

Dinámica del movimiento rotacional: propuesta de experiencias sencillas para facilitar su comprensión

(*Rotational dynamics: simple experiments to enhance students' understanding*)

N. Beraha, M.F.Carusela y C.D.El Hasi¹

Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines, Argentina
Recibido em 11/5/2009; Revisado em 26/8/2009; Aceito em 31/8/2009; Publicado em 18/2/2010

Presentamos una propuesta de innovación en la enseñanza del movimiento rotacional a través de la realización de experiencias sencillas. La implementación de experiencias de fácil realización permitiría una mejor articulación entre el abordaje experimental y la discusión de los modelos teóricos que se analizan. Elaboramos una serie de actividades de tipo práctico-demostrativo para la enseñanza de la conservación del estado de movimiento rotacional.

Palabras-clave: enseñanza de física, material didáctico, actividad experimental, mecánica.

We propose an innovative approach to the teaching of rotational motion to be achieved through simple experiments. The implementation of simple experiments would allow a better articulation between the experimental approach and the discussion of the theoretical models that are analyzed. We suggest a series of practical demonstrations for the teaching of conservation of the state of rotational motion.

Keywords: physics teaching, didactic material, experimental activity, mechanics.

1. Introducción

En general, los cursos de física tradicionales se basan en la *clase magistral* donde el docente expone los conceptos e ideas generales en el frente. De esta forma los estudiantes escuchan y toman apuntes, en una actitud relativamente pasiva respecto de su propio proceso de aprendizaje. Por muy buena que sea la dinámica de la clase y muy didáctica la explicación del docente, no necesariamente se garantiza un aprendizaje significativo [1]. Pasar a un modelo didáctico de tipo investigativo permitiría estimular el compromiso de los estudiantes en el aula, buscando tanto enfrentarlo a situaciones más relevantes para él, como permitirle un mayor protagonismo en las actividades a desarrollar.

Usualmente, los estudiantes llegan al aula con una variedad de ideas previas, que obedecen a la heterogeneidad de su experiencia o formación anteriores [2,3]. Interpelarlos con actividades concretas ayudaría a explicitar las mismas y permitiría al docente realizar intervenciones o plantear estrategias didácticas que faciliten el proceso de aprendizaje. Si bien el problema es de gran importancia, no es mucha la investigación realizada en este campo. Las actividades aquí propuestas podrán servir de guía al docente para mejorar su estrategia de enseñanza. Asimismo, cuando se

realizan exposiciones orales, se da pie a la posibilidad de múltiples interpretaciones. Si bien ha habido mucha controversia acerca de la realización de trabajos prácticos en el nivel universitario [4,5], la estrategia de implementar demostraciones experimentales en el aula (para una recopilación de trabajos sobre el tema véase por ejemplo [11]) permitía atenuar estos escollos al discutir sobre ejemplos puntuales y concretos [6,7]. Por otro lado, consideramos que la observación directa en clase podría ser una aproximación más apropiada para abordar temas generalmente difíciles. Existen en la literatura, diversas propuestas experimentales para abordar el estudio del movimiento rotacional, por ejemplo [12–15]. Con el fin de presentar una propuesta didáctica, en el marco de la realización de experiencias en el aula, hemos desarrollado un conjunto de experimentos sencillos relacionados con sistemas en movimiento rotacional.

Nuestro objetivo es facilitar la apropiación de conceptos físicos mediante la modelización de situaciones reales, entendiendo por modelización la elaboración de esquemas conceptuales *simplificados* del fenómeno en cuestión, donde sólo se toman en cuenta aquellos factores considerados relevantes para comprenderlo. A modo de ejemplo, podemos citar el estudio de la caída

¹E-mail: claudio@ungs.edu.ar.

