launion.com.mx @uniondemorelos

CIENCIA

launion.com.mx
@uniondemorelos

Lo interesante de la caída libre de los cuerpos

Elizabeth América Flores Frías, Fermín Castillo Mejía, Edna Vázquez Vélez y Horacio Martínez Valencia

Elizabeth América Flores Frías es Ingeniera Química egresada de la FCQeI de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos UAEMor. Posteriormente, cursó la Maestría y Doctorado en Ingeniera y Ciencias Aplicadas en la UAEmor. Actualmente, se encuentra haciendo su posdoctorado en el Instituto de Ciencias Físicas de Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.

Fermín Castillo Mejía estudió la licenciatura y maestría en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM y el doctorado en Física en la UNICEN, Tandil Argentina. Actualmente trabaja en el Laboratorio de Espectroscopía del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM.
Edna Vázquez Vélez estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Química en la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Realizó un postdoctorado en el Centro Nacional de la Investigación Científica en Yves Sur-Yvette, Francia y actualmente trabaja en el Laboratorio de Espectroscopía del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM.
Horacio Martínez Valencia estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente, es Investigador Titular "C" del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM y es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

¿Qué propuso Aristóteles?
Aristóteles consideraba que los objetos pesados caían más rápido que los más ligeros desde una misma altura. Lo más sorprendente es que esta idea aristotélica permaneció inmutable y aceptada durante dos mil años, hasta que Galileo Galilei demostró lo contrario [1]. Recordando una de las anécdotas de la historia de la ciencia, se dice que Galileo Galilei dejó caer dos esferas de diferente masa desde lo alto de la torre inclinada de Pisa. Los espectadores quedaron asombrados del resultado de ese experimento, entre ellos profesores, eruditos y estudiantes... Galileo había demostrado que el tiempo de descenso de un objeto es independiente del peso del cuerpo que cae, ya que siempre caen con la misma aceleración; claro que usando esferas, porque con una pluma y la resistencia del aire, no se hubiera visto así. Cabe resaltar que Galileo fue el primero en diseñar experimentos mentales utilizando el método hipotético-deductivo. De esta manera podía pronosticar el resultado del experimento basado en una teoría y por otro lado podía deducir lo que pasaría según la teoría de Aristóteles, si no hubiera resistencia del aire. Muy interesante descubrimiento de Galileo, para aquella época en que las mentes estaban aferradas a las ideas aristotélicas.

La propuesta de Galileo
La gran novedad que introdujo Galileo fue que además de teorizar, decidió experimentar para comprobar la naturaleza de la gravedad. Para ello, se dice que Galileo estuvo semanas tirando distintos objetos desde la Torre inclinada de Pisa. Con los distintos lanzamientos observó que, independientemente de su masa y tamaño, los objetos tardaban el mismo tiempo en llegar al suelo cuando se lanzaban desde la misma altura. Además, consiguió demostrar que la afirmación de que los objetos caían con velocidad constante era falsa. Todos los objetos que afirman que Galileo lanzó de la torre se aceleraban durante la caída. Los experimentos de caída libre de objetos también le permitieron introducir una nueva teoría física. Según Galileo, todo objeto que caía desde la Torre de Pisa compartía la misma rotación que experimenta la Tierra y por ende la torre. Con ello, suponía que los objetos que estaban en movimiento mantenían ese movimiento, aunque a él se añada otro. Este mismo principio llevó a Galileo a suponer que todo cuerpo en reposo se mantenía en el mismo reposo por inercia". Las piedras u objetos que en algún momento fueran puestos en movimiento, continuarían con dicho movimiento.
Si reprodujéramos el experimento y dejáramos caer dos objetos de diferente masa podríamos observar que algunos objetos livianos no caen igual que otros objetos más pesados, dependiendo de su forma. Esto pasa porque actúan otras fuerzas además de la gravedad, el objeto está rozando con el aire, el cuál ejerce una resistencia que se opone a que el cuerpo avance, lo que causa que los objetos cambien su velocidad.
Afortunadamente el experimento de Galileo fue recreado en condiciones sin atmósfera por David Scott [2], miembro de la misión Apolo 15. En este famoso experimento realizado el 2 de agosto de 1971 en la Luna, la humanidad comprobó que Galileo Galilei estaba en lo cierto, Figura 1.

