

¿Alguien puede explicar el significado físico del espín?

E. N. García-Quiroz, S. N. Arellano-Ahumada, J. J. Martínez-Maldonado, D. Ramírez-Rosales.

Departamento de Física, ESFM-Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55050 Fax (55) 5729-55015
torchynsnat@yahoo.com.mx



RESUMEN/ABSTRACT

Decir lo que es realmente el espín es difícil, lo conocemos más por lo que hace que por lo que es. Aquí nos tomamos el atrevimiento de intentar describir qué es el espín, esperando dar una pincelada de verdad, diciendo que el espín es una característica cuántica. Es una especie de momento angular. El valor de la magnitud de este momento angular es permanente. El espín es una propiedad básica e invariable. Como método "didáctico", a veces podemos comparar el espín con la Tierra girando sobre su propio eje, aunque no es totalmente justificable matemáticamente.

INTRODUCCIÓN

Algunos estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y quizá hasta posdoctorado en física pueden manejar la matemática relacionada al espín [1], pero no han entendido, o hemos entendido, lo que es realmente el espín (Fig. 1).



Fig. 1. ¿Qué es el espín?

Los primeros modelos atómicos estaban influenciados por nuestra imagen del sistema solar: un núcleo en el centro, con electrones que orbitan alrededor de él, girando sobre su propio eje (ver Fig. 2) [2].

