

Caída de los cuerpos

Movimiento uniformemente acelerado - Determinación de g

Objetivo

Estudio del movimiento acelerado de un cuerpo en caída libre mediante gráficos de velocidad y aceleración, a partir de mediciones de distancia recorrida en función del tiempo. Para la medición de tiempos se propone usar un fotointerruptor conectado a una computadora.

Introducción

El problema de la caída de los cuerpos, constituye uno de los experimentos claves en la evolución del pensamiento físico y filosófico de la humanidad. Para comprender su trascendencia es menester ubicarse en el paradigma de física de Aristóteles, que era la prevalente antes de la revolución realizada hacia fines del Renacimiento, fundamentalmente por el cuarteto: Copernico, Galileo, Kepler y Newton (que desde luego lo hicieron independientemente en tiempos y lugares diferentes). En la concepción de Aristóteles¹, los cuatro elementos constituyentes de todos los cuerpos materiales eran: el fuego, el aire, el agua, y la tierra. Cada uno de ellos tenían propiedades de movimientos intrínsecas a su naturaleza. Así, liberado a si mismo un trozo de tierra tenía un movimiento "natural" vertical y descendente hacia el centro de la Tierra (que coincidía con el centro mismo del Universo), mientras que el fuego, tenía un movimiento "natural" vertical y ascendente. De esta forma, la tierra era naturalmente un elemento pesado (grave) y el fuego era naturalmente liviano. El aire y al agua ocupaban un posición intermedia entre estos extremos.

Para que un cuerpo grave (tierra) comience a moverse, era necesario aplicarle una fuerza. Aún los bocablos aninados (con alma) e inananimado (sin alma) reflejan esta concepción. De este modo, *loque sa mueva se mueve por otro*. La noción que caracteriza la rapidez del movimiento es así el tiempo que se demora en recorrer una dada distancia, que podríamos asimilar a nuestro concepto actual de velocidad. En este punto es importante reparar que los conceptos modernos no son totalmente asimilables a la de Aristóteles¹, pero haciendo esta salvedad, trataremos de usar un lenguaje moderno y matemático para explicar más sencillamente las ideas de Aristóteles. A propósito, esta forma matemática de expresar las leyes físicas se inicia precisamente con Galileo. Usando un anacronismo, podemos decir que en la concepción de Aristóteles, la velocidad v que adquiere un cuerpo, es proporcional a la fuerza aplicada F e inversamente proporcional a la resistencia del medio R . O sea: $v=F/R$. Si queremos arrastrar un tronco tirando con un caballo, una cierta distancia en un dado tiempo, usando dos caballos (duplicando la fuerza), podremos hacerlo en aproximadamente la mitad del tiempo (duplicamos la velocidad). También esta ley explica porque es más fácil correr en el aire que hacerlo en el agua, esta última tiene más resistencia (mayor R). Como se ve, estas ideas de Aristóteles, y que es lo que podríamos llamar es la física del sentido común, no es absurda. Permite explicar en forma

simple muchos fenómenos que observamos en la vida diaria. Piense por ejemplo que haría si quiere aumentar la velocidad de una lancha, claramente pondría más remeros, o el mismo número pero más fuertes, aumentar F . Asimismo, trataría de reducir la resistencia, R , haciendo la lancha más delgada. En esta concepción, que de algún modo es aun prevalente el publico en general, por ser nociones muy "intuitivas".

Dentro de este esquema, era claro que la Tierra debería de estar inmóvil. Si todas sus partes se mueven hacia el centro, es claro que como un todo ella misma debe ser esférica y centrada en dicho punto, el centro mismo del universo. Vemos así que dentro de la física de Aristóteles no es simple transformar a la Tierra en un simple planeta más.

Asimismo, si lo que se mueve se mueve por otro, y así sucesivamente, esto no puede continuar así indefinidamente, como bien sostenía Aristóteles. Debe haber una causa última del movimiento. Este era el lugar ideal para colocar una divinidad, y Santo Tomás de Aquino, no dudo es usar este argumento para probar la existencia de Dios.