libre donde sólo se tiene en cuenta la aceleración de la gravedad y se desprecia toda otra influencia como ser: el rozamiento con el aire, el tamaño y/o color del objeto, etc. En el estudio de la mecánica se comienza analizando el movimiento de traslación en forma exhaustiva, dejando para una etapa posterior el estudio del movimiento rotacional. Desde el punto de vista conceptual esta diferenciación no es necesaria, pero nuestra propia experiencia en diversos cursos nos muestra que es conveniente realizarla dadas las dificultades que se presentan al introducir este tema. Efectivamente, resulta bastante antinatural o contra intuitivo la idea de que el movimiento de un cuerpo resulta en una dirección diferente a la de la fuerza aplicada. Las ideas de sentido común, como por ejemplo: “para que algo se encuentre en movimiento debe haber una fuerza aplicada constantemente”, deben ser discutidas y revisadas a fin de desarrollar los conceptos que le permitan al estudiante acercarse a la noción de inercia, la cual se desarrolla inicialmente en relación al movimiento traslacional. Extender estos conceptos al estudio de los movimientos rotacionales no es sencillo ya que involuntariamente resurge la idea de la necesidad de una fuerza para que se produzca movimiento, lo cual requiere un fuerte trabajo de discusión y análisis crítico [3]. En el desarrollo de esta presentación haremos algunas sugerencias para trabajar en el aula, describiremos la metodología a implementar a partir de la realización de experimentos sencillos, detallando los materiales necesarios para realizarlos. Haremos hincapié en el hilo conductor que puede guiar al profesor en la utilización de estas demostraciones en el aula. Estas experiencias deben ser complementadas incorporando preguntas guía, ejemplos que acompañen la explicación de las mismas (algunos se darán más adelante a modo ilustrativo) y ejercicios que permitan idealizar la situación.

2. Descripción, materiales y métodos

2.1. Movimiento de revolución

2.1.1. Experiencia I

Con el objeto de indagar los preconceptos que los alumnos tienen acerca de la conservación del estado de movimiento y la diferencia entre inercia traslacional y rotacional, se propone la realización de la siguiente experiencia demostrativa. Este experimento aparece sugerido en el libro de Arons [1].

Se utilizará una superficie que deberá ser plana, limpia y lisa, preferentemente un corte de placa de madera laminada o acrílico. Se recomienda utilizar algún material liviano (para facilitar su traslado), y con bajo rozamiento en una de sus caras. Una tira de chapa lisa, u otro material con características similares, de dimensiones determinadas por el diámetro de la bolita a utilizar y el radio de la circunferencia a inscribir en la placa.

Para armar el dispositivo se dibujará una circunferencia sobre la placa de madera. Posteriormente, se pegará la tira de chapa sobre el contorno de la circunferencia marcada dejando una abertura en la misma, como indica la Fig. 1.

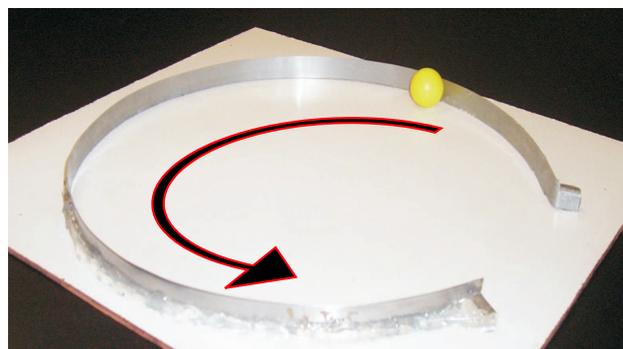


Figura 1 - Pista circular.

Antes de realizar la experiencia, se muestra el dispositivo a los estudiantes, indicando qué es lo que se pretende realizar. Se consulta acerca de: ¿cuál esperan que sea el resultado de arrojar la bolita? ¿cómo se moverá al llegar a la abertura? ¿pueden relacionarlo con algún otro ejemplo o situación de la vida cotidiana? etc. Se le imparte a la bolita una velocidad inicial de forma tal que ésta se mueva sobre la superficie plana y en contacto con la superficie interior de la pista, como indica la Fig. 1. Proponemos iniciar la discusión con los alumnos sobre lo observado en la experiencia a partir de la siguiente pregunta: cuál es la causa de la diferencia de comportamiento?