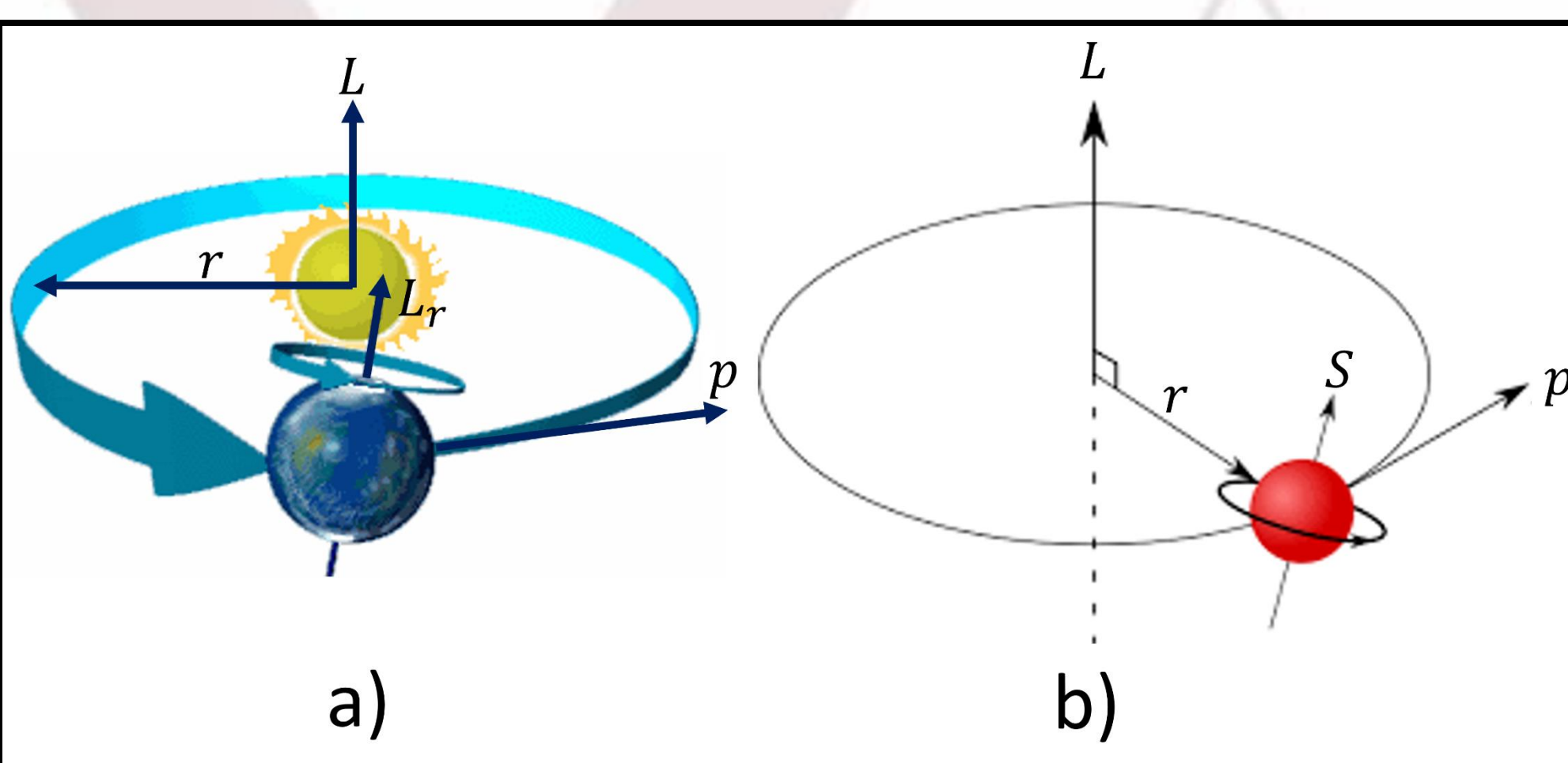


Fig. 2. a) Movimiento de la Tierra (L_r es el momento angular debido a la rotación de la Tierra). b) Movimiento del electrón.

El movimiento del electrón genera campo magnético, como se muestra en la Fig. 3 [3], por lo que los átomos se comportan como imanes.

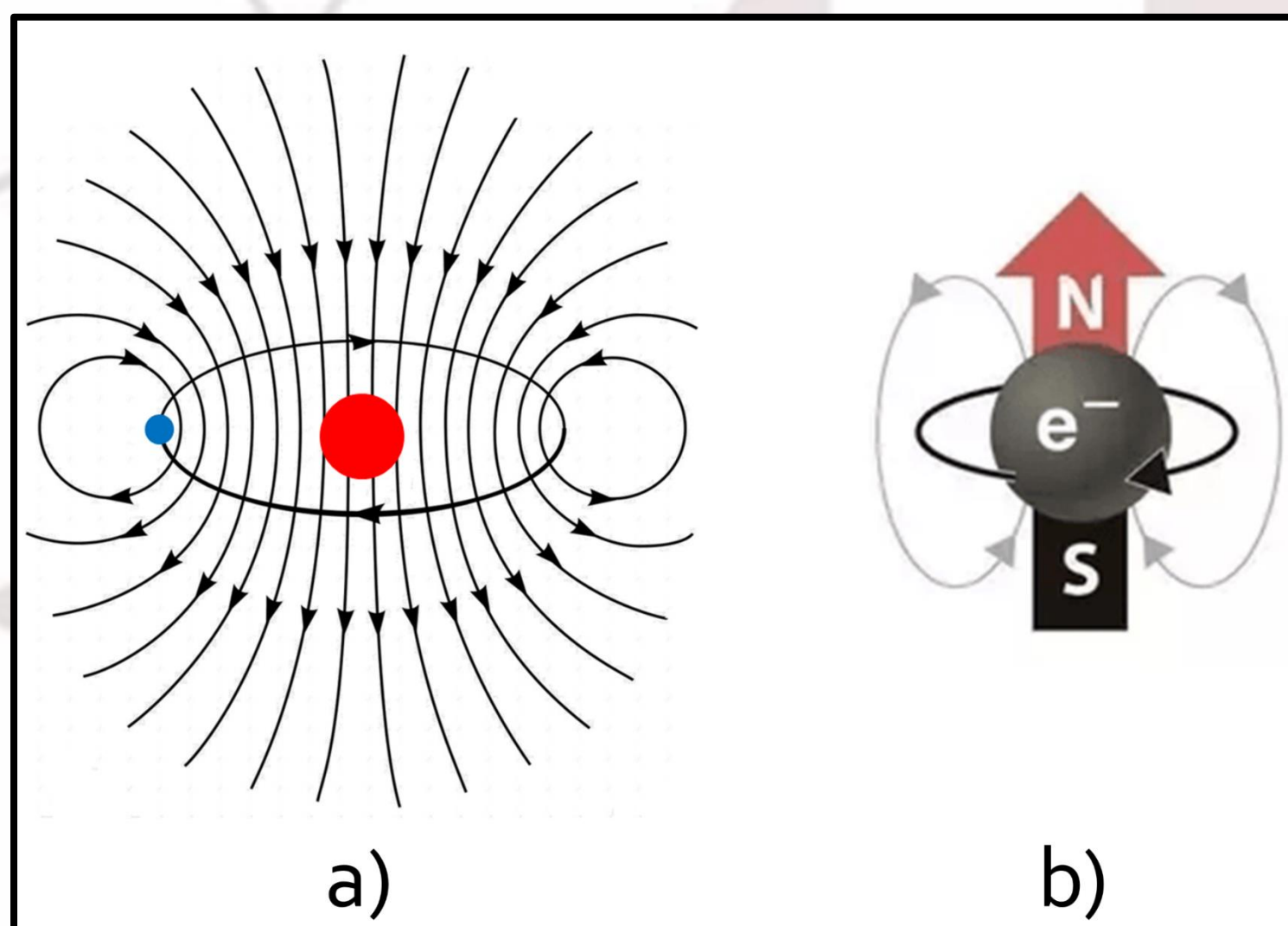


Fig. 3. a) Campo magnético generado por el movimiento orbital del electrón. b) Campo magnético generado por el espín del electrón.

