

EL EFECTO GIROSCÓPICO

CHINI, María Rita

Colegio Konrad Lorenz, Luján de Cuyo, Mendoza

Pofesor Guía: LUQUEZ, Edgardo Guillermo

A)- IDENTIFICACIÓN DEL CONCEPTO PROBLEMÁTICO.

¿Por qué un trompo parece desafiar la ley de la gravedad? ¿Por qué personas normales, sin habilidades de equilibristas, pueden conducir tanto bicicletas como motocicletas sin caerse? ¿Por qué los proyectiles que giran sobre su eje mantienen una trayectoria tan estable? Todos estos fenómenos cotidianos, nos rodean y suceden normalmente. Y por supuesto, al igual que todo suceso que ocurre en la Tierra poseen una explicación física.

Todos estos hechos, implican una cierta estabilidad por parte de cuerpos rígidos en rotación. Esta estabilidad intrínseca y otros fenómenos pueden ser explicados gracias al efecto giroscópico.

En sí, un giroscopio o giróscopo es un dispositivo mecánico formado esencialmente por un cuerpo con simetría de rotación que gira alrededor de su eje de simetría y cuyo eje de giro no es fijo, sino que puede cambiar de orientación en el espacio. Cuando se somete el giroscopio a un momento de fuerza que tiende a cambiar la orientación del eje de rotación su comportamiento es aparentemente paradójico ya que el eje de rotación, en lugar de cambiar de dirección como lo haría un cuerpo que no gire, cambia de orientación en una dirección perpendicular a la dirección "intuitiva".

Este principio se ha utilizado en diversas aplicaciones, particularmente en relación con el control y guía de aviones, barcos, proyectiles, etc. Los giroscopios se han utilizado en girocompases y giropilotos. A su vez, la Tierra es un gran giróscopo.

Algunos Conceptos previos necesarios para entender el efecto giroscópico.

Cuando la trayectoria de un objeto es una curva, en cada uno de sus puntos se define su velocidad lineal v como un vector tangente, en ese punto, a dicha trayectoria. Esta velocidad lineal o numérica v , es el cociente entre el arco recorrido (espacio) y el tiempo empleado. En símbolos:

$$v = \frac{AB}{t}$$

A si mismo, la velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación y corresponde al cociente entre el ángulo descrito y el tiempo empleado en describirlo. En símbolos:

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

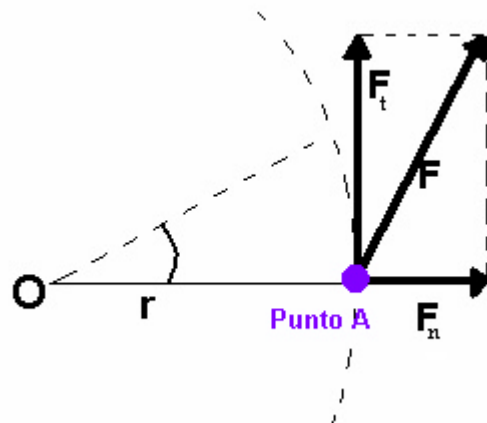
El vector que se le asocia tiene como módulo el valor escalar de la velocidad angular y como dirección, la del eje de rotación.

Por otra parte, puede probarse que en el movimiento circular uniforme el módulo de la velocidad lineal v y el de la angular ω se relacionan, a través del radio r de la circunferencia, mediante la siguiente expresión:

$$v = r \cdot \omega$$

Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo rígido y se modifica su movimiento de rotación, el origen de este cambio es el momento de fuerza, también llamado *momentum*, torque o par.

Llamamos momento de una fuerza con respecto a un punto, al producto de la fuerza aplicada por la distancia al punto considerado.



En el caso del sólido rígido en rotación, sea cual fuere la dirección de la fuerza ejercida, ésta puede descomponerse en dos, una F_n en la dirección del radio r y la otra F_t perpendicular al mismo. El momento de la primera respecto al punto es nulo y el de la segunda es un vector que tiene por módulo:

$$M = r \cdot F_t$$

Siendo su dirección paralela al eje y su sentido el indicado por la regla del tornillo, de Maxwell o de la mano derecha¹.

