

## Comparación Dinámica de Masas

### Objetivos:

Investigar el efecto producido en el período de un sistema oscilatorio, cuando se varía la masa del sistema.

Determinar la masa de un cuerpo por un método dinámico.

### Introducción

**Masa**, propiedad intrínseca de un cuerpo, que mide su inercia, es decir, la resistencia del cuerpo a cambiar su movimiento. La masa no es lo mismo que el peso, que mide la atracción que ejerce la Tierra sobre una masa determinada. La masa inercial y la masa gravitacional son idénticas. El peso varía según la posición de la masa en relación con la Tierra, pero es proporcional a la masa; dos masas iguales situadas en el mismo punto de un campo gravitatorio tienen el mismo peso. Un principio fundamental de la física clásica es la ley de conservación de la masa, que afirma que la materia no puede crearse ni destruirse. Esta ley se cumple en las reacciones químicas, pero no ocurre así cuando los átomos se desintegran y se convierte materia en energía o energía en materia.

La teoría de la relatividad, formulada inicialmente en 1905 por Albert Einstein, cambió en gran medida el concepto tradicional de masa. La relatividad demuestra que la masa de un objeto varía cuando su velocidad se aproxima a la de la luz, es decir, cuando se acerca a los 300.000 kilómetros por segundo; la masa de un objeto que se desplaza a 260.000 km/s, por ejemplo, es aproximadamente el doble de su llamada masa en reposo. Cuando los cuerpos tienen estas velocidades, como ocurre con las partículas producidas en las reacciones nucleares, la masa puede convertirse en energía y viceversa, como sugería la famosa ecuación de Einstein  $E = mc^2$  (la energía es igual a la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz).

**Mecánica**, rama de la física que se ocupa del movimiento de los objetos y de su respuesta a las fuerzas. Las descripciones modernas del movimiento comienzan con una definición cuidadosa de magnitudes como el desplazamiento, el tiempo, la velocidad, la aceleración, la masa y la fuerza. Sin embargo, hasta hace unos 400 años el movimiento se explicaba desde un punto de vista muy distinto. Por ejemplo, los científicos razonaban siguiendo las ideas del filósofo y científico griego Aristóteles que una bala de cañón cae porque su posición natural está en el suelo; el Sol, la Luna y las estrellas describen círculos alrededor de la Tierra porque los cuerpos celestes se mueven por naturaleza en círculos perfectos.

El físico y astrónomo italiano Galileo reunió las ideas de otros grandes pensadores de su tiempo y empezó a analizar el movimiento a partir de la distancia recorrida desde un punto de partida y del tiempo transcurrido. Demostró que la velocidad de los objetos que caen aumenta continuamente durante su caída. Esta aceleración es la misma para objetos pesados o ligeros, siempre que no se tenga en cuenta la resistencia del aire (rozamiento). El matemático y físico británico Isaac Newton mejoró este análisis al definir la fuerza y la masa, y relacionarlas con la aceleración. Para los objetos que se desplazan a velocidades próximas a la velocidad de la luz, las leyes de Newton han sido sustituidas por la teoría de la relatividad de Albert Einstein. Para las partículas atómicas y subatómicas, las leyes de Newton han sido sustituidas por la teoría cuántica. Pero para los fenómenos de la vida diaria, las tres leyes del movimiento de Newton siguen siendo la piedra angular de la dinámica (el estudio de las causas del cambio en el movimiento).

### Cinemática

La cinemática se ocupa de la descripción del movimiento sin tener en cuenta sus causas. La velocidad (la tasa de variación de la posición) se define como la distancia recorrida dividida entre el intervalo de tiempo. La

magnitud de la velocidad se denomina celeridad, y puede medirse en unidades como kilómetros por hora, metros por segundo,... La aceleración se define como la tasa de variación de la velocidad: el cambio de la velocidad dividido entre el tiempo en que se produce. Por tanto, la aceleración tiene magnitud, dirección y sentido, y se mide en unidades del tipo metros por segundo cada segundo.

En cuanto al tamaño o peso del objeto en movimiento, no se presentan problemas matemáticos si el objeto es muy pequeño en relación con las distancias consideradas. Si el objeto es grande, se emplea un punto llamado centro de masas, cuyo movimiento puede considerarse característico de todo el objeto. Si el objeto gira, muchas veces conviene describir su rotación en torno a un eje que pasa por el centro de masas.