Otro aspecto de la discusión consiste en analizar los factores relevantes en función de los cuales se contruye el modelo físico. Por ejemplo: ¿depende el movimiento del color de la pelotita? ¿la trayectoria depende de las características de las superficies en contacto? ¿la velocidad de movimiento de la pelotita depende de la hora del día? ¿el resultado de la experiencia depende del tamaño de la bolita? Las respuestas dadas por los estudiantes, tanto antes como después de realizado el experimento, se pueden utilizar para enriquecer y ampliar la discusión del mismo. Interesante sería repetir la experiencia con bolitas de diferentes colores, tamaños y masas para verificar los resultados experimentales. Si el dispositivo presenta muy bajo rozamiento, como el utilizado en la Fig. 1, los resultados no dependerán de la rotación de la bolita alrededor de su centro de masa siguiendo una trayectoria rectilínea al finalizar la pista circular. Entre los ejemplos que suelen aparecer o sugerirse ante planteos de este tipo podemos citar:

- el movimiento de una piedra atada a un hilo, la cual se hace girar sobre la cabeza en un plano horizontal
- el giro de un chico subido a un carousel

- el movimiento de los motociclistas en el denominado “globo de la muerte”
- la trayectoria de una bolilla en el juego de ruleta
- las trayectorias que describen las chispas cuando afilamos algo utilizando una amoladora

Estos ejemplos deben ir acompañados por problemas que permitan modelizar la situación y reflexionar sobre los conceptos involucrados en los mismos. Se sugiere para una discusión más profunda de estos conceptos, la lectura de los libros de Hewitt [8] y Hetch [9], a fin de enriquecer el abordaje de los temas.

2.2. Movimiento de rotación

El momento angular o momento cinético L es una magnitud vectorial asociada al movimiento de rotación de un sistema y puede expresarse como el producto de dos magnitudes (que se suponen discutidas previamente): la velocidad angular ω y el momento de inercia I [10]. En ausencia de momento de fuerzas externas, el momento angular del sistema se conserva en el tiempo, preservándose el estado de movimiento rotacional.

Se recomienda que durante el transcurso de la clase teórica, donde se introduce el tema, se presenten una serie de ejemplos: el giro de una bailarina, el salto en trampolín, un gimnasta girando en la barra fija. Sugerimos acompañar dicha explicación con la presentación de fotos y videos que permitan una mejor visualización y pongan claramente de manifiesto la dinámica de la situación. Así también, se sugiere la implementación de una serie de actividades demostrativas, especialmente diseñadas para discutir y ejemplificar la conservación del momento angular en diferentes situaciones. A modo de ejemplo, proponemos la realización de dos experimentos, uno realizado con equipamiento adquirido comercialmente y el otro diseñado exclusivamente con materiales caseros, con el objeto de ilustrar de manera clara la conservación del momento angular [12,15]. Por medio de la observación guiada y el análisis de las experiencias, se espera facilitar a los estudiantes la comprensión del tema.

2.2.1. Experiencia 2

Esta actividad es una propuesta donde se utiliza equipamiento de laboratorio adquirido comercialmente (ver Fig. 2).