FIGURA 1. SCOTT recreó el famoso experimento de Galileo durante la misión Apolo 15. https://republica.gt/tecnologia/que-nombre-recibe-el-movimiento-que-realizan-los-cuerpos-cuando-se-sueltan-desde-un-punto-cercano-a-la-superficie-de-la-tierra-2022103010260

Para Galileo, el estado natural de un objeto no es únicamente el reposo, sino también cualquier movimiento rectilíneo y uniforme, que, en ausencia de fuerzas, permanecerá inalterable. De modo que en este esquema no hay necesidad de una divinidad que "empuje" al mundo. 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 rozamiento del aire sea despreciable o equivalentemente se realice en el vacío) es el mismo. Más precisamente, lo que propuso Galileo es que la caída de los cuerpos cerca de la superficie de la Tierra tiene una aceleración constante (que hoy llamamos g y es aproximadamente igual a 9.8 m/s2) para todos los cuerpos, pesados o livianos.
Hablemos de aceleración
Hablemos un poco más el concepto de aceleración y consideremos, por ejemplo, el ejemplo de los automóviles, donde se da como dato cuánto tiempo tardan en acelerar desde el reposo (una velocidad de 0 km/h) hasta 100 km/h, incluso para autos que no son deportivos y no tendrían por qué hacerlo rápido. Mientras menor sea dicho tiempo, mayor será la aceleración. La publicidad de autos suele incluir qué tan rápidamente llega el coche a esa velocidad mágica. Una pregunta interesante es entonces ¿qué tanta aceleración puede soportar un ser humano?
Para entender esta idea, entendamos primera la llamada "fuerza G". Esa unidad mide la fuerza con que la gravedad nos atrae hacia el centro de la Tierra. Por norma general, la gravedad terrestre corresponde a una aceleración de 1G, la famosa aceleración g=9.8 m/s². Esta aceleración puede entenderse como una fuerza por unidad de masa, ya que la fuerza es el producto de masa por aceleración. Si aceleráramos con ese valor, haríamos el recorrido de 0 a 100 km/h en 2.74 segundos. Para dar un ejemplo, el Tesla Model S hace este trayecto en 2.39 segundos, o sea, proporciona una fuerza de 1.14 G, lo que no causa ningún daño al ser humano.

FIGURA 2. PARACAIDISTAS
HTTPS://WWW.20MINUTOS.ES/NOTICIA/1575278/0/EMPURIABRAVA/CAIDA-LIBRE/PARACAIDISMO/

El récord mundial de aceleración humana es de 46.2G, logrado por el militar estadounidense John Stapp, quien fue atado a un cohete (sí, como el coyote de los Looney Toons).
Dicha aceleración impacta al cuerpo humano; Stapp sufrió fracturas de costillas a los 35G. Tomando eso en cuenta, 35G significan hacer el 0 a 100 km/h en 0.078 segundos; y si deseamos ser capaces de vencer a Stapp, deberíamos hacer el 0 a 100 km/h en 0.061 segundos. Si quisiéramos lograrlo en menos tiempo, es muy factible que nuestro cuerpo no aguante más y sea nuestro último viaje. Al hablar de la fuerza G hacemos énfasis que se trata de un múltiplo de la fuerza de la gravedad que corresponde a la aceleración g.
Las fuerzas G se clasifican en dos tipos: las fuerzas G positivas se generan durante los giros de ascensos pronunciados y las negativas se producen en descensos pronunciados, sea la forma en que se produzca este suceso estará contrarrestando o modificando los efectos de la gravedad. Por ejemplo en la montaña rusa se alcanza el valor de 4G hasta llegar a valores cercanos a -G, otro ejemplo es el cambio en la velocidad, altura o giro de un avión el cual provocara nuevas fuerzas G que pueden anular parte del peso o por el contrario aumentarlo. De la misma forma, los pilotos de combate o astronautas pueden experimentar más de nueve veces la fuerza de gravedad. Por ello, se someten a años de entrenamiento para soportar las fuerzas G y su experiencia aumenta con más y más horas de vuelo, acostumbrando a su cuerpo para que los efectos de la fuerza G les provoque menos daño.
Lo interesante de estas fuerzas G es que las podemos experimentar sin estar en el espacio, las podemos experimentar en la caída libre. Cabe preguntarse, en primer lugar, qué se puede decir, partiendo de las observaciones y las experiencias cotidianas, sobre este movimiento.
Interesa establecer la trayectoria y los factores que influyen en la duración de la caída libre desde una determinada altura. En el caso más sencillo la trayectoria es vertical y descendente, por lo que el movimiento es acelerado: a lo largo de la caída el objeto recorrería distancias cada vez mayores en intervalos de tiempo iguales. Respecto a los factores que pueden intervenir en el movimiento, consideremos, 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 otro factor al movimiento. El aire puede modificar la trayectoria hasta hacerla prácticamente impredecible. Para comprobarlo dejemos caer una hoja de papel y comprobemos que su 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. Por ejemplo, los paracaidistas juegan con la posición de su cuerpo para aprovechar el rozamiento del aire (Figura 2).

