

GABRIEL BARCELÓ RICO -AVELLO

TEORÍA DE INTERACCIONES DINÁMICAS

"Vendrá un tiempo en que se asombrará la posteridad de que hayamos podido ignorar cosas tan evidentes, y lo que hoy nos parece tan oscuro, parecerá claro en un gran día por el transcurso de los siglos y la industria de vuestros descendientes". ("Las Cuestiones Naturales" Libro VII de Lucio Anneo Séneca. Nacido en Córdoba, año 4, falleció en Roma, año 65 d.c.)

$$V = \vec{\Psi} \cdot V_0$$



Agosto 2005/Septiembre 2006

Rev. 23/09/06

2.2.- PRIMEROS ESTUDIOS

Fue Galileo [32] quien inició el análisis dinámico de la composición de movimientos, enunciando su *ley de adición de velocidades*, o de composición de movimientos, como resultado de sus estudios sobre balística. No obstante, esta concepción de Galileo, deriva posteriormente en un análisis selectivo y discriminante de las acciones que causan el movimiento.

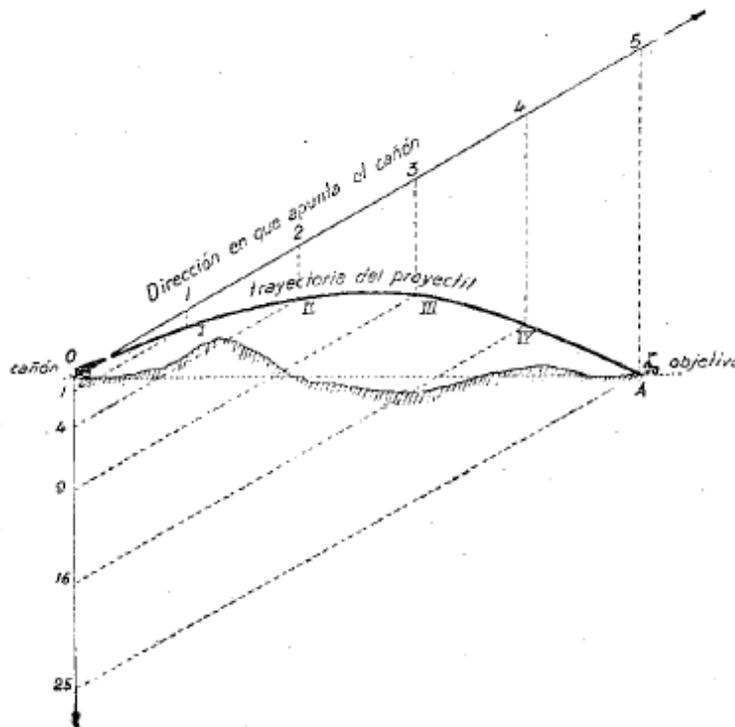


Fig. 2.º c— El movimiento uniforme que debería llevar la bala, compuesto con el uniformemente acelerado, que le imprime la gravedad, daría origen al parabólico OA, si el proyectil marchara por el vacío.

Figura 2.1. Ilustración 24 e del libro de Miguel Catalán [12] “Física Y Química”, en su edición de 1939.

2.5.- UNA CUESTIÓN OLVIDADA

Es necesario recordar que cuando en el siglo XIX y en los primeros años del XX se desarrollan estas investigaciones, se producen simultáneamente unos avances insospechados en la física, y en la matemática aplicada a la física: Maxwell propone la formulación del electromagnetismo, Einstein desarrolla la Teoría de la Relatividad, Boltzmann concibe su Mecánica Estadística y Heisemberg y Shrödinger la Mecánica Cuántica.

Ante esta avalancha de innovaciones y nuevas teorías físicas, las hipótesis sobre la formulación de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco parece que fueron olvidadas, no volviéndose a plantear este análisis, ni la revisión de la mecánica clásica rotacional.