EL DESCUBRIMIENTO DEL ESPÍN

En 1921 Otto Stern y Walther Gerlach hicieron un experimento que consistió en pasar un haz de átomos de plata a través de un campo magnético no uniforme, el cual desvió a los átomos, que posteriormente impactaron en una fotoplaca (ver Fig. 4).

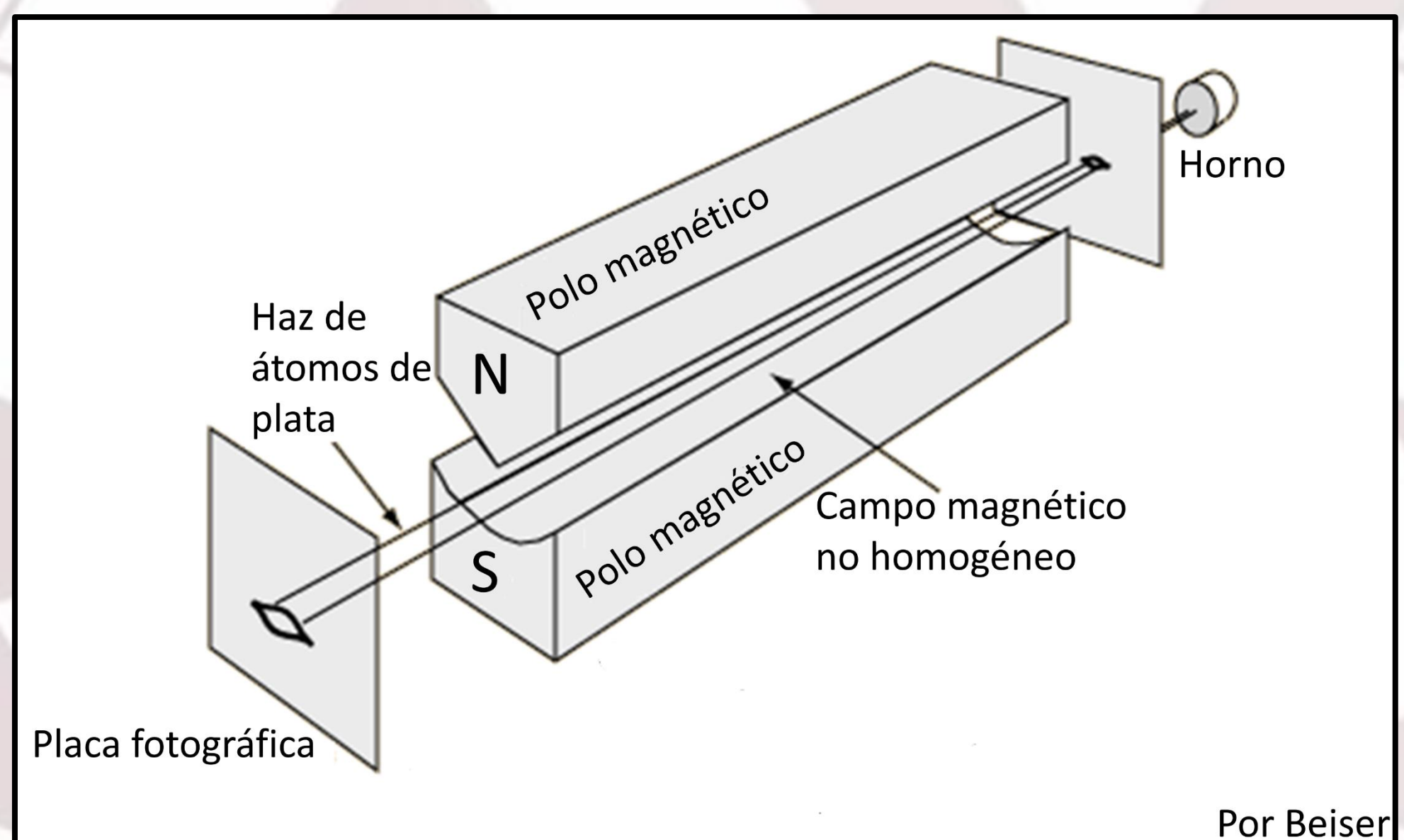


Fig. 4. Experimento de Stern y Gerlach, los átomos de plata surgen en forma de vapor del horno.