Así, hablemos de la caída libre de un objeto que se da únicamente bajo la influencia de la acción de la gravedad. Supongamos que lanzamos un cuerpo hacia arriba, esté alcanzará una altura máxima y después caerá. Tanto la fase de subida como de bajada constituyen movimientos verticales libres y ambos sólo dependen de la gravedad, suponiendo que no actúa ninguna otra fuerza, como por ejemplo el rozamiento del aire.

Hablemos de peso y de sensación de ingravidez
Ahora bien, recordemos que el peso es la fuerza gravitacional ejercida sobre una masa. El peso no es una propiedad intrínseca de los cuerpos, sino que depende del campo gravitatorio en el cual se hallan. Un cuerpo no pesa lo mismo en la Tierra que en la Luna ya que la aceleración de la gravedad es distinta [4].
En el caso de caída libre, el tiempo que tarda un objeto en chocar con la superficie no depende ni de su peso ni de su masa; las variables relevantes son su altura y su velocidad inicial. Sin embargo, de aquel experimento llevado a cabo por el padre del método científico, Galileo Galilei, surgen preguntas muy interesantes. Una de ellas es ¿estando en caída libre sentiremos nuestro peso antes de tocar el suelo? Sabemos que el peso depende de la gravedad y estamos en la Tierra, por lo tanto este no tendría que variar antes o después de colisionar pues el valor de la aceleración de la gravedad siempre sería 9.8 m/s2 y el peso de los cuerpos siempre es el mismo. Pero en el caso especial de un objeto que cae hacia la tierra con una aceleración igual a la de la gravedad, todas las partes del cuerpo caerían con la misma aceleración sin que actúen fuerzas entre ellas, sin presiones ni tensiones internas. Entonces la sensación que tendríamos sería la de ingravidez, la cual se define como el estado en el que el peso de un cuerpo disminuye o desaparece por completo y en consecuencia los efectos de gravedad son nulos, por lo tanto, un cuerpo se mantiene en caída libre sin sentir los efectos de la fuerza gravitatoria. La ingravidez es la ausencia de peso, característica de personas y objetos que no están sometidos a la gravedad. Esto ocurre cuando no hay ninguna fuerza que soporte el cuerpo, es decir cuando el cuerpo se encuentra en caída libre acelerado y no está siendo soportado por el suelo. Imagina que todos los soportes fueran quitados entonces de repente las personas u objetos comenzarían una caída libre, volarían. De modo que la ingravidez se refiere al estado en caída libre en el cual no se percibe soporte, he aquí la razón por la cual decimos que el peso de los cuerpos cambia mientras se encuentre suspendido en el aire. No se necesita estar en el espacio o una nave espacial para experimentar la ingravidez.
Seguro has experimentado algún juego mecánico en parques de diversiones como el Kilahuea en Six Flags o la montaña rusa, claros ejemplos a los que se aplica el concepto de caída libre. Un grupo de físicos en Maryland, Estados Unidos, analizaron el juego de Superman Coaster: Ride of Steel, una montaña rusa que lanza los carritos a unos 120 kilómetros por hora, a una altura equivalente a más o menos unos 20 pisos. En el juego se sienten fuerzas de casi 4G.
Cuando vamos en el carrito hasta la altura máxima, la aceleración total es -9.8 m/s2, la misma que sentimos al estar parados sobre la Tierra. Cuando empezamos a descender, llega un momento que la fuerza entre los pasajeros y el carro del juego es casi cero. Si los pasajeros cerraran los ojos, sentirían lo que se sienta en ausencia de gravedad. Esto ocurre cuando los que están en la montaña rusa se encuentran en la mitad de la primera caída y adquieren una aceleración constante. Esto es aproximadamente la caída libre. La única fuerza que actúa sobre el cuerpo es su propio peso. Esto pasa exactamente con los astronautas en la estación espacial, quienes constantemente están "en caída libre". ¿Cómo es eso de que la nave espacial está en caída libre? Si fuera así, ¿no se estrellaría con la Tierra? No, una nave en órbita tiene una velocidad suficiente para que la fuerza centrífuga se equilibre con la atracción gravitatoria. Es decir, está en caída libre pero no llega a la superficie terrestre. Los astronautas no sienten la gravedad, tienen esencialmente la misma sensación que se siente en el juego del parque. Otro juego analizado fue la llamada Tower of Doom el cual es equivalente al Kilahuea en, México. Este está constituido por una torre vertical, con asientos en la parte exterior de la misma, que se desplazan lentamente unos 50 metros hacia arriba, para posteriormente caer libremente, literalmente (ver Figura 3).