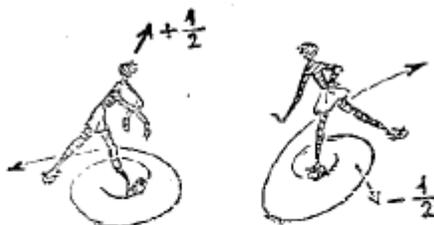


Fig. 24.º e.—El electrón gira alrededor de sí mismo como una peonza; el momento angular tiene siempre el mismo valor, $\frac{1}{2}$, pero unas veces es positivo y otras negativo (con respecto a una determinada orientación exterior).

Figura 2.3. Ilustración 24 e de Margarita Bernis para el libro de Miguel Catalán [12].

“Física Y Química”, en su edición de 1939.

En los años cuarenta y cincuenta del siglo XX se reitera el interés por el tema, al menos centrándose en el comportamiento de la peonza y de los fenómenos giroscópicos. Eminentes físicos, como Niels Bohr tratan, de nuevo, interpretar el comportamiento de la peonza y de los cuerpos dotados de momento angular. Durante esta época se publicaron numerosos artículos en revistas científicas, incluso aportando pruebas experimentales,

tratando de comprender el comportamiento de la peonza bajo un prisma científico y matemático. Existe una famosa fotografía del *Institute of physics* de la Universidad de Lund, Suecia, (Ver figura 2.2), en la que Wolfgang Pauli y Niels Bohr observan una peonza invertible, denominada *Tippe Top*. En los archivos del Vendsyssel Historical Museum de Dinamarca puede encontrarse todavía una recopilación de artículos de la época sobre la peonza.

Pero es necesario advertir como, en esa época Niels Bohr, y otros eminentes físicos se encontraban analizando el concepto de “spin” o rotación intrínseca del núcleo y de los electrones. Podemos suponer que el estudio científico de este concepto atómico indujo a revisar de nuevo la teoría rotacional, con los nuevos conceptos físicos disponibles, y con las nuevas formulaciones matemáticas aplicables.

Miguel A. Catalán no fue ajeno a esta corriente, y ya en su libro de “Física Y Química”, [12], compara al electrón con una peonza: “*El átomo de hidrogeno esta formado por una carga positiva, el núcleo, y a su alrededor gira constantemente un electrón negativo. Este, al tiempo de describir su orbita, gira alrededor de si mismo como una peonza*”.

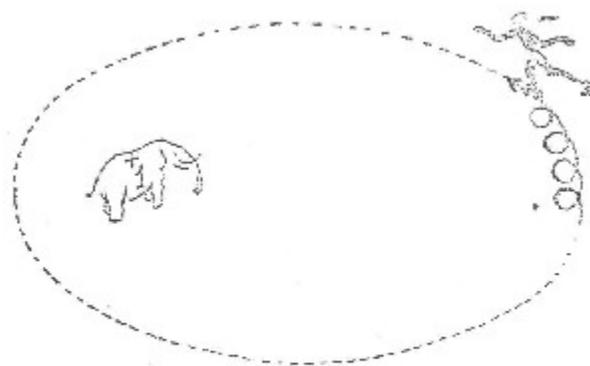


Fig. 13.º a. El átomo de hidrógeno está formado por una carga positiva, el núcleo, y a su alrededor gira constantemente un electrón negativo. Este, al tiempo de describir su órbita, gira alrededor de sí mismo como una peonza.

Figura 2.4. Ilustración 13 a de Margarita Bernis para el libro de **Miguel Catalán** y **Andrés León** [13]. “Física Y Química”, séptimo curso, en su edición de 1945.

Esta analogía conceptual la reitera en su texto “Física Y Química”, en su edición de 1945, [13] redactado junto con Andrés León. Es evidente que el interés de **Miguel A. Catalán** por el giroscopio y la peonza no era casual. Es habitual en la historia de la ciencia que en un determinado momento, múltiples científicos coincidan en estudiar los mismos fenómenos y proponer sus nuevas aportaciones o conclusiones en escritos que coinciden temporalmente. Podemos recordar como Euler ya había planteado una analogía entre los movimientos de la peonza y de la Tierra.