Existen varios tipos especiales de movimiento fáciles de describir. En primer lugar, aquél en el que la velocidad es constante. En el caso más sencillo, la velocidad podría ser nula, y la posición no cambiaría en el intervalo de tiempo considerado. Si la velocidad es constante, la velocidad media (o promedio) es igual a la velocidad en cualquier instante determinado. Si el tiempo  $t$  se mide con un reloj que se pone en marcha con  $t = 0$ , la distancia  $d$  recorrida a velocidad constante  $v$  será igual al producto de la velocidad por el tiempo:

$$d = vt$$

Otro tipo especial de movimiento es aquél en el que se mantiene constante la aceleración. Como la velocidad varía, hay que definir la velocidad instantánea, que es la velocidad en un instante determinado. En el caso de una aceleración  $a$  constante, considerando una velocidad inicial nula ( $v = 0$  en  $t = 0$ ), la velocidad instantánea transcurrido el tiempo  $t$  será

$$v = at$$

La distancia recorrida durante ese tiempo será

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

Esta ecuación muestra una característica importante: la distancia depende del cuadrado del tiempo ( $t^2$ , o  $t$  al cuadrado, es la forma breve de escribir  $t \times t$ ). Un objeto pesado que cae libremente (sin influencia de la fricción del aire) cerca de la superficie de la Tierra experimenta una aceleración constante. En este caso, la aceleración es aproximadamente de 9,8 m/s cada segundo. Al final del primer segundo, una pelota habría caído 4,9 m y tendría una velocidad de 9,8 m/s. Al final del siguiente segundo, la pelota habría caído 19,6 m y tendría una velocidad de 19,6 m/s.

El movimiento circular es otro tipo de movimiento sencillo. Si un objeto se mueve con celeridad constante pero la aceleración forma siempre un ángulo recto con su velocidad, se desplazará en un círculo. La aceleración está dirigida hacia el centro del círculo y se denomina aceleración normal o centrípeta (véase Fuerza centrípeta). En el caso de un objeto que se desplaza a velocidad  $v$  en un círculo de radio  $r$ , la aceleración centrípeta es  $a = v^2/r$ . Otro tipo de movimiento sencillo que se observa frecuentemente es el de una pelota que se lanza al aire formando un ángulo con la horizontal. Debido a la gravedad, la pelota experimenta una aceleración constante dirigida hacia abajo que primero reduce la velocidad vertical hacia arriba que tenía al principio y después aumenta su velocidad hacia abajo mientras cae hacia el suelo. Entretanto, la componente horizontal de la velocidad inicial permanece constante (si se prescinde de la resistencia del aire), lo que hace que la pelota se desplace a velocidad constante en dirección horizontal hasta que alcanza el suelo. Las componentes vertical y horizontal del movimiento son independientes, y se pueden analizar por separado. La trayectoria de la pelota resulta ser una parábola.

## Dinámica

Para entender cómo y por qué se aceleran los objetos, hay que definir la fuerza y la masa. Puede medirse en

función de uno de estos dos efectos: una fuerza puede deformar algo, como un muelle, o acelerar un objeto. El primer efecto puede utilizarse para calibrar la escala de un muelle, que a su vez puede emplearse para medir la magnitud de otras fuerzas: cuanto mayor sea la fuerza  $F$ , mayor será el alargamiento del muelle  $x$ . En muchos muelles, y dentro de un rango de fuerzas limitado, es proporcional a la fuerza:

$$F = kx$$

donde  $k$  es una constante que depende del material y dimensiones del muelle.

## Vectores

Si un objeto está en equilibrio, la fuerza total ejercida sobre él debe ser cero. Un libro colocado sobre una mesa es atraído hacia abajo por la atracción gravitacional de la Tierra y es empujado hacia arriba por la repulsión molecular de la mesa. La suma de las fuerzas es cero; el libro está en equilibrio. Para calcular la fuerza total, hay que sumar las fuerzas como vectores.

## Momento de una fuerza

Para que haya equilibrio, las componentes horizontales de las fuerzas que actúan sobre un objeto deben cancelarse mutuamente, y lo mismo debe ocurrir con las componentes verticales. Esta condición es necesaria para el equilibrio, pero no es suficiente. Por ejemplo, si una persona coloca un libro de pie sobre una mesa y lo empuja igual de fuerte con una mano en un sentido y con la otra en el sentido opuesto, el libro permanecerá en reposo si las manos están una frente a otra. (El resultado total es que el libro se comprime). Pero si una mano está cerca de la parte superior del libro y la otra mano cerca de la parte inferior, el libro caerá sobre la mesa. Para que haya equilibrio también es necesario que la suma de los momentos en torno a cualquier eje sea cero.