FIGURA 3. JUEGOS mecánicos en caída libre.
HTTPS://WWW.SIXFLAGS.COM.MX/MEXICO/THINGS-TO-DO

Los datos del acelerómetro demuestran claramente dos principios físicos. Si bien, quienes se suben a este juego están sujetos a una fuerza de gravedad constante experimentan durante dos segundos una caída libre en que sienten la ingravidez. Luego, potentes frenos evitan que los asientos choquen bruscamente con el piso. [5]
De esta manera se puede experimentar fuerzas G cercanas a cero o un peso aparente cercano a cero. La fricción o la resistencia al aire impiden que lleguemos a una fuerza G exactamente nula. Con ello no decimos que desaparezca la gravedad, sino que sus efectos son neutralizados.
Una caída libre en nuestro planeta es un movimiento con aceleración constante -g= -9.8 m/s2 (por convención, tiene signo negativo ya que se dirige hacia abajo, es un vector dirigido hacia el centro de la Tierra). La caída libre ideal suele ser impedida por la fricción con el aire. En caída libre, no importa el peso de un objeto, siempre llegará a la misma velocidad al suelo si parte de la misma altura con la misma velocidad inicial.
Ahora tal vez se pueda comprender mejor como los cohetes deben superar la fuerza de la gravedad mediante una fuerza de empuje o fuerza ascendente que tiene que contrarrestar la gravedad que le tira hacia abajo. La fuerza de empuje depende de la masa del cohete y de la gran cantidad de combustible requerido para lanzarlo. Su cálculo no se deja al azar. La fuerza de empuje se logra arrojando gases de combustión hacia atrás. De acuerdo con la tercera ley de Newton "Toda acción provoca una reacción de igual fuerza y dirección en sentido contrario", los gases ejercen una fuerza sobre el cohete y lo hacen subir.
La gravedad juega un papel importantísimo en el universo, pero a la vez es considerada una fuerza débil a pesar de que le da peso a toda la materia y es la causante de las órbitas planetarias y de la creación misma de las estrellas, planetas y galaxias. Se dice que "si extiendes la mano, la gravedad de todo el planeta no es capaz de imponerse a la fuerza de los músculos, sin embargo, es tan irresistible a gran escala que controla la evolución y el destino de todo el universo". [6]

Lectura recomendada
Para leer sobre un experimento imaginario que usaba Einstein para explicar la idea fundamental de su teoría general de la relatividad: el principio de equivalencia entre gravedad e inercia, que entre otras cosas implica que los ocupantes de un elevador al que se le cortara el cable que lo sujeta sentirían que flotan como si no hubiera gravedad. https://acmor.org/publicaciones/de-d-nde-sali-surfear-el-espacio-tiempo
Surfear el espacio-tiempo, un científico entre agujeros negros y viajes hiperlumínicos, Sergio de Régules y Miguel Alcubierre, Editorial Debate
ISBN: 9786073813174.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: **www.acmor.org.mx**
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx

REFERENCIAS
[1] https://www.revistacienciasunam.com/en/174-revistas/revista-ciencias-26/1604-los- experimentos-de-galileo.html
[2] https://hipertextual.com/2018/07/einstein-relatividad-general-principio-equivalencia-experimento-galileo
[3] https://noticias.autocosmos.com.mx/2017/02/10/cuantas-fuerzas-g-puede-soportar-un-ser-humano
[4] https://es.wikipedia.org/wiki/Peso
[5] https://www.unocero.com/ciencia/la-fisica-en-el-parque-de-diversiones/
[6] https://www.agenciasinc.es/Entrevistas/Si-la-gravedad-desapareciese-el-universo-se-desmoronaria-en-pedazos.