

Construir una balanza para condiciones de ingravidez

(Building a scale in weightlessness conditions)

Jesus Carnicer¹, Francisco Reyes² y Jenaro Guisasola³

¹Departamento de Física y Química del I.E.S. "Tháder" de Orihuela, Alicante, Espanha

²Departamento de Tecnología del I.E.S. "Gabriel Miró" de Orihuela, Alicante, Espanha

³Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco, Espanha

Recibido em 19/2/2010; Aceito em 15/1/11; Publicado em 28/3/2011

En este trabajo presentamos el tratamiento didáctico de un problema sobre cómo 'pesar' cuerpos en condiciones de ingravidez. Se presentan las estrategias de enseñanza que se han utilizado con los estudiantes. Estas estrategias les proporcionan oportunidades para reflexionar, emitir hipótesis y analizar resultados en temas relacionados con los conceptos de masa y peso, así como con la cinemática y dinámica del movimiento armónico simple. El trabajo muestra cómo los estudiantes se implican en el trabajo y logran, con ayuda de los profesores, dar una solución teórica y experimental al problema y, construir una balanza para medir en condiciones de ingravidez.

Palabras-clave: balanza en condiciones de ingravidez, montaje de laboratorio, metodología activa de enseñanza de la física, mecánica newtoniana.

This work presents the educational treatment of a problem such as 'weighing' bodies where there is no gravity. It looks at the teaching strategies used with the students. These strategies give them the chance to think, produce a hypothesis and analyse results on topics related to the concepts of mass and weight, plus the kinematics and dynamics of simple harmonic movement. The work shows how students get involved in the task and, with the teacher's help, manage to provide a theoretical and experimental solution to the problem, and create scales to measure where there is no gravity.

Keywords: scales where there is no gravity, laboratory work, active methodology for teaching physics, Newtonian mechanic.

1. Introducción

Al estudiar las leyes de Newton en cursos introductorios de física uno de los problemas que frecuentemente se realiza es calcular lo que marca una balanza si nos pesamos dentro de un ascensor que se mueve hacia arriba o hacia abajo con aceleración constante. La resolución del problema consiste en aplicar la segunda ley de Newton al sistema: $F_{ny} \pm w_y = ma_y$ (considerando la dirección del movimiento del ascensor en el eje y). Se comprueba que la balanza marcará un valor mayor o menor que si se estuviera en reposo según el caso [1]. El problema que se puede plantear ahora es ¿Qué ocurre si se rompe el cable del ascensor y desciende en caída libre? Después de realizar los cálculos, los estudiantes se sorprenden del resultado: $F_{ny} = 0$ ya que implica que la balanza no marca ningún "peso". Este resultado llevó a una discusión sobre el concepto "peso" y el significado de lo que mide la balanza. Se define el peso como "la fuerza local de la gravedad que actúa sobre el objeto"

[2]. A continuación, se planteó una situación de caída libre permanente, la de los astronautas en una nave que orbite la Tierra, por ejemplo la estación orbital internacional. Se realizó una discusión sobre el significado del 'peso' en condiciones de ingravidez o caída libre [3] y se planteó la siguiente pregunta: ¿los astronautas no pueden pesarse en la nave? Es importante para su salud del astronauta controlar las variaciones de su masa corporal durante su estancia en una nave que orbita la tierra, Así pues, el escenario que se planteó a los estudiantes y de cuya resolución informamos en este artículo es: ¿Cómo se pesan los astronautas en condiciones de ingravidez o caída libre?

Se indicó a los estudiantes que buscaran información en Internet y en particular en la web de la NASA. En diversos documentos aparece la descripción del llamado "Body Mass Measurement Device" [4].

Después de la lectura de estos documentos y de la discusión en clase, se llegó a la conclusión de que para pesar astronautas las agencias espaciales habían

³E-mail: jenaro.guisasola@ehu.es.

recorrido a otra parte de la Física que aparentemente nada, o muy poco, tiene que ver con el peso y la gravitación, se trataba del Movimiento Vibratorio. Se había trasladado el problema de medir el peso de los astronautas a medir la velocidad de vibración de un sillón que oscilaba en el que estaba sentado el astronauta. ¿Cómo es posible que podamos saber la masa de un astronauta midiendo la velocidad de un sillón que vibra? Se puede plantear de forma más precisa el problema si consideramos que la masa inercial y la masa gravitatoria coinciden en valor y que la masa gravitatoria está relacionada con el módulo del peso, calculando la masa inercial estaría resuelto el problema. Así pues, el problema a resolver es “¿Cómo medir la masa inercial de los astronautas de la estación orbital midiendo la velocidad de un sillón que vibra?”

