

RICHARD GANS Y LA CUANTIFICACIÓN DEL MOMENTO DIPOLAR MAGNÉTICO

A.G. Bibiloni, O. Civitarese, C. von Reichenbach.

Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. CONICET
CC 67 (1900) La Plata – Pcia. De Bs.As. Argentina
e-mail: bibiloni@fisica.unlp.edu.ar

Richard Gans, físico de origen alemán, fue el sucesor de Emil Bose en la dirección-organización del Departamento de Física de la Universidad de La Plata. Su llegada, en 1912, constituyó un aporte significativo, para la incipiente actividad científica en la UNLP. Richard Gans, en el momento de su llegada a la Plata, había adquirido ya una sólida reputación científica y estaba en contacto con centros muy activos de investigación. Su trabajo, en problemas relacionados con el magnetismo, era bien conocido en Europa. En esta contribución enfocamos el aporte de Gans al descubrimiento de la cuantificación del momento dipolar magnético, tanto en el contexto platense como a nivel de la física de entonces en Europa.

Gans: orígenes, formación, su llegada a Argentina. (Cecilia)

A comienzos del siglo XIX existía entre los físicos un grado de especialización muy diferente del actual. De hecho, Gans parece haber sido uno de los últimos “físicos universales”, con importantes contribuciones tanto en física teórica como experimental. Gaviola¹ lo compara con científicos de la talla de Helmholtz, J.J. Thomson, Hertz, Langevin, Kirchhoff, Wien y Lord Rayleigh. A la vez, resultó ser un docente excepcional: “la Argentina tuvo el privilegio de contar entre 1913 y 1925 de un curso de física experimental no superado en cualquier parte del mundo”ⁱⁱ.

Richard Gans nació el 7 de marzo de 1880 en Alemania, en el seno de una familia de comerciantes hamburgueses. Estudió en Hannover y Hamburgo, donde se doctoró a los 21 años de edad, y luego trabajó como asistente en Heidelberg y Tübingen. En una brillante carrera científica, logró ser nombrado como Privatdozent (profesor adjunto) a los 23 años de edad, a los 28 años profesor extraordinario y a los 31 años profesor titular, título al que habitualmente se accedía entre los 35 y 40 años de edad. A raíz del prestigio ganado fue llamado como profesor titular ordinario a Estrasburgo, pero no perduró mucho tiempo en ese cargo. Al poco tiempo recibió una invitación para dirigir el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata, que había quedado vacante luego del fallecimiento de Emil Bose. Varias parecen ser las razones por las que Gans eligió dejar un importante centro intelectual como Estrasburgo para convertirse en pionero de la ciencia en tierras americanas. La oferta incluía un sueldo importante y la posibilidad de ser pionero en una tierra que todavía era un desierto, pero a la que la prensa alemana presentaba como una país en franco proceso de desarrollo. Según sus propias palabras, fue su deseo de colaborar con la ciencia “que no tiene patria”, lo que lo indujo a venir a La Plata. Según un punto de vista socio político más amplio, se sugiere que aceptó el cargo a sugerencia de Walter Nerst, como parte de una política de “imperialismo cultural” del gobierno alemán¹.

En 1925 llegó a La Plata con su mujer ¿?, y se hizo cargo de las tareas de enseñanza, investigación y organización del Instituto de Física. Con él se doctoraron los estudiantes que habían comenzado su tesis con Emil Bose, pero no se logró la consolidación de un grupo de investigación fuerte. Pese a sus grandes logros en física teórica y experimental, y a la excelencia de sus clases, las desavenencias con el entorno académico ¿y social? Lo llevaron a renunciar. Gans volvió a su patria en 1925, donde el Ministerio de Prusia le dio el cargo de Director del Instituto de Física de la Universidad de Königsberg. Desde allí tuvo oportunidad de seguir de cerca las nuevas teorías de Heisenberg, Pauli, Schoedinger. Sin embargo, la situación sociopolítica de Alemania alrededor de 1932 hizo que Gans abandonara la universidad e ingresara en la industria privada: la AEG de Berlin. Su biblioteca de más de 10.000 volúmenes ardió durante la guerra. Posteriormente el gobierno alemán le confió la cátedra que fuera de Sommerfeld en Munich, pero Gans, que había enviudado, quiso volver a la Argentina, al país en el que habían nacido sus hijos. En 1947 volvió a ser nombrado como Director del Instituto de Física en La Plata, institución que en su ausencia había perdido el nivel académico alcanzado. Gans participó activamente en la Asociación Física Argentina, desde la reunión anual de 1947, destinada a festejar su regreso, hasta la de 1953, en San Juan. Poco pudo hacer Gans por recuperar el nivel en La Plata, pues en 1951 fue obligado a dejar el cargo. Aceptó entonces dirigir el Instituto de Física de la Universidad de Buenos Aires, con un contrato por dos años. Pasado ese tiempo, no hubo renovación del nombramiento, lo que le produjo una depresión de la que ya no se repuso. Cuando se lo nombró Consejero Científico de la CONEA, Gans ya estaba enfermo y falleció el 27 de junio de 1954, a los 74 años.