Pero esta nueva corriente revisionista del siglo XX únicamente aportó la incertidumbre planteada. En aquellos años no se disponía de ordenadores o de otros sistemas de cálculo numérico que permitiesen verificar estadísticamente los resultados teóricos con pruebas experimentales. Las ecuaciones obtenidas por los procedimientos habituales de la mecánica clásica resultaban irresolubles, se aplicaban procedimientos de cálculo simplificados, en las que incluso podían ser introducidas las correspondientes rectificaciones para poder llegar a obtener el resultado deseado. El procedimiento científico podía ser vulnerado con simplificaciones, subsanando así los obstáculos que permitirían rechazar radicalmente una solución o adoptar otra, obteniéndose resultados aparentemente aceptables. Todo ello impidió, en nuestra opinión, el avance científico y la aportación de nuevas hipótesis radicales en la comprensión de estos fenómenos.

3.2 – LAS CONJETURAS DE MIGUEL CATALÁN

La comprensión de los fenómenos giroscópicos, resultantes en los cuerpos dotados de momento angular, pudiera permitirnos iniciar un camino de acercamiento para poder conocer el verdadero comportamiento dinámico de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco. Para una mejor comprensión de nuestra argumentación realizaremos unos sencillos experimentos previos con un giróscopo convencional. Esta es la experiencia que el físico y profesor **Miguel Catalán** nos planteo a sus alumnos de bachillerato posiblemente en 1956. Era evidente que el **profesor Catalán** deseaba trasladar a sus alumnos ciertas conjeturas dinámicas, que otros muchos físicos de su época también se planteaban. En sus libros de texto se proponía una posible correlación entre la estructura del átomo y la dinámica rotacional.

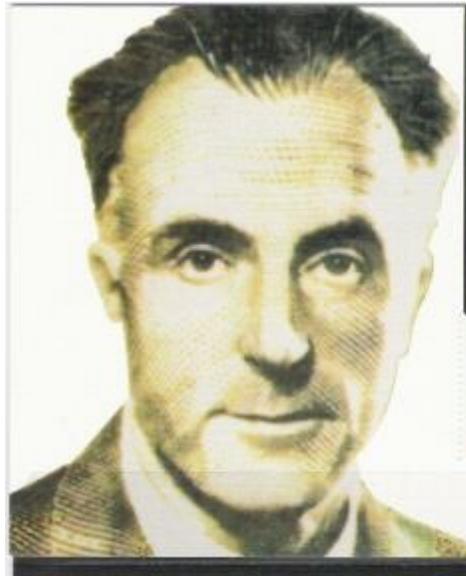


Figura 3.1. Imagen de Miguel A. Catalán Sañudo del sello de correos de España de 1994

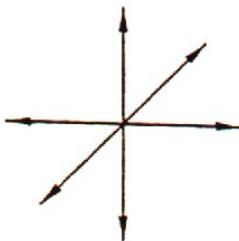
En primer lugar, generaremos en el gir6scopo un giro o rotaci6n de su rotor, mediante un par cuyo momento coincide con el eje de las **Z**. De esta forma le dotaremos de momento angular, que supondremos constante durante el tiempo de nuestras pruebas. A continuaci6n cogemos con una mano la carcasa de aparato, y realizamos los siguientes movimientos:

1. Traslaci6n en cualquier direcci6n: Tomando un gir6scopo en rotaci6n con la mano, se procede a moverlo en distintos sentidos en l6nea recta, manteniendo siempre paralelo su eje **Z**, no produci6ndose ninguna interacci6n distinta al peso.
2. Rotaci6n adicional sobre su eje de rotaci6n: Si se gira la carcasa sobre su propio eje de rotaci6n tampoco se aprecia interacci6n alguna.
3. Rotaci6n sobre otros ejes: Si se hace girar el gir6scopo sobre cualquier otro eje, se aprecia una resistencia al movimiento.