Esta expresión del momento la podemos escribir teniendo en cuenta que $F = m \cdot a$:

$$M = m \cdot a \cdot r$$

Llamando α a la aceleración angular. Se tiene: $a = r \cdot \alpha$ (siendo $a = dv$, por lo tanto quedaría $a = r \cdot d\omega$, y por lo que $a = r \cdot \alpha$), queda en definitiva:

$$M = m \cdot r^2 \cdot \alpha$$

Cuando se genera el momento de una fuerza sobre un cuerpo, se le provoca una aceleración angular que será mayor, cuanto mayor sea el momento que se le aplique.

Por otro lado el **momento de inercia** es una medida de la resistencia que opone un cuerpo a sufrir aceleraciones angulares, éste se representa con la siguiente ecuación:

$$I = \sum m \cdot r^2$$

En conclusión podría definirse al momento M de una fuerza con la ecuación $M = I\alpha$, siendo ésta la expresión fundamental de la Dinámica ($F = ma$) en el movimiento de rotación. (El momento de inercia depende de la forma del elemento y del eje escogido)

Si multiplicamos los dos miembros de la fórmula por dt , teniendo en cuenta que $\alpha = d\omega$, obtendremos:

$$M dt = I\alpha dt = I d\omega = d(I\omega) = dH$$

La expresión $M dt$ recibe el nombre de impulso elemental de rotación, y la magnitud $H = I\omega$ de momento cinético. La ecuación nos indica que el impulso de rotación es un intervalo de tiempo determinado, el cual es igual a la variación que ha experimentado el momento cinético durante el mismo intervalo de tiempo.

De la expresión anterior se deduce:

$$M = \frac{dH}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt}$$

Si suponemos $M = 0$, es decir, que el momento resultante de las fuerzas aplicadas es nulo, el momento cinético permanece constante, ya que:

$$\frac{d(I\omega)}{dt} = 0$$

$$I\omega = \text{cte.}$$

B)- DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN DISPOSITIVOS EXPERIMENTAL SIMPLE (GIROSCOPIO)

Mediante el empleo de elementos cotidianos se puede construir un giroscopio sencillo que permita a los estudiantes entender ciertos fenómenos que pueden llegar a ser un poco abstractos y escapan a la intuición, como el movimiento giroscópico.

Este giroscopio propuesto como dispositivo experimental consiste en una rueda de bicicleta, tubos, una polea, una pesa de 2kg, y otros elementos que se pueden encontrar en cualquier casa o en alguna ferretería

Este giróscopo nos va a permitir realizar tres experiencias que pueden llegar a hacer palpables leyes físicas como las que rigen este tipo de movimiento.

¹ Por definición el producto vectorial de dos vectores. A y B es igual a otro vector C cuyo módulo vale $C = AB \sin(A,B)$ cuya dirección es perpendicular al plano formado por ambos vectores y cuyo sentido es el de traslación de un tornillo situado según la dirección perpendicular al plano de los dos vectores.

Construcción del dispositivo para la primera y segunda experiencia.

Para la construcción del dispositivo básico (giroscopio) se utilizó la rueda de una bicicleta vieja. Se le soldaron dos extremos de manubrio de bicicleta a los rulemanes de giro, teniendo uno de ellos una especie de punta que sirve para la segunda experiencia. Además, en un lado de la rueda se le adosó una polea, en donde se va a enrollar un hilo para poder hacer girar el giroscopio a mayor velocidad.



Primera Experiencia.

Una persona, en este caso un alumno, sostiene el giroscopio con ambas manos, mientras que otro con ayuda del hilo lo hace girar. La persona que sostiene el giroscopio verifica que al tratar de inclinar el dispositivo hacia la derecha, éste empuja su mano derecha y tira de su mano izquierda, es decir, al empujar hacia abajo el extremo derecho, la persona siente como levemente éste se mueve hacia él.

Además de comprobar que hay una mayor dificultad para mover el giroscopio hacia sus costados cuando se encuentra en movimiento, que cuando no está girando. El alumno acaba de tener su primer acercamiento al efecto giroscópico.