Desarrollo de la experiencia

Un bloque se encuentra montado sobre un riel que posee libertad de rotación. Este se encuentra especialmente diseñado para que el bloque sólo realice desplazamientos radiales sobre el riel. Se ata un hilo al bloque y se lo hace pasar por una pequeña polea ubicada sobre un soporte transversal fijo al centro de rotación y cuyo movimiento es solidario al del riel (ver Fig. 2). Antes de realizar la experiencia se pregunta a los estudiantes

sobre qué piensan que ocurrirá con la tensión en el hilo si varía la velocidad de rotación, o la distancia al eje de giro. Como primera situación, se le imparte al riel un impulso tangencial de forma tal de hacerlo girar con velocidad angular baja y posteriormente se tira del hilo. Luego, se repite la experiencia pero haciéndolo girar con una velocidad angular mayor. El objetivo es hacer notar la diferencia de tensión del hilo en ambos casos, observando y discutiendo cómo varía dependiendo de la distribución de masa (momento de inercia [14]) y de la velocidad angular. Sugerimos que previamente a la realización de la experiencia se idealice (modelice) la situación, explicitando cuáles son las hipótesis que permiten suponer la conservación del momento cinético. Proponemos que, en una segunda instancia, se mida la velocidad angular en cada caso para verificar la validez del modelo, por ejemplo, con la ayuda de un fotogate. También recomendamos la realización en clase del siguiente ejemplo: sobre una mesa horizontal, se encuentra apoyada una bolita unida a un hilo que pasa a través de un orificio realizado en el centro de la misma. Del otro extremo del hilo pende una segunda bolita. Se le imparte a la primera un impulso tangencial iniciando en ella un movimiento de rotación. Pretendemos que con este ejemplo se resalte no sólo cómo varía la velocidad angular de la primera bolita en función de su distancia al orificio, sino también, la magnitud de la fuerza tensión del hilo, en función de la velocidad angular de la misma. Como cierre de esta actividad, se puede revisar la realización de la experiencia 1, buscando y discutiendo similitudes y diferencias.



Figura 2 - Riel rotatorio.

2.2.2. Experiencia 3

Se propone una actividad complementaria en la cual se hace uso de un dispositivo diseñado íntegramente con materiales caseros. El objetivo es explorar cualitativamente las implicancias de la conservación del momento angular de forma novedosa [13] y sumamente sencilla de implementar.

Materiales

- Dos discos de telgopor de unos 16 cm de diámetro por 1 cm de ancho.
- Un pequeño motor de CC de alta revolución y baja potencia.
- Un conector de batería, un interruptor pequeño, un CD.
- Dos pilas de 9 voltios. Solamente es necesario que una de ellas se encuentre cargada, la otra funciona como contrapeso.

Desarrollo de la experiencia

Sobre una de las plataformas de telgopor se fija en su centro el motor, se conecta el mismo a la batería y al interruptor cerrando el circuito. La segunda plataforma se pega debajo de la anterior, de forma tal de ocultar los cables y proteger el motor. Por último, se coloca el CD sobre el eje por medio de un suplemento. Se recomienda que el CD no se encuentre demasiado elevado de la plataforma para evitar vibraciones cuando se lo pone a girar, ver Fig. 3. Se realizan dos agujeros en la plataforma superior de dimensiones similares a las pilas, con el fin de fijarlas y evitar la caída de las mismas durante el transcurso de la experiencia. Asimismo, con la intención de disminuir el rozamiento de la plataforma, se la cubre con cola vinílica, para reducir porosidades, y posteriormente se la cubre con pintura acrílica para reducir porosidades y evitar el deterioro debido al agua (ver párrafo siguiente).



Figura 3 - Plataforma.

Se coloca el dispositivo en algún recipiente con agua, a fin de disminuir el rozamiento, con espacio suficiente para que pueda moverse libremente. Antes de poner en marcha el motor se pregunta a los estudiantes acerca del estado de movimiento del sistema y qué esperan observar cuando se lo encienda.

Al realizar la experiencia, se observa que la plataforma comienza a girar en sentido contrario al del CD. Se discute si esto concuerda o no con lo esperado y cuál es el modelo que permite explicarlo. Se lo compara y analiza con los ejemplos discutidos previamente (giro de la bailarina, etc.)