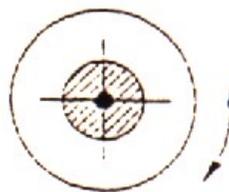
En resumen, tras realizar las pruebas experimentales que en sus conjeturas nos hab6a propuesto el **profesor Catal6n**, llegamos a la conclusi6n, con este breve proceso experimental, que se producen dos resultados claramente diferenciados, para el mismo experimento:

A) Sin interacciones

Traslaci6n en cualquier direcci6n



Rotaci6n adicional sobre su eje de rotaci6n

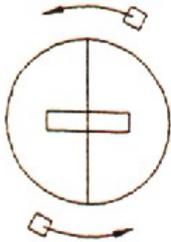


En el otro caso:

B) Aparece una resistencia inercial:

Rotación sobre

su eje X o Y



Rotación sobre

ejes X e Y



Se evidencia una resistencia cuando se produce un movimiento de giro sobre cualquier otro eje distinto al propio de rotación (Eje Z).

Puede interpretarse que un cuerpo con giro en su eje de simetría, al ser sometido simultáneamente a otra rotación sobre otro eje, genera una resistencia que debe entenderse cómo una fuerza de inercia. No obstante, en la mecánica clásica esta reacción inercial no es considerada como una fuerza, no incorporándose este fenómeno en la formulación general de la dinámica rotacional clásica.

Años después, al trasladar estas inquietudes a mis nuevos profesores de mecánica, la respuesta era siempre que el comportamiento del giroscopio era algo singular en la física. Pero esta explicación no podía complacerme, y me cuestionaba: ¿No existirán unas leyes generales de la dinámica rotacional en las que se pueda incorporarse el comportamiento del giroscopio como algo natural y consustancial?, ¿Puede aceptarse que un cuerpo en rotación tenga un comportamiento singular ajeno al resto de la dinámica? o bien: ¿No será que las magnitudes utilizadas o los formulismos matemáticos aplicados no son suficientemente idóneos?.

El **profesor Catalán** nos mostró también como ese mismo efecto podía observarse con una rueda de bicicleta, desmontada de su cuadro y preferiblemente sustituida la cubierta por una llanta de plomo. Este es un experimento usual para comprender la conservación del momento angular: Si se hace girar la rueda sobre su eje y se sostiene con una mano uno de los extremos del eje (o los dos, uno con cada mano), manteniendo el eje horizontal, y la rueda en un plano vertical, cualquier movimiento de torsión de las manos, para hacer girar el eje en el plano horizontal, producirá una evidente reacción de resistencia haciendo que la rueda, y las manos, giren alrededor de un eje perpendicular al eje de la rueda. En los museos de ciencia y en los laboratorios se propone este experimento para justificar el principio de conservación del momento angular. Situando al sujeto sobre un taburete cuyo asiento puede girar, cualquier desplazamiento angular del eje de giro de la rueda, sobre un eje distinto al del giro principal, generará una rotación del taburete, y del sujeto. Es muy cierto que con este experimento se confirma el principio de conservación del momento angular, pero también se olvida justificar la reacción inercial del cuerpo dotado de momento angular intrínseco, cuando es sometido a un nuevo giro no coaxial.

Incluso los carpinteros, pulidores y otros artesanos, al utilizar sierras o pulidoras radiales, han advertido esta reacción. No obstante, esta interacción no se incorpora en la formulación de la dinámica, limitándonos a aceptarla como un efecto singular denominado *par giroscópico*.

Cómo abstracción, y en el entendimiento de que todo giro es el resultado de un par de fuerzas, podremos inferir que al aplicar un par de fuerzas a toda masa con giro intrínseco, se genera una resistencia inercial, o aparente fuerza de inercia, que tiende a desplazar la masa. El resultado de estos simples experimentos nos confirma la existencia de una interacción, que apreciamos cómo una reacción o resistencia inicial, que se transforma en una aparente fuerza de inercia, que nos obliga a girar la muñeca.

En nuestra crónica sobre la observación de la naturaleza, a los primeros indicios y presunciones podemos añadir ahora las reacciones inerciales de cuerpos dotados de giro intrínseco y también las herramientas radiales. Podríamos deducir que los fenómenos objeto de nuestro interés se producían en los móviles con efecto giroscópico, en las trayectorias curvas de los cuerpos que se trasladan en el espacio con rotación, como el bumerán y las pelotas o balones con efecto, y posiblemente también en el denominado y peligroso “roll coupling” de los aviones, (Ver epígrafe 13.12).