Otras consecuencias importantes de esa concepción, y son las que nos interesa estudiar en este experimento, son las implicancias de la misma en la caída de los cuerpos. El peso de los cuerpos, es claramente la fuerza motriz que hace que los cuerpos caigan, F . Al igual que para el tronco del ejemplo anterior, a medida que mayor sea la fuerza ejercida (mayor peso) mayor será la rapidez v con el cuerpo cae. De este modo, razonado lógicamente a partir de los postulados de Aristóteles, podemos afirmar que a mayor peso, el tiempo que demora un cuerpo en caer debe ser menor. Es importante en este punto reparar en que la caracterización del movimiento antes de Galileo era muy rudimentaria. En particular la idea de *aceleración* no fue identificado claramente hasta los tiempos de Galileo mismo.

Para Galileo, el estado natural de un cuerpo es tanto el reposo como el movimiento en línea recta con velocidad constante. De modo que en este esquema no hay necesidad de una divinidad que "empuje" al mundo, el mismo puede hacerlo por su propia inercia. También Galileo usando un razonamiento, que aún hoy nos maravilla por su contundencia y brillantez, sostenía que el tiempo de caída de todos los cuerpos desde una dada altura (siempre que el roce del aire sea despreciable o equivalentemente lo hagan en el vacío) es el mismo. Más precisamente, lo que sostiene Galileo es que la caída de los cuerpos se realiza con una aceleración constante igual a g ($\approx 9.8 \text{ m/s}^2$) para todos los cuerpos, pesados o livianos. De este modo, cuando confrontamos estas dos concepciones sobre la caída de los cuerpos, no estamos realizando un experimento más, estamos recreando el drama de la transición de la infancia aristotélica de la física a su adustez newtoniana. Como toda adolescencia, la de la física tuvo su dosis de padecimientos y desgarros propios de estos periodos. Abandonar la física de Aristóteles era abrir las puertas a un universo corpnicano, donde con democratización de los planetas nos reducían a meros habitantes de un planeta más, girando alrededor de una estrella, tal vez tan vulgar como el resto de las millones que podemos ver. Ya la Tierra y el universo no parecería haber sido creados para nosotros nos enseñoreemos del ella. También nuestras certezas a cerca de la existencia de un Dios que era la causa última del movimiento parecerían diluirse como agua entre los dedos.

Aquí comienza nuestro experimento.

Para este experimento se usa una placa de acrílico o plástico transparente a la que se agregan franjas opacas espaciadas regularmente, como se muestra en la Fig. 1. Cuando la placa se libera desde el reposo entre los brazos de un fotointerruptor, el paso de las franjas

opacas obstruye el haz de luz del instrumento y dispara la medición de tiempos. Un programa adecuado (Precision Timer ®Vernier) registra esos tiempos que se asocian a las distancias recorridas $x_0, 2x_0, 3x_0$, etc.

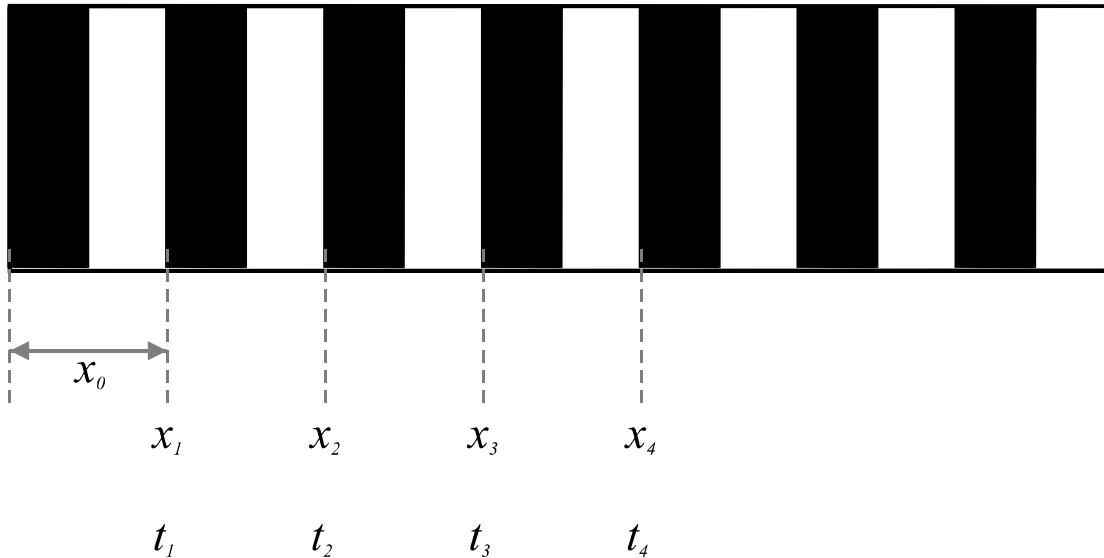


Figura 1 “Cebra” plástica para el experimento de caída libre.