Al salir del horno, los átomos de plata no tenían una orientación especial en el espacio, por lo que los espines de sus electrones externos deberían de apuntar en todas las direcciones posibles (ver Fig. 5). Dependiendo de la orientación del espín, la fuerza que experimenta el átomo es tal que su desviación es mucha o poca (ver Fig. 6).

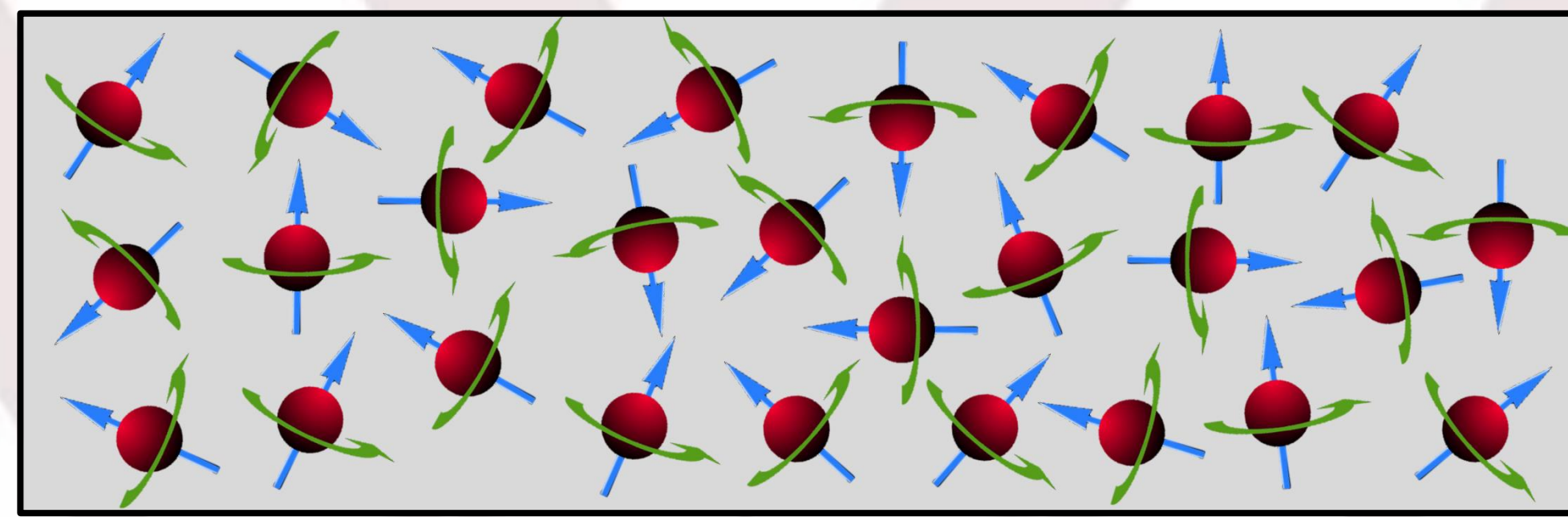


Fig. 5. Los espines de los electrones externos de los átomos de plata deberían de apuntar en todas las direcciones posibles en el espacio.

