



# NATURALIS

BOLETÍN DE LA COORDINACIÓN DE  
FÍSICA Y QUÍMICA

No. 37

Julio de 2022

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



## Contenido

### 1 El Experimento de Stern-Gerlach. Parte 1

Salvador Enrique Villalobos Pérez  
Martín Bárcenas Escobar

## El Experimento de Stern-Gerlach

En años posteriores al fin de la primera guerra mundial y al inicio de la década de 1920 las ideas de Bohr, en relación con un modelo cuantizado del átomo, habrían de ser puestas a prueba en importantes experimentos que darían la pauta por seguir; previos al advenimiento de la de la Mecánica Cuántica de 1926.

En 1921 Otto Stern, físico teórico colaborador de Max Born concibió un experimento que un año más tarde, 1922, sería puesto en marcha por Walther Gerlach en el Instituto de Física Experimental de la Universidad de Fráncfort.

Este trabajo, dada su importancia, está dividido en dos partes: en la primera de ellas habremos de referirnos a la descripción teórico-práctica del experimento, así como a sus consecuencias en

el contexto de la Mecánica Cuántica Antigua; previa a 1926.

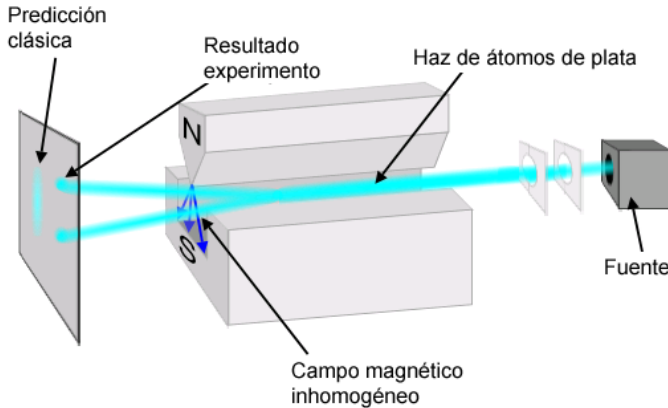
Posteriormente estudiaremos las consecuencias del experimento de Stern-Gerlach en el contexto de la computación e información cuánticas; a la luz de la unidad básica de información en la computación cuántica conocida como qubit.

Básicamente, la idea del trabajo de Otto Stern era similar a la desarrollada a principio de la década de 1910 en un trabajo con haces moleculares de sodio atribuido al físico francés Louis Dunoyer.

La idea de trabajar originalmente con haces de vapor de plata, provenientes de un horno calentado a 1000 grados de Celsius, respondería al hecho de que las películas fotosensibles

ocupadas para registrar los resultados eran simples películas fotográficas.

Una vez producido el haz, este habría de colimarse empleando para esto un par de rendijas con aberturas de 30 micras cada una de ellas; tal como se muestra en la figura siguiente:



En la misma figura puede observarse una región de campo magnético, no uniforme, creado mediante una bobina que alcanzaría una intensidad de 100 mili-teslas y un gradiente máximo de 10 teslas por centímetro.

En un curso básico de Electricidad y Magnetismo se analizan las siguientes expresiones en torno al momento magnético ( $\vec{\mu}$ ), para la torca y la energía potencial respectivamente:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

$$U_p = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Que para el caso de la física de partículas podemos describir:

$$U_p = \pm \mu_B B_Z$$

Donde  $\mu_B$  es el llamado magnetón de Bohr cuyo valor es  $9.27 \times 10^{-24}$  [J/T]

Así entonces:

$$F_Z = \pm \mu_B \frac{\delta B_Z}{\delta Z}$$

Y de donde podremos conocer el valor del desplazamiento en dirección (Z) perpendicular a la trayectoria de las partículas; en este caso electrones.

$$Z = \frac{at^2}{2}$$

$$Z = \left( \frac{F}{2m} \right) \left( \frac{L}{v} \right)^2$$

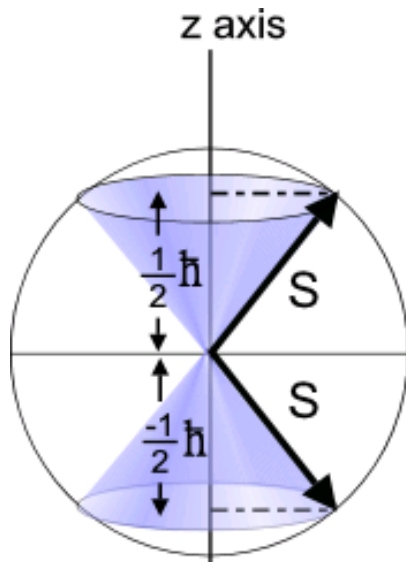
$$Z = \left( \pm \frac{\mu_B L^2}{4KE} \right) \left( \frac{\delta B_Z}{\delta Z} \right)$$

Que para el caso del experimento original apenas alcanzaba los diez micrómetros.

Como se observa también en la figura el comportamiento esperado difiere del que se observa experimentalmente y que se explica a continuación:

Originalmente el interés del experimento era el de conocer las propiedades de las partículas subatómicas, electrones en este caso, a la luz del modelo atómico de Bohr; a partir del cual eran conocidos, al momento, tres números cuánticos: principal (n), azimutal (l) y magnético (m); ver, por ejemplo: **Boletín Naturalis** 27, 30 y 31.