Llegados a este punto, fue necesario recordar los conocimientos de la cinemática y dinámica del movimiento vibratorio y ver la relación entre la masa y la velocidad de vibración de los cuerpos. Sólo entonces se planteó con precisión el problema y se pudo encontrar una posible solución al problema. Esto llevó un diseño experimental para reproducir el procedimiento en nuestro laboratorio terrestre.

2. Dos posibles soluciones al problema

El trabajo en grupo de los estudiantes sobre el Movimiento Armónico Simple guiados por el profesor les llevo a proponer dos posibles estrategias de resolución del problema. El trabajo del profesor consistió en hacer preguntas a los grupos de estudiantes dirigidas a centrar el problema a resolver (relación entre masa y magnitudes del MAS). El profesor circulaba entre los grupos de estudiantes (7 grupos de cuatro estudiantes por grupo) y preguntar sobre las posibles relaciones entre la masa de un cuerpo con MAS y las magnitudes características del MAS como velocidad, posición, período, fuerza del muelle. . . etc. Los grupos de estudiantes propusieron dos posibles estrategias de resolución del problema:

A) El astronauta está sujeto a un muelle cuyo otro extremo está fijo al suelo. El astronauta comprime el muelle y vibra con él.

B) El astronauta comprime el muelle y se suelta, de forma que no adquiera mucha velocidad y se pueda frenar con otra pared de la nave. En este caso la energía total del sistema se conserva.

En el primer caso, el astronauta hace una fuerza sobre el muelle F_e y comprime al muelle una longitud x . Cuando el astronauta se suelte oscilará con el muelle describiendo aproximadamente un movimiento vibratorio armónico simple y por lo tanto, podremos medir cualquier magnitud de este movimiento que esté relacionado con la masa.

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m \cdot \mathbf{a} \Rightarrow F_e = m \cdot a \Rightarrow -kx = m \cdot (-\omega^2 x) \\ &\Rightarrow K = m\omega^2. \end{aligned}$$

Ahora se puede calcular la masa si se calcula, por ejemplo, el período del movimiento

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow K = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \Rightarrow m = \frac{K}{4\pi^2} \cdot T^2.$$

Por lo tanto la masa del astronauta es directamente proporcional a su periodo de vibración en el muelle, bastaría con medir el periodo de oscilación del astronauta en el muelle para calcular su masa. A nivel experimental bastaba con calibrar antes el muelle con diversas masas, midiendo sus periodos.

Sin embargo, otros grupos de estudiantes durante la discusión mantenían que no veían factible que el astronauta vibrara con el muelle, les parecía un poco incómodo para el astronauta. Por ello proponían la segunda estrategia de resolución. En esta estrategia se hacía un balance energético de la acción del astronauta al comprimir el muelle y soltarse. En el sistema la energía total se conserva

$$E_{pe} = E_c \Rightarrow \frac{1}{2}KA^2 = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow m = KA^2 \left(\frac{1}{v^2} \right).$$

En este caso se mediría experimentalmente la velocidad del astronauta (v) manteniendo constante la distancia que se comprima el muelle (A).

3. Diseño y realización experimental

Para el diseño experimental de la primera resolución $m = f(T^2)$, se realizó el montaje de la Fig. 1. El carrito se movía por un riel casi sin rozamiento y se realizaron pruebas con diferentes muelles hasta encontrar uno con una constante elástica K que permitía una medición cómoda del período de vibraciones. Para la medida del tiempo se utilizó un sensor de posición de la casa PASCO y el programa ‘Data Studio’ para la operativización y visualización de los datos.



Figura 1 - Montaje de carrito sujeto a un muelle.

