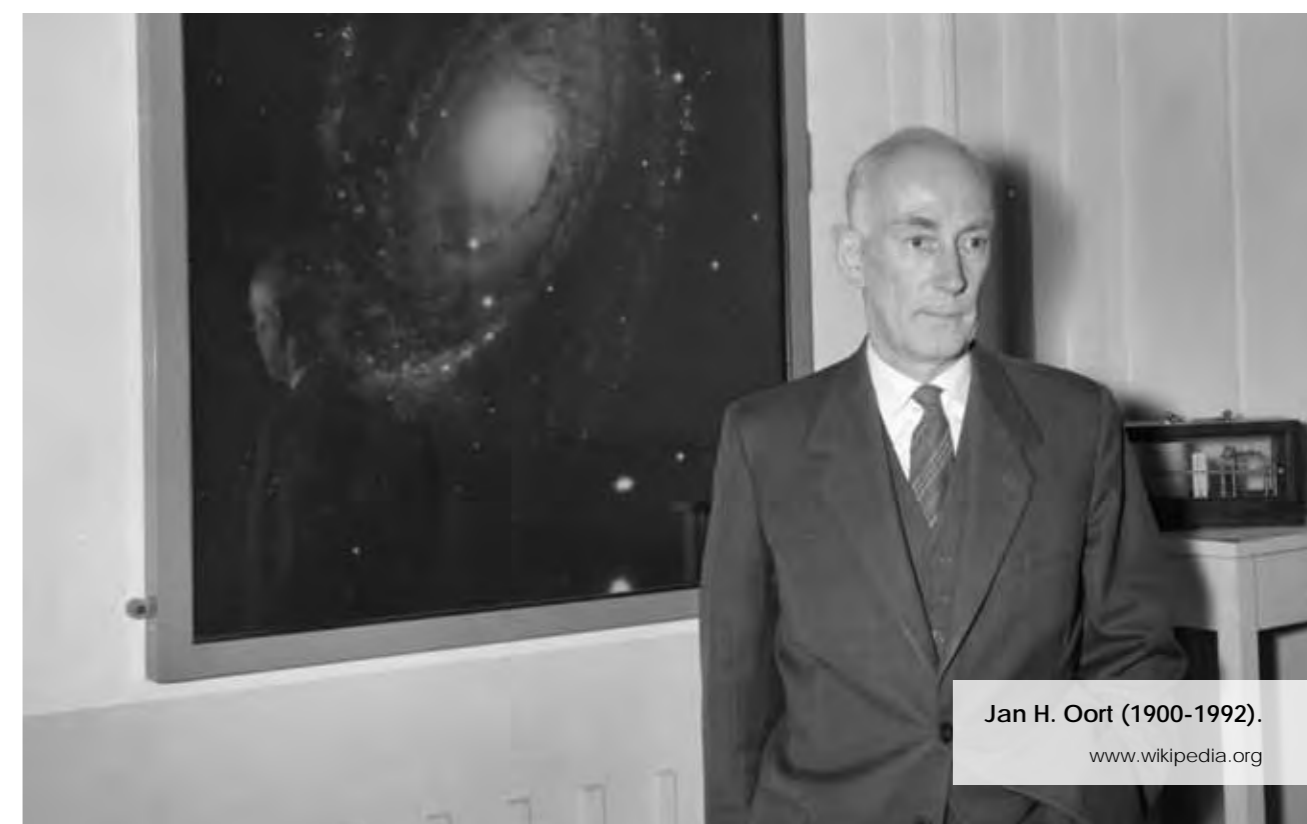
Sería tremendamente injusto olvidar las contribuciones de los científicos de Leiden en Astronomía y Astrofísica. El Observatorio Astronómico de Leiden data de 1633, en que la Universidad lo estableció para acomodar el enorme cuadrante de Snell¹, aunque en 1861 se construyó un nuevo edificio con una moderna cúpula

de observación. El director del observatorio en aquellos años dorados era Willem de Sitter. Sus principales contribuciones fueron en Relatividad General (el "espacio de de Sitter" es la solución más simple de las ecuaciones de Einstein: plano, con materia y una constante cosmológica positiva) y su nombre sigue ligado a la métrica, el horizonte de sucesos de agujeros negros, etc. Amplió el Observatorio, inaugurando las secciones de Astrofísica Espectral y de Teoría. Su sucesor fue E. Hertzsprung, famoso como co-inventor del diagrama estelar de Hertzsprung-Russell que muestra la luminosidad de las estrellas en función de su color y permi-