4.3.1.- Distribución de velocidades puntuales

Recordando las conjeturas experimentales de **Miguel A. Catalán**. (Ver epígrafe 3.2), en el caso de adición de una traslación al disco en rotación de la figura 4.1, todos los puntos o partículas tendrán el mismo incremento de momento cinético, no se produce por tanto ninguna variación relativa en la composición vectorial de las velocidades de traslación resultantes.

En el caso de una nueva rotación coaxial debida a un par adicional sobre el mismo eje, tanto sea positiva cómo negativa, tampoco habrá una variación relativa en los distintos puntos del disco; éste aumentará o disminuirá su velocidad de rotación, pero sin producir una modificación relativa de la cantidad de movimiento de cada partícula. Ambas deducciones son coherentes con las pruebas experimentales del **profesor Miguel Catalán**.

4.8.- COMPROBACIÓN

A partir de las conjeturas y pruebas propuestas por el **profesor Miguel Catalán** con giroscopos, hemos llegado a inferir la existencia de un comportamiento dinámico peculiar, posiblemente no newtoniano, en los cuerpos dotados de momento angular intrínseco. Podemos, por tanto, proponer un modelo dinámico no newtoniano, por el cual, y en determinadas circunstancias, pueda producirse el acoplamiento entre pares y fuerzas o entre acciones que generan momentos angulares y momentos cinéticos traslacionales. Las hipótesis deducidas tras las primeras observaciones tenían que ser comprobadas para poder inferir un nuevo modelo físico-matemático, al menos mediante:

1. Simulación matemática
2. Experimentalmente: ¿Qué es necesario comprobar u observar?

Las simulaciones matemáticas realizadas fueron expuestas en el libro “*El vuelo del Bumerán*”. Es importante destacar como esta herramienta de predicción estimaba sistemas en equilibrio dinámico estable, coherente con el que visualizamos en los cuerpos dotados de momento angular intrínseco [4, página 246 y epígrafes 11.12 y 12.4.1].

El comportamiento de la peonza nos sugirió indagar sobre modelos matemáticos alternativos y comprobar si en este supuesto, se cumplen los principios de la mecánica clásica, ya que las fuerzas que actúan no generan movimientos uniformemente acelerados, sino un equilibrio dinámico estable. La simple peonza, mientras dispone de una velocidad de rotación suficiente, generada mediante un par inicial instantáneo, alcanza un equilibrio dinámico que para muchos autores ha sido un fenómeno paradójico. Mediante simulación matemática obteníamos, de nuevo, un resultado coherente y esperanzador.

4.9.- PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Se planteaba así un proyecto de investigación que había sido iniciado en colaboración con Alejandro Álvarez, con la simple observación de la naturaleza, y en el que se podían plantear las siguientes etapas:

- 1- Observación de la naturaleza: Planteamiento de conjeturas dinámicas.
- 2- Determinación de nuevas hipótesis dinámicas.
- 3- Simulación matemática.
- 4- Observación metódica de pruebas experimentales:
 - 1- Reproducción experimental del fenómeno
 - 2- Reiteración en distintas condiciones y para diferentes parámetros
 - 3- Observación de perturbaciones
 - 4- Reiteración minimizando perturbaciones.
- 5- Desarrollo de un modelo teórico físico – matemático.
- 6- Predicción de fenómenos a partir del modelo.
- 7- Comprobación del comportamiento real de los cuerpos en coherencia con el modelo.
- 8- Desarrollo de leyes de comportamiento a partir del modelo.
- 9- Propuesta de Teoría Dinámica.

Además, era preciso determinar el escenario en el que pueden producirse los fenómenos dinámicos que se desean observar. Es evidente que las condiciones iniciales son determinantes, por lo que es necesario aislar y conocer las condiciones idóneas para realizar las pruebas experimentales. Por ejemplo, el sólido rígido dotado con momento angular intrínseco sufrirá perturbaciones no deseadas si se encuentra en el seno de un fluido. La experimentación en vacío sería la idónea, pero exige un mayor coste.