El momento de una fuerza es el producto de dicha fuerza por la distancia perpendicular a un determinado eje de giro. Cuando se aplica una fuerza a una puerta pesada para abrirla, la fuerza se ejerce perpendicularmente a la puerta y a la máxima distancia de las bisagras. Así se logra un momento máximo. Si se empujara la puerta con la misma fuerza en un punto situado a medio camino entre el tirador y las bisagras, la magnitud del momento sería la mitad. Si la fuerza se aplicara de forma paralela a la puerta (es decir, de canto), el momento sería nulo. Para que un objeto esté en equilibrio, los momentos dextrógiros (a derechas) en torno a todo eje deben cancelarse con los momentos levógiros (a izquierdas) en torno a ese eje. Puede demostrarse que si los momentos se cancelan para un eje determinado, se cancelan para todos los ejes.

## Las tres leyes del movimiento de Newton

Con la formulación de las tres leyes del movimiento, Isaac Newton estableció las bases de la dinámica.

### *La primera ley*

La primera ley de Newton afirma que si la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre un objeto es cero, el objeto permanecerá en reposo o seguirá moviéndose a velocidad constante. El que la fuerza ejercida sobre un objeto sea cero no significa necesariamente que su velocidad sea cero. Si no está sometido a ninguna fuerza (incluido el rozamiento), un objeto en movimiento seguirá desplazándose a velocidad constante.

### *La segunda ley*

La segunda ley de Newton relaciona la fuerza total y la aceleración. Una fuerza neta ejercida sobre un objeto lo acelerará, es decir, cambiará su velocidad. La aceleración será proporcional a la magnitud de la fuerza total y tendrá la misma dirección y sentido que ésta. La constante de proporcionalidad es la masa  $m$  del objeto

$$F = ma$$

En el Sistema Internacional de unidades (conocido también como SI), la aceleración  $a$  se mide en metros por segundo cuadrado, la masa  $m$  se mide en kilogramos, y la fuerza  $F$  en newtons. Un newton se define como la fuerza necesaria para suministrar a una masa de 1 kg una aceleración de 1 metro por segundo cada segundo; esta fuerza es aproximadamente igual al peso de un objeto de 100 gramos.

Un objeto con más masa requerirá una fuerza mayor para una aceleración dada que uno con menos masa. Lo asombroso es que la masa, que mide la inercia de un objeto (su resistencia a cambiar la velocidad), también mide la atracción gravitacional que ejerce sobre otros objetos. Resulta sorprendente, y tiene consecuencias profundas, que la propiedad inercial y la propiedad gravitacional estén determinadas por una misma cosa. Este fenómeno supone que es imposible distinguir si un punto determinado está en un campo gravitatorio o en un sistema de referencia acelerado. Einstein hizo de esto una de las piedras angulares de su teoría general de la relatividad, que es la teoría de la gravitación actualmente aceptada.

### *Rozamiento*

El rozamiento, generalmente, actúa como una fuerza aplicada en sentido opuesto a la velocidad de un objeto. En el caso de deslizamiento en seco, cuando no existe lubricación, la fuerza de rozamiento es casi independiente de la velocidad. La fuerza de rozamiento tampoco depende del área aparente de contacto entre un objeto y la superficie sobre la cual se desliza. El área real de contacto esto es, la superficie en la que las rugosidades microscópicas del objeto y de la superficie de deslizamiento se tocan realmente es relativamente pequeña. Cuando un objeto se mueve por encima de la superficie de deslizamiento, las minúsculas rugosidades del objeto y la superficie chocan entre sí, y se necesita fuerza para hacer que se sigan moviendo. El área real de contacto depende de la fuerza perpendicular entre el objeto y la superficie de deslizamiento. Frecuentemente, esta fuerza no es sino el peso del objeto que se desliza. Si se empuja el objeto formando un ángulo con la horizontal, la componente vertical de la fuerza dirigida hacia abajo se sumará al peso del objeto. La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza perpendicular total.

Cuando hay rozamiento, la segunda ley de Newton puede ampliarse a

$$F_{\text{efectiva}} = F - F_{\text{rozamiento}} = ma$$

Sin embargo, cuando un objeto se desplaza a través de un fluido, el valor del rozamiento depende de la velocidad. En la mayoría de los objetos de tamaño humano que se mueven en agua o aire (a velocidades menores que la del sonido), la fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad. En ese caso, la segunda ley de Newton se convierte en

$$F_{\text{efectiva}} = F - kv^2 = ma$$

La constante de proporcionalidad  $k$  es característica de los dos materiales en cuestión y depende del área de contacto entre ambas superficies, y de la forma más o menos aerodinámica del objeto en movimiento.