Con el mismo diseño experimental se obtuvieron los datos para la segunda forma de resolver el problema, $m = f(1/v^2)$. En este caso se tenía que medir la variable velocidad. El problema se presentaba cuando en este movimiento la velocidad es variable con el

tiempo. Al final, se decidió tomar como dato la velocidad máxima, es decir, la velocidad del carrito cuando pasaba de nuevo por la posición de equilibrio. Se procedió a medir esa velocidad, gracias al sensor esto no era difícil, pues realizaba directamente las medidas de velocidad (50 datos por cada segundo) y las presentaba en una tabla.

La masa del carrito y las pesas se medía siempre con una balanza electrónica que apreciaba hasta la centésima de gramo. Se realizaron varias medidas de velocidad máxima con diferentes pesas encima del carrito. Para este procedimiento se mantenía la amplitud de la oscilación constante (A), ya que la masa también es función de esta magnitud, esto se conseguía marcando con un índice colocado en un soporte la posición de salida del carrito y comprobando después en la gráfica de $x = f(t)$ proporcionada por el programa del sensor que ésta había sido la misma.

Se midió la velocidad máxima del carrito para varias masas diferentes, obteniéndose los resultados que se adjuntan en la Tabla 1.

Tabla 1. - Datos experimentales de las velocidades máximas con diferentes masas.

Masa (g)	v(m/s)
49,26	0,70
59,29	0,65
69,34	0,61
79,38	0,57
0	0

Los estudiantes calcularon los inversos de la velocidad al cuadrado ($1/v^2$) y se introdujeron en el programa 'Data Studio'. Se representó en el eje de las 'x' el valor $1/v^2$ y en el eje 'y' la masa. Los resultados se muestran en la Gráfica 1 ajustada a una recta.

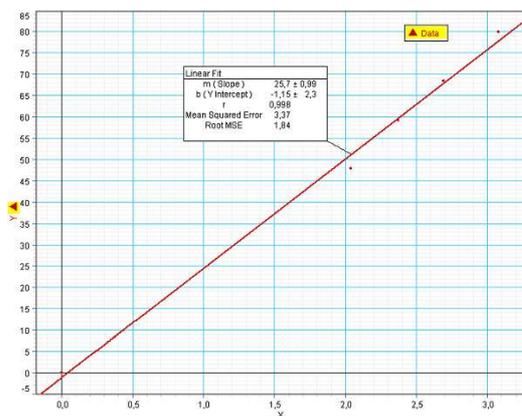


Gráfico 1 - Relación $1/v^2$ - masa.

Como puede verse por el coeficiente de correlación (r) el ajuste a una línea recta es bastante correcto y se obtienen buenos resultados cuando se "pesa" el carrito con una masa desconocida por este procedimiento. Por ejemplo para una masa medida con la balanza electrónica de 75,96 g obtuvimos un valor de 76,37 g con un error relativo del 0,5%.

3.0.1. Solución al problema tecnológico: construcción de una balanza para pesar astronautas

Teníamos dos soluciones para nuestro problema físico, y éramos capaces en el laboratorio de medir la masa inercial de pequeños carritos con una aceptable precisión, pero los carritos eran muy diferentes de los astronautas, había que medir la masa inercial de personas que pudieran ser astronautas.

Tras diferentes pruebas y discusiones en el diseño final con los estudiantes se ha utilizado una silla sujeta a una plataforma con ruedas con cojinetes. Sujetamos la silla a los extremos con muelles de la tensión más adecuada (Fig. 2) [5].



Figura 2 - Montaje de laboratorio para medir masas inerciales de personas.

Al tomar datos se vio que el procedimiento más sencillo y con el que se obtenían mejores resultados era medir el período. Se midió con el sensor de movimiento periodos de astronautas. Calibramos el sistema y llevamos los datos a una hoja de cálculo que nos permite obtener la masa inercial de los "astronautas" con precisiones cercanas al 1%.