Segunda Experiencia.

Aquí empieza verdaderamente la aplicación y comprobación de los conceptos teóricos que rigen este movimiento. Para nuestra segunda experiencia, se da vuelta el giroscopio y se coloca en el suelo el extremo del manubrio que es más agudo hacia el final. Se enrolla el hilo, y luego se tira de él para hacer girar el dispositivo, de la misma manera que se hace con un trompo.

Luego de un tiempo girando, el eje de simetría tiende a inclinarse hacia un lado a causa de la fuerza de la gravedad. El eje OX se encuentra inclinado, y se mueve describiendo alrededor de la vertical OZ una superficie cónica. A este movimiento de giro se lo denomina movimiento de precesión, y a la vertical OZ eje de precesión. Generalmente el ángulo θ varía periódicamente durante el movimiento de precesión, de forma que el eje de giro oscila acercándose o alejándose de la vertical. Este movimiento se llama nutación y el ángulo ϕ ángulo de nutación.

Después de observar los tres tipos de movimientos que se dan en el giroscopio (rotación, precesión y nutación), se analizarán las causas del movimiento de precesión, no teniendo en cuenta el de nutación.

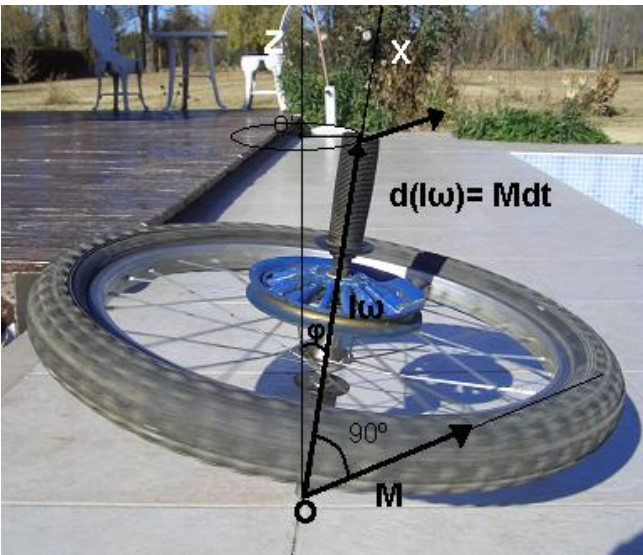
Sobre el dispositivo actúa su peso (mg) en su centro de gravedad G. Considerando el punto O como fijo, en él aparece una fuerza de reacción $-mg$ y, por lo tanto existe un par que tiende a que el giroscopio caiga, lo cual no ocurre debido a su movimiento de rotación con eje en OX. Llamamos



M al momento de este par de fuerzas respecto al punto fijo O, cuya dirección será perpendicular, en cada instante al plano definido por el eje OX y el de precesión OZ, cuyo sentido vendrá dado por la regla de Maxwell (se da por sobreentendido que el producto vectorial de dos vectores AB es igual a un tercer vector C, cuya dirección es perpendicular al plano formado por ambos vectores)

Debido al movimiento giro del giroscopio alrededor del eje OX, existe un momento cinético, cuyo valor es $I\omega$, siendo I el momento de inercia del dispositivo respecto al citado eje y ω su velocidad angular. Este momento cinético estará representado por un vector cuya dirección será la del eje.

Se sabe que la variación sufrida por el vector momento cinético, durante el intervalo dt es igual en magnitud a $M dt$, siendo su dirección y sentido el vector M. En la fotografía se hallan ilustrados los



vectores $I\omega$ y M, perpendiculares entre sí, y el vector $M dt$, paralelo a M. La suma vectorial de $I\omega$ y $d(I\omega)$, representa el valor que adquiere el momento cinético al cabo del tiempo dt y, por consiguiente nos da la nueva posición del eje OX al cabo del intervalo de tiempo.