Proyecto 1. – Estudio del movimiento en caída libre

- Estudie las características del funcionamiento del fotointerruptor cuando pasa la placa por el fotointerruptor. Para ello haga pasar a la placa lentamente entre los brazos del fotointerruptor y describa detalladamente a qué están asociados los tiempos que está midiendo.
- Determine el período espacial x_0 del dispositivo y las distancias x_1, x_2, \dots todas con sus respectivas incertidumbres. Elija el modo de operación del programa Precision Timer (motion timer) que controla el fotointerruptor de modo de poder determinar los tiempo t_1, t_2, \dots , etc., o bien algún intervalo equivalente, como $(t_2 - t_1), (t_3 - t_2), \dots$
- Deje caer la cebra mientras el programa mide los tiempos relevantes de este experimento. Represente gráficamente la variación de la distancia recorrida por la cebra en función del tiempo. De estos datos calcule la velocidad de la cebra en función del tiempo. ¿Qué puede decir sobre el tipo de movimiento que describe en su caída este dispositivo? ¿Está de acuerdo esta observación con sus expectativas?
- Cuelgue de la cebra pesos de distintos valores y analice el movimiento del conjunto en caída libre. ¿Varía la aceleración con la masa?. Explique sus resultados.

Proyecto 2. – Determinación de g

- Usando la misma cebra plástica usada en la actividad anterior, construya gráficos de
- velocidad en función del tiempo $v(t)$
 - espacio en función del tiempo, $x(t)$.

A partir de estos gráficos $x(t)$ y $v(t)$, determine el valor de la aceleración de la gravedad, g , y las respectivas incertidumbres. Compare el valor de g obtenido del gráfico $x(t)$ con el valor de g obtenido del gráfico $v(t)$. ¿Son consistentes estos dos valores de g ? Discuta sus resultados.

Análisis detallado

Un aspecto importante a tener en cuenta en este experimento, está relacionado con el hecho de que la velocidad que se determina para cada período espacial de la cebra, es una *velocidad media* para este intervalo. La cuestión es la elección del tiempo que se le asigna a esta velocidad. Al final del n -período espacial, la cebra plástica habrá caído una distancia x_n . El tiempo que empleó en recorrer esta distancia, desde el inicio de la primera banda oscura, será:

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t_n \quad (1)$$

donde $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ es el intervalo de tiempo medido con el fotointerruptor que corresponde al tiempo de paso del n -ésimo intervalo espacial. Esto se ilustra esquemáticamente en la Fig.2. Por lo tanto es razonable representar gráficamente x_n en función de t_n y realizar el análisis para obtener la aceleración g a partir del mismo. Sin embargo *no es correcto* hacer lo mismo del gráfico $v_n(t_n)$. Esto es así debido a que v_n es la velocidad media en el n -ésimo intervalo y, por consiguiente, debe asociarse a un valor de tiempo intermedio t_n^c , definido como:

$$t_n^c = t_{n-1} + \Delta t_n / 2. \quad (2)$$

y no al tiempo t_n , que está asociado al intervalo en que finaliza el n -ésimo recorrido espacial. En definitiva, los gráficos de $x_n(t_n)$ y $v_n(t_n^c)$ son equivalentes y, en cierto modo, el segundo es la derivada del primero. Una discusión más detallada de este aspecto puede encontrarse en la Ref. [2].