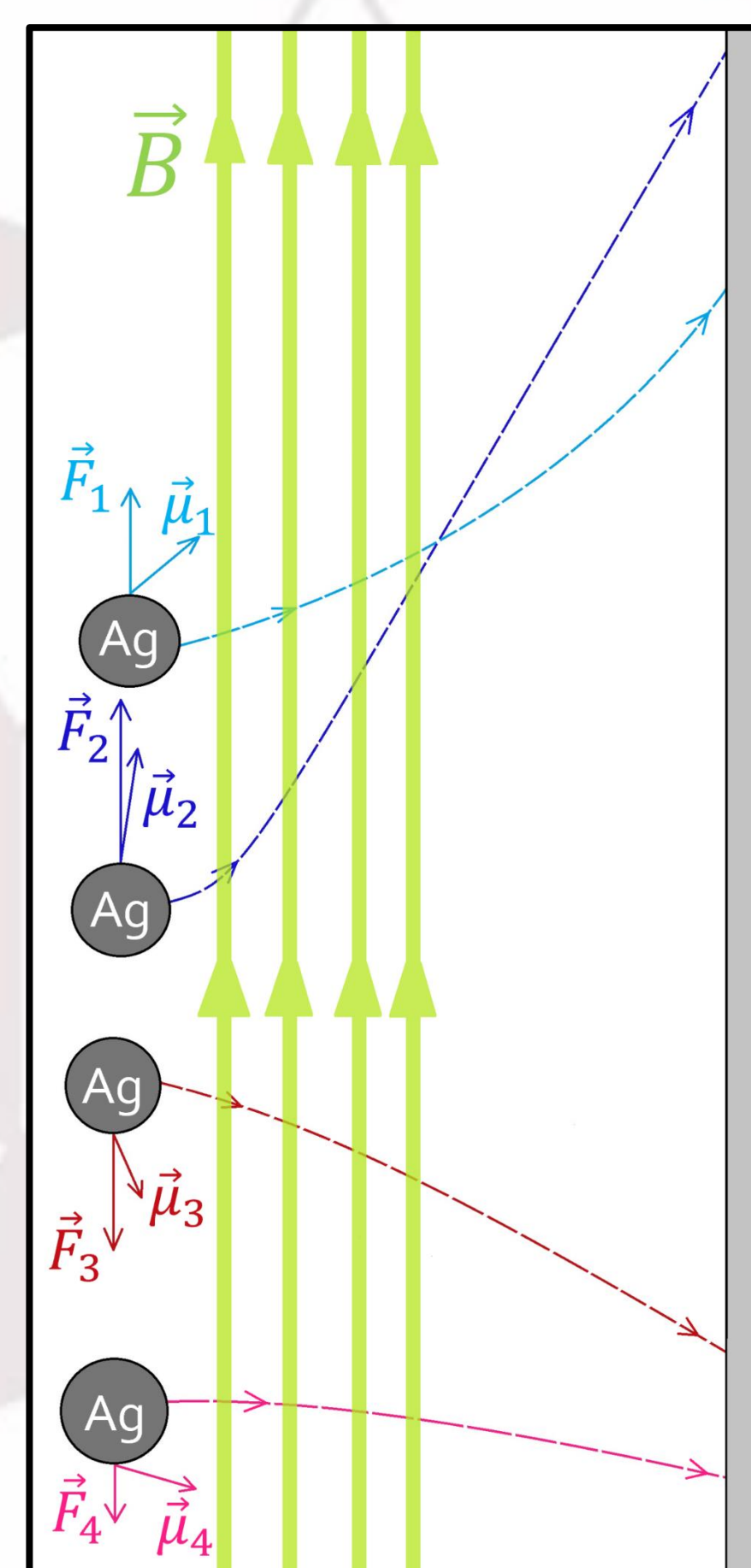


Fig. 6. La desviación de los átomos depende de la orientación del espín.

Debido a esto Stern y Gerlach esperaban observar en la fotoplaca lo que se muestra en la Fig. 7.

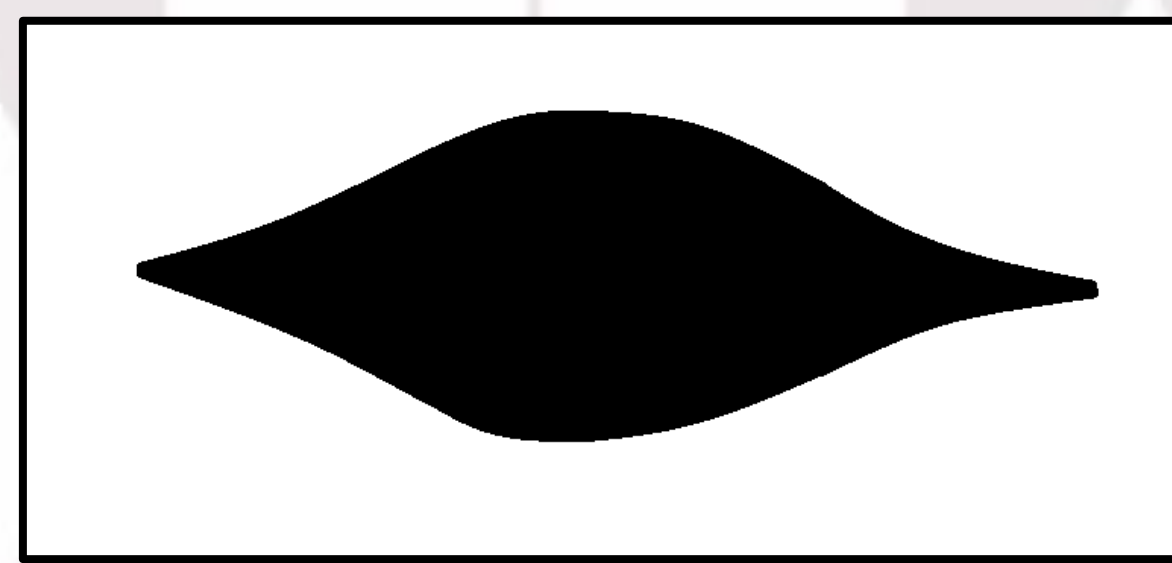


Fig. 7. Resultado esperado.