El análisis de las perturbaciones permitiría establecer una estrategia idónea para determinar las condiciones en los que deben realizarse las pruebas. Este análisis permitiría también determinar las condiciones límites en los que se produce el cumplimiento de las leyes propuestas. En una última etapa se ratificará la teoría aplicando el proceso de experimentación a casos concretos.

Como resumen de lo expuesto, las conjeturas del profesor Catalán nos habían permitido llegar a inferir una distribución de velocidades y de aceleraciones en los cuerpos solicitados por giros no coaxiales, que no se conciliaba con los postulados de la mecánica clásica. Este análisis nos permitió deducir unas hipótesis dinámicas no newtonianas, diferenciadas para los cuerpos dotados de momento angular intrínseco, y unas previsible leyes de comportamiento en dinámica rotacional. Era necesario realizar las pruebas experimentales correspondientes que nos permitiesen confirmar o rectificar esas hipótesis, y en su caso, poder llegar a formular una verdadera *Teoría de Interacciones dinámicas*.

PARTE II

PLANTEAMIENTO

En esta segunda parte se describen las pruebas experimentales realizadas para confirmar las hipótesis dinámicas planteadas, así como su interpretación.

Con objeto de que cada alumno se acostumbre a pensar y a discutir por si mismo, interpretando lo mejor posible los resultados...

Extracto del prologo al libro [14] *Ejercicios Prácticos de Química* de **Miguel A. Catalán Sañudo**, Zaragoza, 1919.

9.9.- PROPUESTA DE UNA TEORÍA DE INTERACCIONES DINÁMICAS

Influidos por las *Conjeturas de Miguel Catalán*, y cómo resultado de nuestra aporía inicial, y del análisis dinámico del comportamiento de los cuerpos dotados de momento angular y sometidos a sucesivos pares, llegábamos a intuir ciertas contradicciones en la mecánica clásica: en ella se postula que el movimiento, en sí, no genera ninguna interacción y, por tanto, un movimiento de rotación sobre un eje no generará ninguna fuerza; tampoco que las interacciones gravitatorias queden alteradas por el movimiento de los cuerpos, sea este movimiento incluso el de rotación.

El estudio del comportamiento de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco nos ha permitido determinar las causas de su peculiar equilibrio dinámico. Hemos intuido la posible generalización del comportamiento de estos cuerpos en el espacio, identificando ejemplos de pares instantáneos o constantes. Este indicio fue complementado con un desarrollo matemático que nos permitiría fundamentar nuestra propuesta.

.....

No obstante, en nuestra opinión el análisis iniciado no acababa en los postulados expuestos, sino que por el contrario, pudiera ser el inicio de una nueva vía de experimentación física substanciada en nuevos descubrimientos, de gran interés científico.

En primer lugar, es necesario destacar que las magnitudes de la cinemática de los cuerpos en rotación resultan independientes del observador: el desplazamiento angular, la velocidad de rotación o el momento angular intrínseco son magnitudes que pueden referirse a un sistema de referencia situado en el propio cuerpo y que, por tanto, su medición será independiente del observador que realiza el experimento.

No obstante, para enunciar las leyes de este comportamiento en el espacio, y por tanto, desarrollar una **Teoría de Interacciones Dinámicas**, fue necesario comprobar experimentalmente todas las hipótesis inferidas a partir de las *conjeturas de Miguel Catalán*.

11.- AXIOMAS Y LEYES DE COMPORTAMIENTO

A partir de las Conjeturas de Miguel Catalán, concebimos unas hipótesis no newtonianas en dinámica rotacional, cuya formulación matemática permitía el diseño de un programa de simulación para determinar el comportamiento de los cuerpos en el espacio. La conciliación de ese programa de simulación, con la realidad, nos ha permitido concebir un modelo físico matemático de interacciones dinámicas, y a partir de este, proponer los axiomas de la dinámica rotacional no newtoniana y las leyes naturales resultantes.