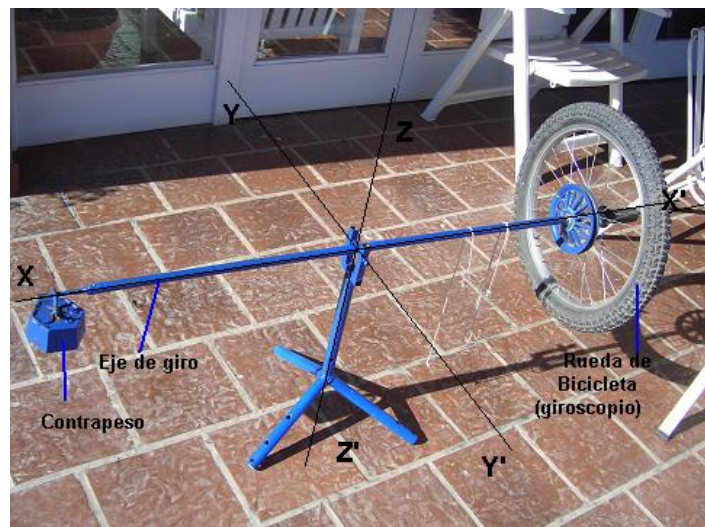
Se observa que el vector $d(I\omega)$ es normal al plano definido por OX y OZ. Como transcurrido el intervalo dt las circunstancias se repiten, es decir, el vector M modifica su dirección de forma que continúa siendo normal a la nueva orientación del plano OXZ, el extremo del vector $I\omega$ describe un círculo, el cual es tangente en cada punto al vector $d(I\omega)$. El eje de giro describe, pues, una superficie

cónica como se había indicado anteriormente.

La velocidad angular del giroscopio va disminuyendo, como causa de los rozamientos, aumentando el ángulo θ hasta que llega un momento que el dispositivo cae al suelo.

Construcción del dispositivo para la tercera experiencia.

Para la realización de la tercera experiencia se diseñó y construyó un soporte a base de tubos. El giroscopio se enrosca en el extremo de un tubo (eje de giro) que posee del otro lado un contrapeso móvil, que puede moverse a lo largo de aquél y equilibrar o no el peso del giroscopio. Este eje, como puede verse en la fotografía puede girar en torno del eje horizontal YY', y a su vez el conjunto del aparato puede girar en trono del eje vertical ZZ'. Es decir, que el eje del giroscopio puede girar libremente en torno a dos ejes perpendiculares entre sí.



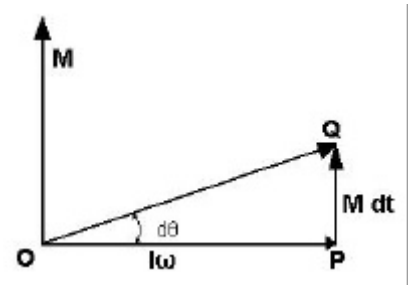
Tercera experiencia.

Para esta tercera experiencia se construyó un soporte especial, como se indicó anteriormente. Se extrae uno de los extremos del giroscopio (desatornillándolo) y se une el dispositivo a su nuevo eje de giro.

En un primer momento se coloca el contrapeso de forma que equilibre el peso del giróscopo, si en estas condiciones, se le comunica un movimiento rápido de rotación, se observa que el eje de giro permanece inmóvil, no hay movimiento de precesión.

Se le vuelve a comunicar un movimiento rápido de rotación, pero esta vez se desliza el contrapeso hacia la derecha, cesa el equilibrio entre éste y el giroscopio y a primera vista parece que, a consecuencia de ello, el eje debería inclinarse hacia el volante. Sin embargo no ocurre esto, sino que manteniéndose el eje horizontal comienza a girar en torno del eje vertical ZZ'. Este movimiento de precesión es análogo al indicado en la segunda experiencia. A su vez, se puede invertir el sentido del movimiento precesión corriendo el contrapeso hacia la izquierda.