La obra científica de Gans incluye más de 200 trabajos sobre muy diversos temas, aparecidos mayormente en “Annalen der Physik” y en “Contribuciones al estudio de las ciencias” (revista que él mismo creara), y que serán comentados más adelante. Es autor además del primer Catálogo colectivo de publicaciones seriadas de nuestro país, con el "Catálogo de

¹ Pyenson, Gaviola.

revistas de ciencias exactas, naturales y de ingeniería existentes en bibliotecas argentinas" realizado en 1917 bajo los auspicios de la Sociedad Científica Alemana de la ciudad de Buenos Aires.

Anticipando la cuantificación del momento dipolar

En agosto de 1911, en la reunión de la Sociedad Alemana de Investigaciones Naturales y Medicina realizada en Karlsruhe, P. Weiss presentó una comunicación sobre el magnetismo en materiales ferromagnéticos, en la que discutió la magnetización espontánea de regiones cristalinas. R. Gans, quien asistió a la presentación de Weiss, formuló entonces una interesante pregunta:

¿Podríamos pensar que un magnetón (unidad de magnetismo) es producido por la rotación de una carga eléctrica elemental?

A continuación Gans propuso, para el momento dipolar magnético, la expresión

$$\mu = i A$$

donde i es la "corriente" y A el área del circuito elemental.

Si pensamos que la "corriente" circula por el circuito que limita el área A , escribiendo

$$A = \pi r^2; i = (q/2 \pi r)v$$

donde v es la velocidad de la "carga elemental" y r es el radio de la órbita (circuito). Como esta carga ejecuta un movimiento de rotación, su momento angular se escribe

$$l = mvr$$

Reemplazando en la expresión para μ se obtiene

$$\mu = (q/2 \pi r) \pi r^2 v$$

de donde, reemplazando el valor de la velocidad en función del momento angular resulta

$$\mu = (q/2m).l$$

A continuación, se puede argumentar, como lo hizo R. Gans, que el momento angular l podría estar "cuantificado", de donde resulta inmediatamente la cuantificación de μ .

Es interesante destacar las siguientes observaciones:

a) la presencia de la relación "carga-masa" q/m y la aparición del factor 2 en el denominador de esta expresión. Naturalmente, Gans ignoraba, por entonces, la existencia del spin del electrón. No obstante, esta expresión de Gans determina la relación entre el momento dipolar magnético y el momento angular de una "carga elemental en rotación",

b) la eliminación del "radio" r en favor de la aparición del momento angular "cuantificado" (Gans definió a l en unidades de $h/2\pi$). Esta argumentación fue explícitamente utilizada por Bohr, años después, al formular su modelo del átomo de hidrógeno.

Frente a esta argumentación de Gans, Weiss retiró su propuesta de "magnetón grande".

Las consecuencias de esta línea de investigación, es decir, la asociación de los fenómenos magnéticos con propiedades elementales de partículas y la posible cuantificación del momento angular, resultaron evidentes durante los años siguientes a la propuesta de Gans. Los experimentos de A. Einstein y de Haas determinaron claramente la inexactitud de los modelos propuestos para el ferromagnetismo, y posibilitaron posteriores investigaciones. De hecho, esas fueron las bases empíricas del trabajo de W. Heisenberg, y los estudios de Gerlach finalmente llevaron a la afirmación del concepto de cuantificación del momento angular y al descubrimiento del spin.

Nota: Leandro Andrini y Lisandro Giovanetti, estudiantes de física de la UNLP, están abocados a la reconstrucción de los experimentos de Gans.

