

# LA CAÍDA LIBRE. ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

## HIPÓTESIS SOBRE EL MOVIMIENTO DE CAÍDA LIBRE

Con objeto de investigar la caída libre, cabe preguntarse, primer lugar, qué se puede decir, partiendo de las observaciones y las experiencias cotidianas, sobre este movimiento. Interesa establecer su trayectoria y los factores influyentes en la duración de la caída desde una determinada altura. En el caso más sencillo la trayectoria es vertical y descendente, y es lógico suponer que el movimiento sea acelerado: a lo largo de la caída el objeto recorrería distancias cada vez mayores.

Esta hipótesis la argumentó por primera vez de una forma muy clara Galileo. Para comprobarla realizó un experimento consistente en determinar la aceleración de caída de objetos rodantes por planos inclinados. Estos movimientos son uniformemente acelerados, con una aceleración mayor cuanto mayor sea la inclinación. Por tanto, el movimiento de caída libre también será uniformemente acelerado, con un valor de su aceleración mayor que cualquiera de ellos.

Respecto a los factores que pueden intervenir en el movimiento, consideramos, en primer lugar, el rozamiento del objeto con el aire. En el caso más sencillo, el rozamiento solamente frenará la velocidad de la caída. Pero, en general, su influencia puede ser mucho mayor y añadir gran complejidad al movimiento. El aire puede modificar la trayectoria hasta hacerla prácticamente impredecible. Para comprobarlo dejamos caer en clase una hoja de papel y comprobamos que trayectoria es muy complicada, zigzagueante. Conviene, por ello, disminuir en lo posible el efecto del rozamiento, hacerlo despreciable, y dejar el estudio de este factor como un problema pendiente, a tratar en otra investigación.



El segundo factor influyente que consideramos en la caída libre es la masa del cuerpo. Parece lógico suponer que cuanto mayor sea, más rápida debería ser la caída. Esta hipótesis se fundamenta en la evidencia de que la Tierra atrae más a los objetos de mayor masa, como se puede comprobar, simplemente, colgando dos objetos diferentes de un muelle o un dinamómetro. El alargamiento del muelle o la fuerza que mide el dinamómetro resulta proporcional a la masa del cuerpo que cuelgue de él.

## EXPERIMENTOS PARA COMPROBAR LA POSIBLE INFLUENCIA DE LA MASA EN LA CAÍDA

La fotografía adjunta corresponde a un sencillo experimento para comprobar cualitativamente la posible influencia de la masa en la caída libre. Dejamos caer dos bolas de masas muy diferentes desde la misma altura. La bola más ligera es de papel y la fabricamos en el momento con objeto de que el rozamiento del aire sobre dicho papel sea prácticamente despreciable. En estas condiciones y para pequeñas alturas se observa que ambas bolas caen prácticamente igual, por lo tanto, con la misma aceleración.



Este resultado resulta sorprendente a la vista de la hipótesis planteada anteriormente, una hipótesis que, por otra parte, es coherente con las ideas de la física en la antigüedad, también llamada física del sentido común.



Fue Galileo, el primero que, contraviniendo aquellas ideas tradicionales, planteó el concepto de que, en ausencia de rozamiento, todos los cuerpos debían caer con la misma aceleración. En su obra "Diálogos sobre los dos grandes sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano" (1632) encontramos un fragmento que utiliza un argumento muy curioso para defender este nuevo punto de vista. Dice la leyenda que Galileo también realizó un experimento en el que habría dejado caer desde la torre de Pisa dos cuerpos de masas diferentes y se habría comprobado que ambos llegaban juntos al suelo. Sin embargo, si el experimento se hubiera realizado en esas condiciones, no se habría obtenido este resultado. Para un trayecto largo, la influencia del rozamiento del aire resulta trascendente en la caída. Determina el valor de una velocidad límite que alcanzan los objetos que caen. En este caso esa velocidad límite habría sido diferente para cada cuerpo.

## EXPERIMENTOS PARA OBTENER LA ACELERACIÓN DE CAÍDA

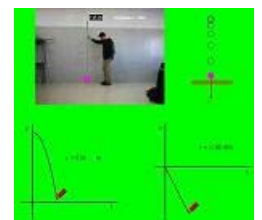
Una vez observado que en condiciones en las que se pueda considerar despreciable el rozamiento, cuerpos de masas muy diferentes caen igual en las proximidades de la superficie terrestre, interesa comprobar si el movimiento es uniformemente acelerado y obtener en su caso el valor de la aceleración.



Utilizando sensores de movimiento realizamos en el laboratorio de física un trabajo experimental con estos objetivos. Todos los grupos comprobaron que el movimiento de caída de un recipiente de plástico es uniformemente acelerado y, dentro del margen experimental, obtuvieron valores de la aceleración de caída libre cercanos, pero siempre inferiores, al valor de  $g$  en ausencia de rozamiento. Este hecho indica que el rozamiento con el aire resultaba significativo en este caso, de modo que hubo que ampliar la investigación para estudiar cómo afecta dicho rozamiento y ver la forma de minimizarlo. Finalmente se logró obtener valores de la aceleración iguales (dentro del margen experimental) al valor atribuido a  $g$  en ausencia del rozamiento.