Proponemos como ejercicio la idealización de la situación: conociendo la velocidad de revolución del motor y midiendo los respectivos momentos de inercia, estimar la velocidad angular de rotación de la plataforma. Una actividad complementaria es realizar las mediciones correspondientes para verificar los límites de validez del modelo.

3. Discusión y comentarios

Frecuentemente la actitud de los estudiantes en el aula es bastante pasiva. Situarlos en una actitud positiva requiere del uso de estrategias que lo involucren más activamente en el desarrollo de la clase. La implementación de experiencias demostrativas que permitan observar directamente los fenómenos e incluso “tocarlos” facilitaría esta tarea. Nuestra propuesta pretende que el estudiante experimente directamente el fenómeno y trate de explicarlo, en un proceso de discusión con sus pares, mediado por el docente. Esto lo enfrentaría a la doble necesidad de revisar sus ideas acerca de cómo funcionan las cosas y de elaborar una interpretación acerca de lo observado. La metodología de trabajo propuesta busca resaltar el rol fundamental de la realización de experiencias en el aula en todo este proceso.

Mediante el trabajo sobre unos pocos ejemplos relacionados a un dado tema, se busca:

- Acercar a los estudiantes a un abordaje empírico directo de los fenómenos físicos.
- Que por medio de dichas experiencias surjan los pre-conceptos y/o ideas previas.
- Revisar a la luz de lo observado las ideas previas mediante una puesta en común en el aula.
- Reelaborar el/los conceptos implicados en los fenómenos observados.
- Modelizar el experimento a través del planteo y la resolución de ejercicios.

Para el caso particular de sistemas en movimiento rotacional, proponemos una serie de experimentos, de sencilla reproducción e implementación. Mediante estas actividades se pretende que los estudiantes reflexionen críticamente sobre:

- la relación entre fuerza y movimiento,
- la noción de persistencia del estado de movimiento (inercia),
- la noción de magnitud conservada (momento angular).

Deseamos resaltar la utilidad y necesidad del uso de experimentos demostrativos para la explicación de conceptos de física, desarrollando competencias actitudinales y procedimentales más activas en los estudiantes.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de General Sarmiento por el apoyo institucional y a la Prof. Marisol Montino por sus sugerencias.

Referencias

- [1] A.B. Arons, *Teaching Introductory Physics* (John Wiley & Sons, Nova York, 1997).
- [2] R. Driver and J. Esley, *Studies in Science Education* **5**, 61 (1978).
- [3] M. Rodríguez Moneo, *Conocimiento Previo y Cambio Conceptual* (Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1999)
- [4] E. Jenkins, *Studies in Science Education* **35**, 1 (2000)
- [5] G. Erickson, in R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds), *Improving Science Education* (Open University Press, Buckingham, 2000), p. 271-292
- [6] S. Gil y E. Rodríguez, *Física Re-Creativa* (Prentice Hall, Buenos Aires, 2001).
- [7] P. García Sastre, M.J. Insausti, M. Merino, R. Driver y J. Esley, *Enseñanza de las Ciencias* **17**, 533 (1999).
- [8] P. Hewitt, *Física Conceptual* (Addison-Wesley, Massachusetts, 1999).
- [9] E. Hecht, *Física en Perspectiva* (Addison Wesley Iberoamericana, Delaware, 1987).
- [10] U. Ingard y W.L. Kraushaar, *Introducción al Estudio de la Mecánica, Materia y Ondas* (Editorial Reverté, Mexico, 1984).
- [11] M.S. Teixeira de Araujo e M.L. Vital dos Santos Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176 (2003).
- [12] R. Carr, H. Cohen and T. Ragsdale, *The Physics Teacher* **37**, 169 (1999).
- [13] T.J. Bonagamba, E. Santoni, P.O. Prlandi Lasso, C.B. Breyas e A. Gentil, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **17**, 133 (1995).
- [14] P.E. Banks, *The Physics Teacher* **43**, 389 (2005).
- [15] J.I. Cisneros e E. Lujan, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18**, 1 (1996).