En el Gráfico 2 se muestra la gráfica posición-tiempo obtenida para una persona que oscila en la silla dibujada por el programa 'Data Studio'

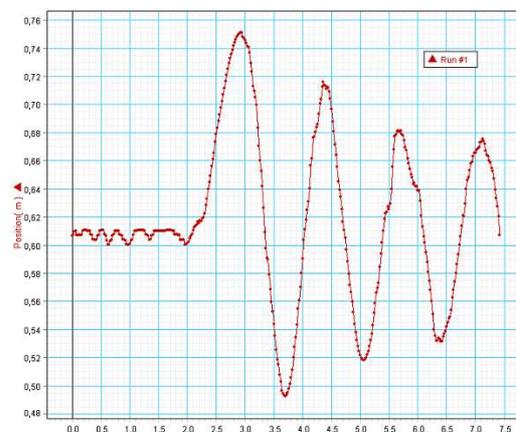


Gráfico 2 - Relación posición - tiempo para la silla.

En el Gráfico 3 se muestra la misma gráfica ajustada a una senoide con lo que se obtiene el valor del período directamente, en el experimento que mostramos el período es de 1,45 s.

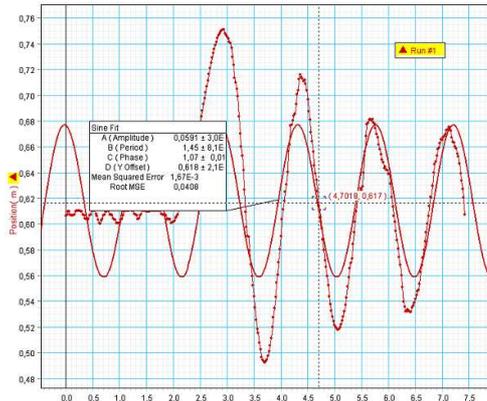


Gráfico 3 - Ajuste de los datos experimentales y obtención directa del período.

Por último, mostramos en la Gráfica 4 el experimento realizado con otra persona que osciló en la silla con un período de 1,52 s. de acuerdo con la gráfica ajustada. Se muestra también la hoja de cálculo que permite, introduciendo el valor del período y calcular la masa de la persona, en este caso de 59,94 kg.

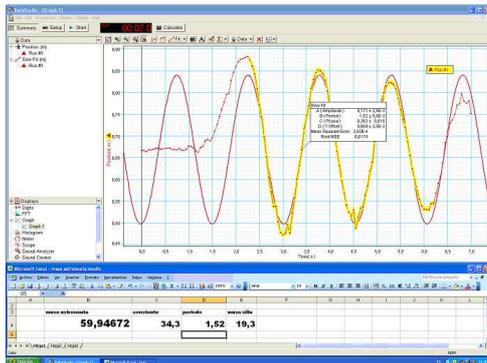


Gráfico 4 - Ajuste de datos experimentales y hoja de cálculo.

4. Conclusiones

Hemos definido un problema y su correspondiente guía de preguntas para su resolución, que relaciona un problema científico y tecnológico con una aplicación social. Este tipo de problemas hace que los estudiantes se impliquen en el estudio de la física y muestren interés por las tareas en la clase de física. El problema definido en este estudio es un instrumento útil para la enseñanza de algunos conceptos importantes de la mecánica clásica como la masa, el peso y las características del movimiento armónico simple. Además, las orientaciones del profesor para la resolución del problema, centran la discusión en los aspectos importantes, es decir en que los estudiantes reflexionen más allá de las ecuaciones y piensen en su significado. Finalmente, la resolución del problema implica la contrastación experimental de las predicciones ($m = f(T^2)$ o $m = f(1/v^2)$) y la consideración de problemas tecnológicos en el desarrollo del experimento.

Referências

- [1] Para más información ver P.A. Tipler and G. Mosca, *Physics* (W.H. Freeman, 2004), 5ª edición, pp. 100-101.
- [2] R.C. Morrison, *Physics Teacher* **37**, 51 (1999).
- [3] P. Mohazzabi, *Physics Teacher* **44**, 240 (2006).
- [4] Documentos en http://www.nasa.gov/mission_pages/station/science/experiments/Clinical-Nutrition-Assessment.html, <http://www.terra.es/personal/flromera/como.htm#a5>.
- [5] Este diseño experimental fue presentado por los dos primeros autores al concurso de divulgación de la Ciencia y la Tecnología “Ciencia en Acción” y, obtuvo el primer premio en la modalidad de ‘experimentos para un laboratorio espacial’.