Todo ello sustenta y constituye la Teoría de Interacciones Dinámicas, aplicable a los cuerpos dotados de momento angular intrínseco, cuando son sometidos a nuevos pares no coaxiales.

14.1.- A MANERA DE RESUMEN

A partir de la aporía entre rotación y orbitación, ha sido desarrollada una **Teoría de Interacciones Dinámica**. Esta se fundamenta en la incapacidad inercial de la materia, en determinados supuestos, de adicionar vectorialmente los momentos angulares resultantes y, en general, las magnitudes angulares de los cuerpos en rotación.

La **Teoría de Interacciones Dinámicas** permite desarrollar una dinámica específica de los sólidos en rotación, sometidos a sucesivos pares de fuerzas, en los que la secuencia de acción de las fuerzas determinan su comportamiento peculiar, que no coincide exactamente con las leyes de la mecánica clásica, pero si se concilia con la realidad física. El enunciado de las leyes de comportamiento de los móviles en el espacio, y por tanto, el desarrollo de la **Teoría de Interacciones Dinámicas**, ha sido realizado a partir de las conjeturas iniciales de **Miguel A. Catalán**, y tras comprobar experimentalmente las previsiones de estas hipótesis dinámicas, y el verdadero comportamiento inercial de la materia en rotación.

14.3.2.- Momento Angular En Física Atómica

Se define como *Espín* al momento angular intrínseco de una partícula subatómica. En la física atómica existen dos tipos de momentos angulares: el momento angular *espín* y el momento angular orbital.

En 1921 Arthur Compton, un joven físico estadounidense, tuvo la idea de que el electrón debería poseer un momento angular intrínseco o espín y, por lo tanto, la posibilidad de que su comportamiento pudiera asimilarse al de un imán. Existían diversos indicios, y experimentos que no podían ser explicados de manera satisfactoria. Uno de ellos, el llamado experimento de Einstein / de Hass (1915) mostró que el factor de Landé o razón giromagnética valía 2 en vez de 1 como la teoría predecía. Esta razón giromagnética está definida por la relación entre el momento magnético y la componente del momento angular en una dirección. También el experimento del efecto *Zeeman anómalo*, estudiado por **Miguel A. Catalán**, en el que se obtenían resultados en desacuerdo con la teoría. En el efecto *Zeeman* se aplica un campo magnético externo uniforme a un conjunto de átomos de hidrógeno y se mide la energía potencial debido a las orientaciones de los momentos dipolares magnéticos de los átomos. La experiencia mostró que la energía del estado fundamental se desdoblaba debido a la presencia del campo magnético aplicado, en dos componentes simétricas, respecto al nivel fundamental en ausencia de campo.

No obstante, la existencia de esa rotación del electrón se manifestó de forma muy directa en el experimento de Stern-Gerlach, realizado en 1921 y diseñado para determinar los valores posibles del momento de dipolo magnético.

En 1925, Wolfgang Pauli investigó el problema de por qué las líneas del espectro de los metales alcalinos no eran simples, conforme con lo que predecía la teoría de Bohr sino un *doblete*, o sea, en el espectro se obtenían dos líneas en vez de una. Esto podía ser explicado nuevamente si se suponía que el electrón podía existir en dos estados. Posteriormente **Miguel A. Catalán** observó la existencia de lo que él denominó como *multiplétes*, que

permitían sugerir una estructura atómica mas compleja, basada en múltiples electrones, dotados de espín, en diferentes configuraciones energéticas alrededor del núcleo.

El concepto de espín electrónico apareció inicialmente cómo una hipótesis que debía ser agregada al resto de la teoría cuántica. Se pensaba que el espín podía ser tratado en forma análoga a un trompo girando sobre su eje, sin embargo, no llego a concebirse una teoría clásica rigurosa sobre el espín, a pesar de que prestigiosos físicos como Niels Bohr exploraban estas hipótesis. (Recordar lo expresado en el epígrafe 2.5). Posiblemente en esta corriente de pensamiento se encontraba **Miguel A. Catalán** cuando nos explicaba a sus alumnos los fundamentos de la física atómica y el comportamiento de las partículas atómicas. (Ver figuras 2.3; 2.4 y 14.6).