te el estudio de la evolución estelar. De Sitter había fichado en 1924 a un joven que acabaría siendo el más relevante de los astrónomos de Leiden; Jan H. Oort. En su dilatada carrera (fue director del observatorio de 1945 a 1970, sucediendo a Hertzsprung) sus intereses fueron desde los cometas y el sistema solar (la nube de Oort), la dinámica de las galaxias (las constantes de Oort), las estrellas y la estructura a gran escala. Propuso a su estudiante H. C. van de Hulst estudiar si el hidrógeno neutro podría emitir radiación observable y el trabajo resultante, que predice la línea hiperfina de 21 cm^{-1} , es la concepción de la radio astronomía espectral

en la que Oort jugó un papel fundamental más tarde. En los años 50, Oort estuvo muy interesado por la Nebulosa del Cangrejo: junto con el sinólogo de Leiden J. J. L. Duyvendak, que estudió los archivos originales de la dinastía Sung, documentaron la hipótesis de Hubble acerca de

“Sería tremendamente injusto olvidar las contribuciones de los científicos de Leiden en Astronomía y Astrofísica.”



Jan H. Oort (1900-1992).

www.wikipedia.org



Facultad de Ciencias
(Universidad de Zaragoza).

Imagen de la Facultad de Ciencias.

“También fue un regalo de Leiden el refrigerador de desimanación adiabática que utilicé durante mi tesis doctoral.”

que la Nebulosa del Cangrejo no era sino el “*lo que queda*” de la nova observada por astrónomos chinos en 1054. Aún más, dado que la emisión se trata de radiación sincrotrón, lo que comprobó experimentalmente con Teo Walraven midiendo el alto grado de polarización de su emisión⁸, demostró que el origen de la nebulosa era una supernova. Oort también fue uno de los fundadores del European Southern Observatory. Cuatro de los siete directores electos del ESO han sido catedráticos de Leiden, incluido el actual, Tim de Zeeuw. Hoy en día, el Observatorio de Leiden ocupa el nuevo “edificio Oort”.

UNA PICA EN FLANDES

No querría terminar sin una pequeña mención a la relación de nuestra sección de Física con la Universidad de Leiden. Dicha relación se remonta a los años 70, con la estancia postdoctoral de Domingo González en el Kamerlingh Onnes Laboratorium, que se puede considerar como el disparo de salida de la Física de Bajas Temperaturas en Zaragoza. Después pasaron por Leiden dos experimentales (Juan Bartolomé y Fernando Palacio) y un teórico (Rafael Navarro Linares), que perfilaron algunas de las líneas de trabajo de los entonces recién creados Departamento de Física de la Materia Condensada e Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (Universidad de Zaragoza - CSIC) y de la Física que en ambos se ha hecho. Aunque el viejísimo licuador de Zaragoza fue una donación americana, de Leiden vinieron (en coche y de regalo) los primeros criostatos de vidrio, termómetros y otro equipamiento que permitieron medir capacidades caloríficas y susceptibilidades magnéticas con un helio casi tan difícil de conseguir como el de Kamerlingh Onnes en su día. También fue un regalo de Leiden el refrigerador de desimanación adiabática que utilicé durante mi tesis doctoral, en el que se podía ver a ojo la transición superfluida, un privilegio cada vez reservado a menos físicos de bajas temperaturas “gracias” a los criostatos metálicos. Zaragoza ha sido desde entonces un referente nacional en bajas temperaturas, aunque el acceso a equipos comerciales “ha democratizado” este área. Para acabar, una guinda: hace unos años, intentando resolver el problema de suministro de helio en la Facultad, Conrado Rillo, del ICMA, ideó y patentó un novedoso licuador de helio, basado en una tecnología que permite licuar, mantener, y recuperar helio líquido en cantidades óptimas para laboratorios de tamaño medio. El equipo es comercial (ATL Quantum Design), y uno de los 50 laboratorios que en el mundo han comprado un ATL recientemente es el Kamerlingh Onnes Laboratorium, como se puede ver en la foto. Esto sí es poner, literalmente, una pica en Flandes.

Fernando Bartolomé
Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón
Dpto. de Física de la Materia Condensada
Facultad de Ciencias
CSIC-Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS:

1. Fernando Bartolomé, *Con-Ciencias* 12, 96 (2013).
2. Discurso de William Thomson (Lord Kelvin) ante la Royal Institution, viernes 27 de abril de 1900, “Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light,” *Phil. Mag.* S6; vol 2 N° 7, 1901.
3. Maxwell J. C., *Nature* 10, 477-480 (1874)
4. archive.org/details/electronstheory00lorerich
5. www.lorentz.leidenuniv.nl/history/colloquium/muur_heel.html
6. www.lorentz.leidenuniv.nl/history/spin/goudsmit.html
7. G. E. Uhlenbeck, *Physics Today*, June 1976, 43.
8. Oort J. H. and Walraven T., *B. A. N.* 12, 285 (1956).