A diferencia de un comportamiento, clásico, en el que cualquier orientación de los dipolos fuese posible los resultados muestran un comportamiento selectivo para dos posibles orientaciones del momento magnético del electrón; tal como se muestra a continuación:



El concepto del “espín del electrón”, sin embargo, no fue introducido a la Física sino hasta el año de 1925 por S. A. Goudsmit y G. E. Uhlenbeck; quienes postularon la existencia de un momento angular intrínseco para el electrón, independiente de sus propiedades orbitales.

Hasta este punto el experimento de Stern-Gerlach habría mostrado la existencia y la cuantización del espín del electrón; aunque: ¿qué tiene que ver éste hecho con el concepto de qubit?

Esta y otras preguntas deberán resolverse en la segunda parte de este trabajo.



Otto Stern. (Sohrau, Polonia 1888 - Berkeley, EUA 1969).

Físico alemán nacionalizado estadounidense. Sus investigaciones sobre los momentos magnéticos de las partículas atómicas, que calculó mediante la proyección de haces moleculares sobre campos magnéticos, arrojaron valiosos

resultados que lo hicieron merecedor del premio Nobel de física (1943). Formado en la Universidad de Breslau, Otto Stern ejerció la docencia primero en la Escuela Técnica de Zurich y posteriormente en la Universidad de Frankfurt. Tras servir en la primera guerra mundial centró sus investigaciones en el campo de la física atómica y llegó a ser catedrático de la Universidad de Hamburgo. Residió en EE UU desde 1933, país en el que llevó a cabo diversos trabajos de investigación desde su puesto de profesor en el Carnegie Institute of Technology (Pittsburg).

Otto Stern logró calcular el momento magnético del átomo de plata y halló para el momento magnético del protón un valor 2,5 veces mayor que el predicho por la teoría de Dirac. Sus estudios sobre las radiaciones moleculares, las propiedades magnéticas de los átomos y la materialización de los fotones le valieron el premio Nobel de física en 1943..



Walther Gerlach. (Biebrich del Rhin, Alemania 1889- Múnich, Alemania 1979)

Gerlach comenzó sus estudios de postgrado en Tübingen en 1908 y recibió su doctorado en 1912. Comenzó a dictar ciclos de conferencias en 1916 de manera privada y desde 1917 en la Universidad de Gotingen. En 1921 fue profesor en Franckfurt y en 1924 en Tübingen. Notorio por sus trabajos junto a Otto Stern

sobre las deflexiones de los átomos en los campos magnéticos no homogéneos, lo que demostró la restricta orientación espacial de las partículas atómicas y subatómicas con polarización magnética. Para el experimento usó átomos de plata.

En 1929 fue designado catedrático de Física Experimental en la Universidad Ludwig Maximilian de Munich. En 1943 fue llamado para trabajar en el Proyecto Uranio por su gran experiencia con partículas atómicas. Ocupó altísimos cargos, como el de Plenipotenciario de todas las investigaciones de fisión atómica en el Consejo de Investigaciones del Reich y permaneció en el Proyecto Uranio hasta que ordenó en enero de 1945 que todas las instalaciones fueran trasladadas al sur. Finalmente, entre el 01 y el 03 de mayo de 1945 fue capturado en Munich por las fuerzas de la Misión Alsos y enviado a Inglaterra donde fue internado en Farm Hall junto con muchos de sus colegas científicos.

Después de la guerra, en 1948 y hasta 1951 fue rector de la Universidad Ludwig Maximilian de Munich y desde 1949 hasta 1951 ejerció el cargo de Presidente de la Sociedad Fraunhofer. Desde 1951 hasta 1961 fue vicepresidente del Consejo de Investigaciones de Alemania y en 1956 fue nombrado presidente de la Sociedad Alemana de Física.

## Referencias

1. Beiser, Arthur, Concepts of Modern Physics, 5th Ed., McGraw-Hill, 1995.
2. Eisberg, Robert and Resnick, Robert, Quantum Physics, 2nd Ed., Wiley, 1985.
3. Serway, Raymond A., Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 3rd Ed., Saunders College , 1990.
4. Fernández, Tomás y Tamaro, Elena. «Biografía de Otto Stern». En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea [Internet]. Barcelona, España, 2004. Disponible en:  
[https://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/stern\\_otto.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/stern_otto.htm) [fecha de acceso: 31 de mayo de 2022].
5. Exordio, La Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Biografías. Disponible en:  
<https://www.exordio.com/1939-1945/personajes/gerlach.html> [fecha de acceso: 31 de mayo de 2022].

**Salvador Enrique Villalobos Pérez**

*villasalen@gmail.com*

**Martín Bárcenas Escobar**

*martin\_b\_e@hotmail.com*

**Profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM**

---

***“Los principios de la Física, tal y como yo los entiendo, no niegan la posibilidad de manipular las cosas átomo por átomo”***

*Richard Feynman (1918-1988) Físico estadounidense.*

---

El contenido de los artículos publicados en este boletín es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dudas o comentarios: [velasquez777@yahoo.com.mx](mailto:velasquez777@yahoo.com.mx)

**Editor: M. en C. Q. Alfredo Velásquez Márquez**