Los resultados en la perspectiva de la física

La producción científica de Richard Gans, en revistas de difusión internacional está consignada en el Apéndice. Nos limitaremos a enfocar aquellas que conciernen a la primera época de Gans en La Plata. Puede apreciarse, de acuerdo al título de sus trabajos, la participación de Gans en los grandes temas de la época (recordemos que no existía aun la diversificación de dominios que existe en nuestra época y que aún la distinción entre físicos experimentales y teóricos era difusa), a saber:

1) sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (tema afín a la formulación de Einstein de la teoría de la relatividad restringida);

2) sobre la magnetización de medios cristalinos y amorfos (tema afín a la descripción microscópica de los fenómenos magnéticos en materiales)

3) sobre la dispersión de la luz por partículas en soluciones

4) sobre la termodinámica de sistemas binarios

*5) sobre la teoría de * los cuantos**

Recordemos, para interpretar el significado de estos temas de investigación en el contexto de la época (primeras décadas del siglo XX), que entre 1900 y 1920 se producen cambios revolucionarios en la concepción de la Física. Brevemente, estos son los siguientes:

a) La teoría de la relatividad restringida (Einstein) valida la teoría de Maxwell del electromagnetismo y establece límites a la validez de las leyes de Newton, la generalización de la teoría (Einstein) introduce una formulación análoga para la gravitación. Así, ambas teorías (electromagnetismo y gravitación) fueron expresadas en forma tensorial, invariantes frente a transformaciones de Lorentz. Se abandonaba así la concepción newtoniana del tiempo.

b) Las interpretaciones de Planck (leyes de distribución de la radiación) y Einstein (efecto fotoeléctrico) de los fenómenos relacionados con la radiación y su propagación y absorción muestran, en forma directa, que la noción de variación continua de las magnitudes físicas debe ser reemplazada por la noción de discretización de tales magnitudes cuando se trata de interpretar fenómenos a escala atómica y molecular.

c) Se formulan ecuaciones *maestras* (Einstein, movimiento Browniano) que determinan el valor de las fluctuaciones en procesos de colisión y amplían el concepto newtoniano de fuerza, de acuerdo al tamaño de las partículas en colisión.

d) Se estudia el comportamiento de la materia a bajas temperaturas (Nerst, Bose) y se descubre que ese comportamiento no es clásico.

e) Se estudia el apartamiento de las leyes clásicas en la interpretación de la estructura de la materia (Rutherford, Bohr), como primeros pasos hacia la formulación de la mecánica cuántica.

De modo que la superposición entre estos temas y los correspondientes a las publicaciones de Gans ilustra bien a las claras su conocimiento de los problemas más importantes de la Física de la época y su capacidad para contribuir a la solución de los mismos.

En esta nota nos hemos referido a su contribución a la discretización del momento angular y a la relación entre esta discretización y la cuantificación del momento dipolar magnético. Este aporte de Gans no pasó desapercibido, a pesar de tratarse de una contribución inspirada en una noción cuasi-clásica, y fue reconocida por Einstein (quien además participó de un experimento, junto con Haar, para determinar el valor del magnetismo *molecular* (ver referencia: **CvR: aquí pone la ref al trabajo de Einstein y Haar, please).

Como sabemos hoy, el concepto de cuantificación del momento angular orbital de una partícula moviéndose en un campo central, es un elemento esencial en la descripción del movimiento de los electrones en orbitales estacionarias (Bohr). Se puede pensar que la formulación de este concepto fue casi inevitable una vez postulada la discretización de la propagación y emisión o absorción de radiación (Planck, Einstein). Curiosamente, Gans

llega a conclusiones muy similares (el momento dipolar magnético de una carga en movimiento es proporcional al momento angular orbital de la carga) sin avanzar en la idea de una discretización. El camino seguido por Gans en su deducción (tal como la presentamos en la sección anterior) está orientado en la dirección de la determinación de un *dominio magnético elemental* y para ello imagina la rotación de una carga localizada en la superficie de una *región elemental* (justamente, el experimento de Einstein y Haas trató, sin éxito, de medir el tamaño de tal región (ver referencia****)). Como su argumentación es clásica, el valor del magnetón determinado por Gans es incorrecto, pero mucho más cercano al valor real que el postulado por Weiss (referencia*****). Recordemos que en la época en cuestión, circa 1912, el concepto de spin era desconocido y por lo tanto la deducción de un valor para el momento dipolar magnético de un dominio (o partícula) ignorando el spin es necesariamente incompleta, como lo demostró años

mas tarde Heissenberg. No obstante, la línea de argumentación de Gans, aplicada al movimiento de una carga en un campo central, si es correcta y la dependencia del momento dipolar magnético con el valor del numero cuántico orbital (tal como se lo formula actualmente) es también la correcta, tal como resulta de la determinación de Bohr en su modelo atómico.