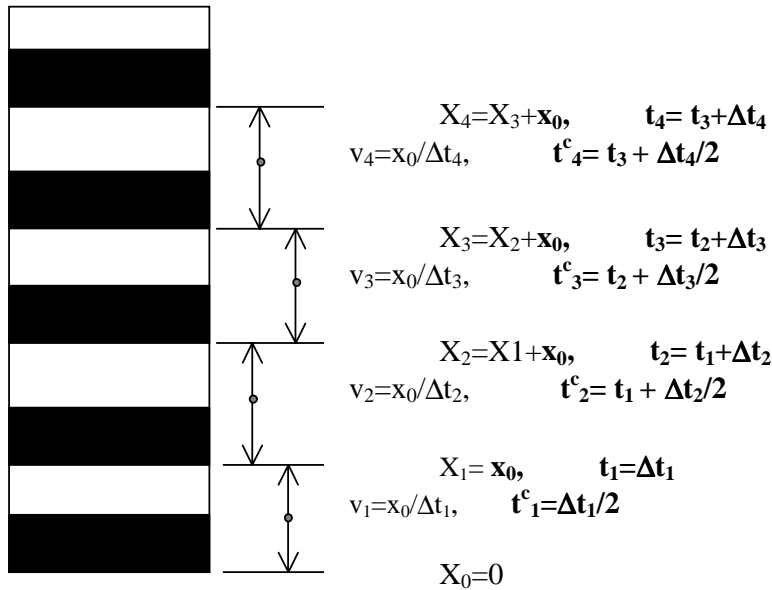


Figura 2 Esquema de corrección de los tiempos asignados a cada intervalo.

Si los intervalos de tiempos fuesen todos iguales, el valor de la pendiente de los gráficos de v_n en función de t_n^c y de v_n en función de t_n serían los mismos pero, dado que el movimiento no es uniforme, esta hipótesis no se cumple. Usando sus datos compare los resultados de g llevando a cabo ambos tipos de análisis.

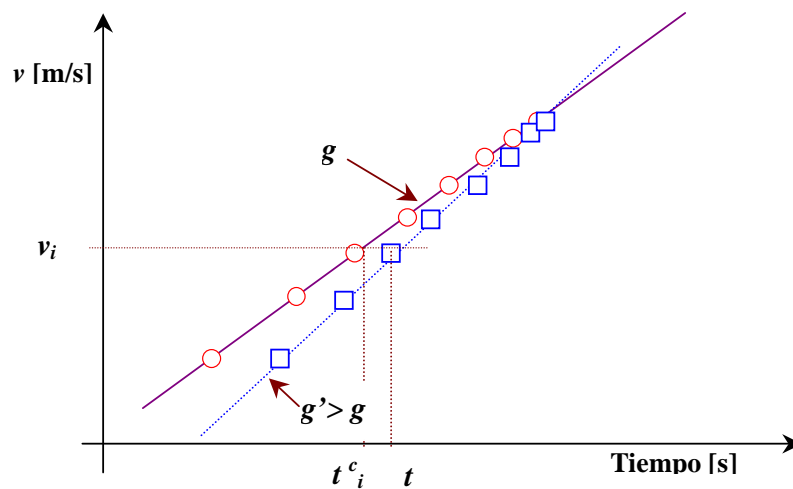


Figura 3 Gráfico esquemático que ilustra la variación de la pendiente de la función $v(t)$ al representar v_i en función de t_i^c (cuadrados) y v_i en función de t_i (círculos). Es claro que para este último caso se obtiene una pendiente g' mayor que el mejor valor obtenido de un análisis más adecuado.

A partir de sus mediciones, construya un grafico de aceleración de caída de cuerpos de distinto pesos, use al menos 4 o 5 pesos diferentes. A partir de este graficos,

- ✓ ¿Qué puede decir acerca de la variación de la aceleración de caída, respecto del peso de los cuerpos?
- ✓ ¿Qué puede decir acerca del tiempo de caída de los cuerpos de distinto pesos a partir de una dada altura?
- ✓ ¿Evalúe y discuta las implicancias de este experimento en relación a las hipótesis subyacentes a los paradigmas de Galileo y Aristoteles ?
- ✓ Explícite sus conclusiones

Bibliografía

- [1] O. Lombardi, "Comparación de entre la Física Aristotelica y la Mecanica Clasica" *Educacion en Ciencias* **1** (3), 62-70, (1997) - Revista de la Universidad Nacional de San Martin- Buenos Aires, Argentina
- [2] S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa*, Cap. 4, Prentice-Hall, Buenos Aires, 2001.
- [3] W.J. Leonard, "Danger of automated data analysis" *Phys. Teach.* **35**, (220) 1997.
- [4] www.fisicarecreativa.com
- [5] http://ar.geocities.com/udesa_fisica