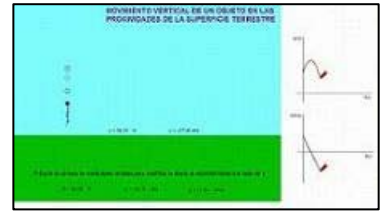
La afirmación de que todos los cuerpos caen con la misma aceleración en ausencia de rozamiento no ofrece dudas a la comunidad científica. En 1964 Roll, Krotov y Dicke y en 1971 Braginski y Panov confirmaron este hecho con una incertidumbre más pequeña que una parte en un billón. En fecha mucho más reciente (1999), un grupo de científicos de la Universidad de Stanford, coordinado por el físico Achim Peters, determinó la aceleración de caída en el campo gravitatorio terrestre con una precisión de tres partes en mil millones. Realizaron un experimento consistente en enfriar por láser una fuente de átomos de cesio y luego estudiar su caída. La conclusión de estos experimentos fue siempre que en ausencia de rozamiento la aceleración de caída libre es la misma para todos los objetos y aproximadamente igual a  $9,83 \text{ m/s}^2$ .

Utilizando el programa *Modellus* realizamos otro trabajo experimental en el que se comparó el movimiento real (filmado) de caída de una pelota y el movimiento teórico de caída libre realizado por una pelotita virtual que obedece a las leyes de Newton del movimiento. Se logró un alto grado de concordancia entre el movimiento real y el virtual, obteniendo valor de la aceleración de caída muy cercano al oficial. El experimento se ha repetido en cursos de formación docente, donde los profesores elaboran una animación *Modellus* semejante a la creada por nuestros estudiantes.



## APLICACIÓN Y LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS CINEMÁTICOS SOBRE LA CAÍDA LIBRE

Una vez establecido que en ausencia de rozamiento la aceleración de caída libre es la misma para todos los objetos, con independencia de su masa, se pueden escribir las ecuaciones del movimiento de cualquier cuerpo que cae o asciende en dirección vertical en las proximidades del suelo terrestre. Para practicar el manejo de estas ecuaciones y la descripción cualitativa y gráfica de estos movimientos se pueden usar aplicaciones informáticas, como la animación *Modellus* de elaboración propia a la que corresponde la imagen adjunta. Permite modificar las condiciones iniciales para testar las ecuaciones del movimiento y modificar sobre la marcha las magnitudes.



Por otra parte, la igualdad de la aceleración de caída libre para todos los objetos en ausencia de rozamiento, es un concepto aplicable a cualquier lugar del Cosmos, teniendo dicha aceleración un valor determinado en cada planeta, satélite, estrella,.. Así, por ejemplo, en la superficie de la Luna la aceleración de caída libre vale aproximadamente  $1.62 \text{ m/s}^2$ . Allí, un astronauta podrá efectuar un salto de mucha mayor altura que el que realizaría en la Tierra con el mismo impulso inicial. En otra animación de elaboración propia hemos utilizado este valor conocido de aceleración de caída libre en la Luna para hacer una estimación de la velocidad con que se impulsó el astronauta. La filmación aporta la altura del salto que realizó.



Terminamos este estudio cinemático del movimiento de la caída libre señalando una limitación importante de la que adolece. En efecto, aunque se ha comprobado experimentalmente que en ausencia de rozamiento todos los cuerpos tienen la misma aceleración de caída, eso no significa que se hayan aportado argumentos convincentes para que se entienda por qué ocurre esto. Obsérvese que en ningún momento se cuestionado el hecho de que la Tierra atrae con más fuerza a los objetos de mayor masa. Queda planteado, por tanto, el siguiente problema:

*¿Cómo es posible que la Tierra atraiga más (con una fuerza mayor) a los objetos de mayor masa, y, sin embargo todos los objetos (con independencia de cuál sea su masa) caigan con la misma aceleración?*

## PROBLEMAS PENDIENTES. NUEVAS INVESTIGACIONES

**1) ¿Cómo influye el rozamiento en la caída?** Para avanzar en este problema se precisa realizar un estudio teórico y experimental de la caída en el seno de la atmósfera.

**2) ¿Por qué todos los objetos, a pesar de ser más o menos atraídos en función de su masa, caen con la misma aceleración?** Para responder a esta cuestión se necesita una revisión dinámica del movimiento de caída libre.

---

Los experimentos, materiales y referencias citadas en este documento están disponibles en la página dedicada al Estudio de la Caída Libre ([http://intercentros.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Caida\\_libre/caida-libre.htm](http://intercentros.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Caida_libre/caida-libre.htm)) dentro de la web del Departamento de Física y Química del IES "Leonardo Da Vinci" de Alicante (<http://intercentros.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>)