No sabemos cuál fue el conocimiento que Bohr y Gans tenían de sus respectivos trabajos, pero es de suponer que existió. De hecho, la comunicación de Gans, refutando el valor del magnetón calculado por Weiss, fue publicada en las memorias de la sociedad alemana de física (*****please, CvR, pone el año), que por entonces era conocida en toda Europa.

A juzgar por el valor que Gans le asignó desde un comienzo a la teoría cuántica y a su preocupación por divulgarla (ver referencia: lecture notes de Gans sobre teoría de los cuantos, La Plata) la UNLP tuvo el raro privilegio de ser el primer lugar de Sudamérica donde se dictaron clases sobre la *teoría de los cuantos*. Si además recordamos que otro aporte significativo a la validación de la teoría cuántica fue efectuado por Nerst (comportamiento de los calores específicos a bajas temperaturas) a partir de trabajos sobre la termodinámica de muestras binarias (Bose) y que tanto Bose como Nerst y Gans

fueron los primeros tres directores-organizadores del Departamento de Física de la UNLP, resulta casi inexplicable la falta de continuidad entre el trabajo pionero de estos tres notables físicos y el de las (varias generaciones) personas que los sucedieron (*****referencia al plateau o desierto, mi trabajo y el trabajo de Guillermo para la revista de historia)

Bibliografía:

- 1) A. Einstein y W.J. de Haas, *Determinación experimental de las corrientes de Ampere moleculares*, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft N° 8, 1915, pág. 152-170.
- 2) P. Weiss, *Teoría de corrientes moleculares*. Reunión de la Sociedad Alemana de Investigaciones Naturales y Medicina realizada en Karlsruhe, agosto 1911.
- 3) R. Gans, op.cit.

Resumen viejo:

Hacia 1907 se desarrollaron en Alemania investigaciones tendientes a determinar el origen del magnetismo en sólidos ferromagnéticos. P. E. Weiss postularon la existencia de dominios magnéticos "cuantificados a la moda de Planck". La unidad de magnetismo fue introducida (pero no definida) por Weiss de manera ad-hoc (el llamado magnetón de Weiss). Richard Gans, quien fuera Director del Instituto de Física de La Plata entre 1914 y 1925, intentó determinar dicha unidad por medio del cálculo del momento dipolar magnético generado por el movimiento de una carga elemental en un circuito de dimensiones "moleculares". La relación que Gans encontró entre el momento dipolar magnético y el momento angular de tal configuración puede ser considerada como el primer intento de cuantificación del momento dipolar magnético vía la cuantificación del momento angular. Dado que tal desarrollo precedió en más de dos décadas al descubrimiento del spin, el resultado obtenido no es el correcto. No obstante, indica a las claras el valor del trabajo de Gans, quien refutó exitosamente a Weiss y abrió el camino a las investigaciones de Gerlach (quien en los años siguientes se mantuvo en comunicación con Gans) y de Bohr.

Otro físico alemán para La Plata

Gracias a la capacidad y talento de Emil Bose, el Instituto de Física de la recientemente creada UNLP quedó totalmente equipado, provisto de una incipiente pero importante hemeroteca científica y, tal vez lo más importante, con cuatro alumnos haciendo sus trabajos de tesis. Sin embargo Bose falleció en mayo de 1911, sólo dos meses después de su inauguración. La aventura de J. V. González de crear un centro de investigación en física en Sudamérica pareció derrumbarse. Pero tras algunos años de búsqueda fue contratado el eminente físico alemán Richard Gans. Al momento de emprender su viaje al Río de La Plata, Gans había tenido una interesante producción científica. En este trabajo deseamos rescatar la temprana contribución de Gans a la cuantificación del momento dipolar magnético.

ⁱ E. Gavoila, Revista de la U.M.A., Vol. XIV, 3 (1950) 101.

ⁱⁱ E. Gaviola, Richard Gans (1880-1954), Ciencia e Investigación, tomo 10 N8 (1954) 384.