Pero lo que se observó fue lo que se muestra en la Fig. 8.

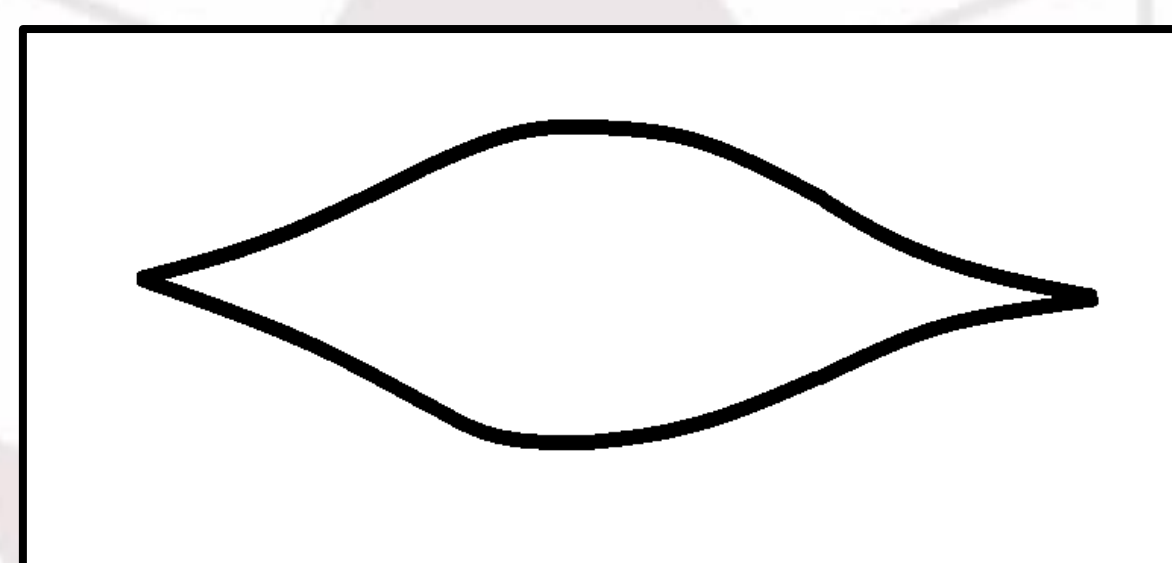


Fig. 8. Resultado experimental.

¡Los átomos solo golpearon el contorno, y en medio no había nada! Esto solo es posible si el espín tiene únicamente dos orientaciones posibles en el espacio. Todas las partículas tienen un espín fundamental, las de espín semientero se llaman fermiones y las de espín entero se llaman bosones. Los electrones, por ejemplo, tienen un espín de $1/2$, pero... ¿ $1/2$ de qué?

LA IMAGEN MECÁNICO-CUÁNTICA DEL ESPÍN

Es como un pequeño trompo, pero realmente no lo es

Imaginemos al electrón como un trompo, este siempre tiene espín de $1/2$; $1/2$ de la constante de Planck reducida $\hbar = 1.055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. El *hecho extraño número uno* es que no se puede detener el giro del electrón, mientras que con otros objetos sí se puede (ver Fig. 9).