### *La tercera ley*

La tercera ley de Newton afirma que cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este otro objeto ejerce también una fuerza sobre el primero. La fuerza que ejerce el primer objeto sobre el segundo debe tener la misma magnitud que la fuerza que el segundo objeto ejerce sobre el primero, pero con sentido opuesto. Por ejemplo, en una pista de patinaje sobre hielo, si un adulto empuja suavemente a un niño, no sólo existe la fuerza que el adulto ejerce sobre el niño, sino que el niño ejerce una fuerza igual pero de sentido opuesto sobre el adulto. Sin embargo, como la masa del adulto es mayor, su aceleración será menor.

La tercera ley de Newton también implica la conservación del momento lineal, el producto de la masa por la velocidad. En un sistema aislado, sobre el que no actúan fuerzas externas, el momento debe ser constante. En el ejemplo del adulto y el niño en la pista de patinaje, sus velocidades iniciales son cero, por lo que el momento inicial del sistema es cero. Durante la interacción operan fuerzas internas entre el adulto y el niño, pero la suma de las fuerzas externas es cero. Por tanto, el momento del sistema tiene que seguir siendo nulo. Después de que el adulto empuje al niño, el producto de la masa grande y la velocidad pequeña del adulto debe ser igual al de la masa pequeña y la velocidad grande del niño. Los momentos respectivos son iguales en magnitud pero de sentido opuesto, por lo que su suma es cero.

Otra magnitud que se conserva es el momento angular o cinético. El momento angular de un objeto en rotación depende de su velocidad angular, su masa y su distancia al eje. Cuando un patinador da vueltas cada vez más rápido sobre el hielo, prácticamente sin rozamiento, el momento angular se conserva a pesar de que la velocidad aumenta. Al principio del giro, el patinador tiene los brazos extendidos. Parte de la masa del patinador tiene por tanto un radio de giro grande. Cuando el patinador baja los brazos, reduciendo su distancia del eje de rotación, la velocidad angular debe aumentar para mantener constante el momento angular.

## **Energía**

La magnitud denominada energía enlaza todas las ramas de la física. En el ámbito de la mecánica, debe suministrarse energía para realizar trabajo; el trabajo se define como el producto de la fuerza por la distancia que recorre un objeto en la dirección de la fuerza. Cuando se ejerce una fuerza sobre un objeto pero la fuerza no hace que el objeto se mueva, no se realiza trabajo. La energía y el trabajo se expresan en las mismas unidades, como por ejemplo julios o ergios.

Si se realiza trabajo para elevar un objeto a una altura superior, se almacena energía en forma de energía potencial gravitatoria. Existen muchas otras formas de energía: energía potencial eléctrica y magnética, energía cinética, energía acumulada en muelles estirados, gases comprimidos o enlaces moleculares, energía térmica e incluso la propia masa. En todas las transformaciones entre un tipo de energía y otro se conserva la energía total. Por ejemplo, si se ejerce trabajo sobre una pelota de goma para levantarla, se aumenta su energía potencial gravitatoria. Si se deja caer la pelota, esta energía potencial gravitatoria se convierte en energía cinética. Cuando la pelota choca contra el suelo, se deforma y se produce fricción entre las moléculas de su material. Esta fricción se transforma en calor o energía térmica.

## **Formulas**

Segunda Ley de Newton

$$F = M \times a$$

Ley de Gravitación Universal de Newton

$$F = G [(M1 \times M2) / r^2]$$

Periodo de un Movimiento Armónico

$$T = 2 \pi \sqrt{m / k}$$

## **Material**

- Balanza inercial
- Juego de masas
- Cronometro

- Flexómetro
- Balanza gravitatoria

### **Procedimiento**

Se colocó una masa  $m$  en una balanza, variando esta desde 0 hasta 1000 g en pesas de 100 g. Después se determinó el tiempo que tarda en hacer 20 oscilaciones para cada masa y se obtuvo el periodo. Esto se repitió 5 veces por cada masa y se obtuvo un promedio.

Después se colocó en la plataforma un cuerpo de masa desconocida  $m_x$  y se midió el periodo de oscilación  $T$  para esta masa.

### **Resultados**

(Ver Tabla)

### **Conclusiones**

Al realizar esta práctica nos dimos cuenta que entre más pesada sea la masa en cuestión, más pequeño será el periodo obtenido en la balanza.

También aprendimos lo que es el periodo y como varía según la masa que este puesta.

### **Bibliografía**

- Estática Mecánica para Ingeniería, Bedford y Fowler. Addison–Wesley Iberoamericana.
- Manual de Laboratorio, Departamento de Física.

UIA