Esto se explica, ya que existe un desequilibrio entre el peso del giroscopio y el contrapeso, que da lugar a un par resultante cuyo vector viene representado por el vector M, cuya dirección es la del eje YY'. El momento cinético del giroscopio está representado por $I\omega$, según la dirección del eje XX'. Teniendo en cuenta lo explicado en la experiencia anterior, obtenemos, análogamente, que en el intervalo dt , el momento cinético del dispositivo $I\omega$ se ha incrementado en $M dt$. En la figura se han representado ambos vectores, suponiendo que el plano de la figura coincide con el definido por los ejes XX' e YY'. El vector OQ define el vector momento cinético al cabo del intervalo dt , y por consiguiente la nueva posición del eje de giro XX'. Se desprende, que siendo PQ infinitamente pequeño, los segmentos OQ y OP difieren en un infinitésimo, es decir, el módulo del movimiento cinético permanece constante, variando solamente su dirección.



Al mismo tiempo que el eje de giro del giroscopio ha girado un ángulo $d\theta$, durante el tiempo dt , el vector M ha sufrido una rotación igual a $d\theta$. Es decir, que en cada instante los vectores $I\omega$ y M son perpendiculares.. Además podemos deducir de la velocidad angular de precesión:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Siendo:

$$\operatorname{tg}(d\theta) = \frac{PQ}{OP} = \frac{M dt}{I\omega}$$

Dado que $d\theta$ es infinitamente pequeño, la tangente se confunde con el ángulo, y por consiguiente queda:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{M}{I\omega}$$

Esta expresión nos dice que la velocidad angular de precesión en un giroscopio es igual al momento del par aplicado, dividido por el momento cinético. Esto quiere decir, que la velocidad de precesión es tanto más menor cuanto mayor sea la velocidad de giro del giroscopio y su momento de inercia. Por otro lado, el sentido de precesión del giroscopio es tal que el vector momento cinético tiende a coincidir con el vector momento del par.

A modo de conclusión, puede decirse que el efecto giroscópico es aquel que permite que un objeto que gira alrededor de su eje de simetría, se mueva en un sentido a 90° de la dirección de la fuerza aplicada.

C)- MANERA EN QUE EL PROYECTO PUEDE SER APLICADO EN EL AULA.

Este proyecto es una forma sencilla de comprender ciertos conceptos de dinámica y mecánica, como el movimiento giroscópico. La implementación de este trabajo puede llevarse a cabo en tres etapas diferenciadas.

La primera de todas, es la problematización de ciertos fenómenos cotidianos, como el movimiento de bicicletas, motocicletas o el trompo, los cuales son movimientos que encierran en sí mismo mecanismos más complejos de lo que aparentan. Además hay que aclarar ciertos conceptos indispensables que el movimiento circular o de rotación.

Luego de identificar el problema, se pasa a la etapa de ejecución y experimentación. En este punto, se construye el dispositivo experimental y se llevan a cabo las tres experiencias propuestas más arriba. La primera consiste en un primer acercamiento al nuevo fenómeno, mientras que las

otras dos, sirven como vehículo para nuevos conceptos. Estos experimentos se pueden trabajar con el planteo previo de hipótesis.

Después de la experimentación, viene la etapa de conceptualización de los hechos observados, y una explicación por parte del profesor, de la dinámica del movimiento giroscópico. Luego de la explicación teórica, pueden repetirse los experimentos propuestos, para su mayor comprensión.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

LIBROS:

- CALDERON, Silvia E., CODNER, Gabriel y otros. *Física Activa*. Buenos Aires: Puerto de Palos, 2001
- GARCIA SANTESMASSES, José. *Física General*. 3° ed. Madrid, 1960
- MIGUEL, Carlos R. *Física*. 13° ed. Buenos Aires: Editorial Troquel S.A., 1980
- RUBINSTEIN, Jorge y TIGNANELLI, Horacio. *Física I La energía en los fenómenos físicos*. Buenos Aires: Estrada Polimodal, 2000

PÁGINAS DE INTERNET:

- Giróscopo*. [en línea] Wikipedia [fecha de consulta: 16 de mayo 2007] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Giroscopio>
- Giroscopios: el maravilloso mundo de unos artilugios increíbles*. [en línea] Microsiervos (Ciencia) [fecha de consulta: 17 de mayo 2007] Disponible en: <http://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/giroscopios.html>