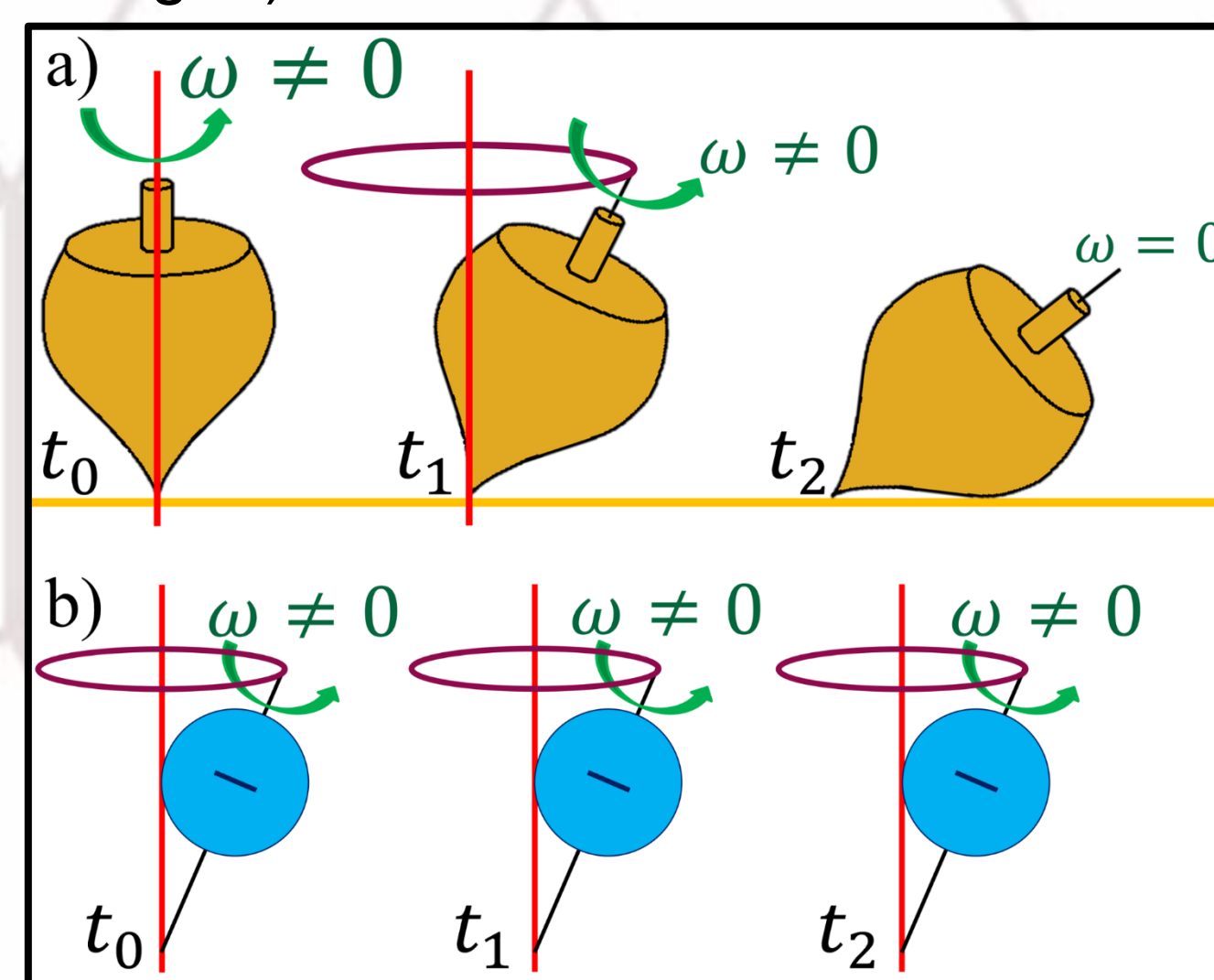


Fig. 9. a) Un trompo sí se puede detener, b) un electrón no.

El campo magnético está raro

Al considerar al electrón rotando se obtiene que el campo magnético generado por su espín es igual a un múltiplo del espín, pero experimentalmente se obtiene que hay que considerar además un factor 2 en esa igualdad. Este es el *hecho extraño número dos*; los números salen mal [4].

El espín no está apuntando en una dirección particular

El *hecho extraño número tres* es que si al medir el giro de un electrón se obtiene que este es totalmente vertical, y luego se mide el giro horizontal, entonces se obtiene, de forma aleatoria, un giro de izquierda a derecha o en el sentido opuesto, como si se tiraran los dados para determinar el sentido de giro (ver Fig. 10).