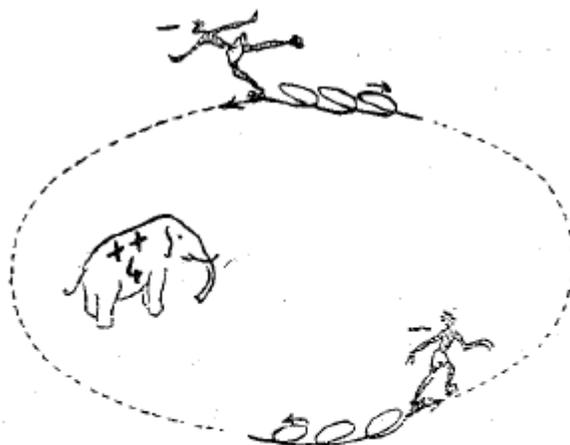


Fig. 24.º f.—El átomo del helio, $Z = 2$, está formado por un núcleo, con dos cargas positivas, y dos electrones negativos que giran a su alrededor; normalmente éstos ocupan la misma órbita, pero girando en sentidos contrarios, constituyendo una pareja de electrones.

Figura 14.6. Ilustración 24 f de Margarita Bernis para el libro de **Miguel Catalán** "Física Y Química", en su edición de 1939.

Por último, la formulación de Dirac, incorporando su famosa ecuación dinámica, incluía el espín electrónico y la relatividad especial. En su teoría, las propiedades del espín se obtienen en forma natural a la misma, y no necesitan hipótesis adicionales.

No puede subestimarse la influencia del espín en la física moderna, siendo hoy uno de los conceptos centrales de esta ciencia, y tanto en la física cuántica como en los fenómenos cooperativos, ha jugado un papel fundamental para entender una gran diversidad de fenómenos, por ejemplo el ferromagnetismo.

Hemos realizado un breve análisis del concepto de momento angular en la física atómica y en la cuántica con el fin de conocer cómo se han entendido estas variables en estos campos de la física, en el entendimiento de que las nuevas hipótesis dinámicas que se sustentan permitirían una revisión de estas estructuras del conocimiento...

EPILOGO

"Lo que sabemos no es mucho; lo que ignoramos es inmenso".

Ultimas palabras de P. S. **de Laplace** antes de morir.

Al combinar el ocio con un constante deseo de aprender, a edad muy temprana mi padre me infundió una mentalidad inquisitiva, al plantearme el reto de deducir las leyes físico – matemáticas que determinaban los saltos que sobre un espejo de agua realizaban las piedras planas, impulsadas con fuerte velocidad de traslación y con rotación intrínseca.

Posteriormente el **Profesor Miguel Catalán** nos planteo a sus alumnos una serie de conjeturas al mostrarnos el giróscopo y su funcionamiento. Años después, tras la observación del sistema solar y del comportamiento de los planetas, me planteaba la aporía de la orbitación y la rotación. A la luz de una nueva visión de la física rotacional, fueron expuestas estas inquietudes en *"El Vuelo del Bumerán"*. ¿Estas inquietudes eran incorrectas e independientes? o, por el contrario ¿Respondían a un marco referencial común?. Estas dudas me incitaron a iniciar el estudio de los cuerpos dotados con momento angular intrínseco.

Al ser desarrollada matemáticamente una dinámica geométrica, ajena al comportamiento inercial de la materia, en los primeros textos de física, ciertos comportamientos de los cuerpos dotados de momento angular intrínseco se definieron como paradójicos. Se admitía la existencia de comportamientos singulares y diferenciados, como el denominado *efecto giroscópico*, concepto ajeno al resto de la estructura de la mecánica clásica. El efecto giroscópico y el par giroscópico resultante en los cuerpos dotados de momento angular, intrigaban a los físicos de los siglos XIX y XX. Sus experiencias eran transmitidas por los profesores a sus alumnos, como conjeturas dinámicas. El físico y profesor **Miguel Catalán** planteaba a sus alumnos conjeturas dinámicas en los años cincuenta del pasado siglo.

.....