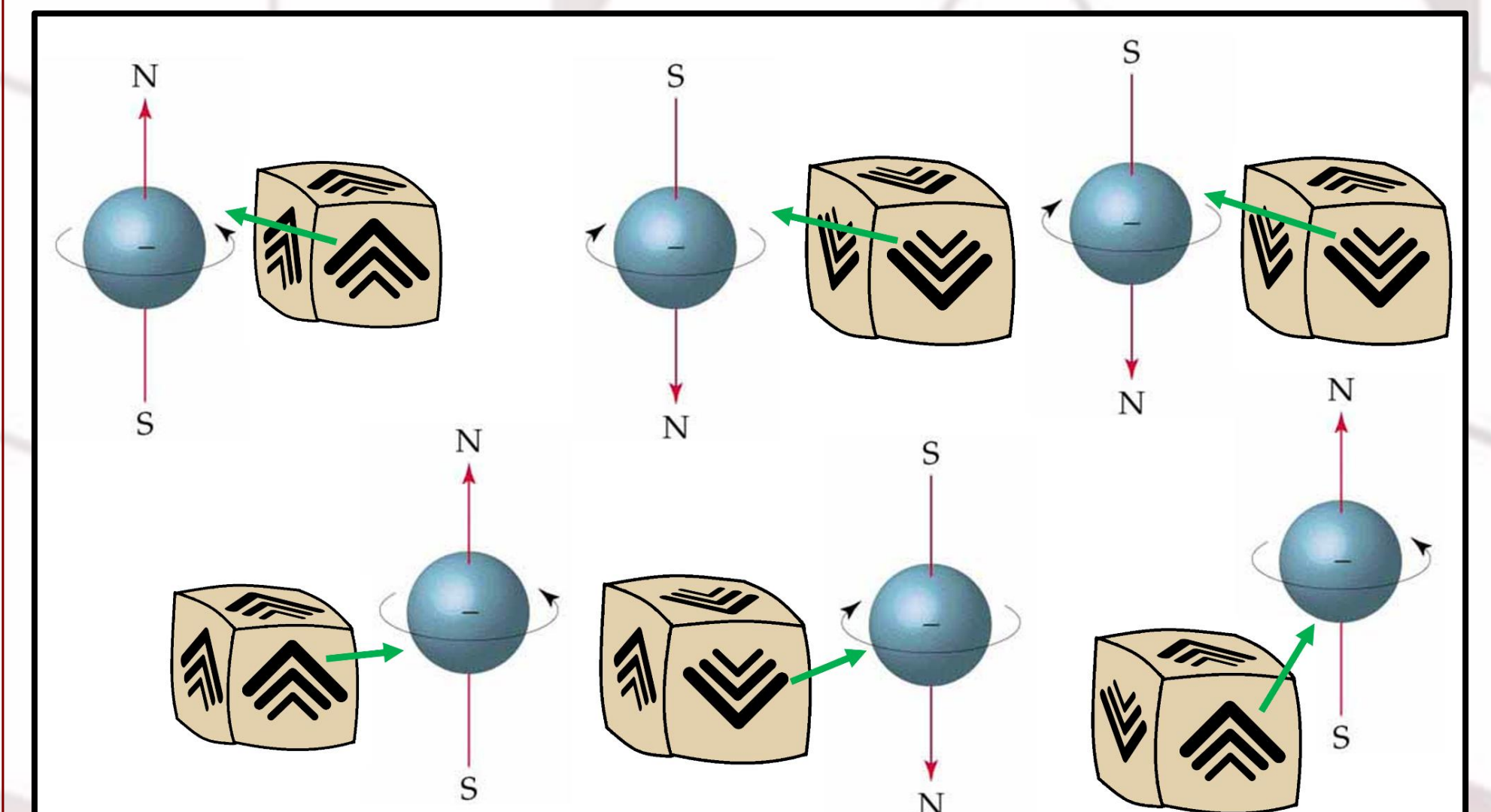


Fig. 10. El "giro" de los electrones es aleatorio, como si se tiraran los dados.

El signo menos es lo que te hace posible

Al rotar el universo 360° , la función de onda de las partículas de espín $1/2$ cambia de signo [5]. Este es el *hecho extraño número cuatro*. Si en un átomo se tienen dos electrones con el mismo espín y en el mismo lugar, y los rotamos 360° , la función de onda del sistema cambia de signo, pero a la vez no cambia porque los electrones son idénticos. Esto solo puede ser posible si la función de onda es 0, por lo tanto los electrones en los átomos no pueden estar en el mismo estado.

CONCLUSIONES

No existe una forma clásica de describir al espín, solamente mediante la maquinaria matemática de Dirac se puede predecir su comportamiento para hacer física. El espín es una propiedad fundamental del universo, sin analogías macroscópicas.

REFERENCIAS

1. Nouredine Zettili, "Quantum Mechanics, Concepts and Applications, 2nd. Edition", Ed. Compañía Editorial Continental, Jacksonville, 1994 pp 345-402
2. J. Wiener, "Science Teachers' Conceptions of Atomic Models," European Journal of Mathematics and Science Education, vol. 1, no. 2, pp. 67-80, Dec. 2020.
3. D. Haldy, R. Resnick, K. S. Krane, "Física, volumen 2, cuarta edición (versión ampliada)", Ed. Compañía Editorial Continental, ciudad, 1994 pp 541-546
4. J. Avendaño, L. Pérez Trejo, A. F. Méndez Sánchez, "El espín en la enseñanza ¿rota el electrón?", Memorias XXVI Reunión Nacional de Física y Matemáticas 26, pp 221-226 (2021)
5. N. Butto, "A New Theory for the Essence and Origin of Electron Spin," Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology, vol. 7, no. 1, pp. 1459-1471, 2021.