

BLOQUE VII

DINÁMICA

Contenidos

1. Introducción
 - 1.1. Fuerza
 - 1.2. Momento lineal.
 2. Leyes de Newton.
 - 2.1. Primera ley de Newton: Ley de inercia.
 - 2.1.1. Sistemas inerciales y no inerciales.
 - 2.2. Segunda ley de Newton: Ley fundamental de la dinámica
 - 2.3. Tercera ley de Newton: ley de acción-reacción.
 3. Principio de conservación de la cantidad de movimiento.
 4. Estudio de algunas fuerzas de especial interés.
 - 4.1. Fuerza gravitatoria. Ley de Gravitación Universal.
 - 4.2. Fuerza de rozamiento.
 - 4.3. Fuerza centrípeta.
 - 4.4. Fuerza elástica o restauradora.
-

Criterios de Evaluación

- Identificar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
- Resolver situaciones desde un punto de vista dinámico que involucran planos inclinados y/o poleas.
- Reconocer las fuerzas elásticas en situaciones cotidianas y describir sus defectos.
- Aplicar el principio de conservación del momento lineal a sistemas de dos cuerpos y predecir el movimiento de los mismos a partir de las condiciones iniciales.
- Justificar la necesidad de que existan fuerzas para que se produzca un movimiento circular.

1. Introducción.

En este bloque abordaremos el concepto de fuerza y las leyes que relacionan los conceptos físicos de masa y fuerza. Estas leyes constituyen la base de mecánica clásica. Analizaremos las leyes de Newton del movimiento y cómo éstas pueden aplicarse a problemas simples en los que actúan fuerzas constantes. Es la parte de la física denominada **dinámica**.

1.1. Fuerza

La **fuerza** es una magnitud vectorial que mide la intensidad de una interacción entre dos cuerpos. Un cuerpo sólo (aislado), no "tiene" fuerza, las fuerzas sólo existen cuando hay dos cuerpos que interaccionan.

La unidad en el SI es el newton (N) y el origen de todas las fuerzas se debe a las interacciones de tipo gravitatorio, de tipo electromagnético o de tipo nuclear.

Los vectores que representen a las fuerzas tendrán su origen en el cuerpo sobre el que actúan.

Las diferentes fuerzas que actúan sobre un cuerpo pueden sumarse vectorialmente dando lugar a la denominada **resultante** de las fuerzas.

Los efectos de las fuerzas son dos: cambios en el estado de movimiento de los cuerpos y deformaciones. En este curso estudiaremos el primero de los efectos.

1.2. Momento lineal (cantidad de movimiento)

El momento lineal o cantidad de movimiento se define como el vector resultante de multiplicar la masa por la velocidad de esa partícula:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \text{VII.1}$$

Dado que m es una magnitud escalar, el vector \vec{p} tendrá la misma dirección y sentido que \vec{v} .

2. Leyes de Newton

2.1. Primera Ley de Newton (Ley de inercia)

Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o su resultante es nula, el cuerpo permanecerá en reposo si estaba en reposo o se moverá con movimiento rectilíneo uniforme si estaba en movimiento.

Si la resultante de las fuerzas es cero ($\sum \vec{F} = 0$) el cuerpo mantiene su estado de movimiento.

La **inercia** es la tendencia que tiene un cuerpo a continuar en su estado de movimiento. La masa es la medida cuantitativa de la inercia: a mayor masa mayor inercia. Debemos resaltar que la inercia NO es una fuerza.

La primera ley de Newton no distingue entre un cuerpo en reposo y otro que se mueva con velocidad constante. Para distinguir uno de otro necesitamos de un sistema de referencia.

2.1.1. Sistemas inerciales y no inerciales

La primera ley de Newton no es válida para todos los sistemas de referencia (SR) . Los SR en los que es válida la primera ley de Newton se llaman **sistemas de referencia inerciales** y aquellos en los que no se cumple **sistema de referencia no inerciales**.

Las situaciones que estudiaremos en este curso supondremos que los SR fijos sobre la Tierra se comportan como SR inerciales, aunque estrictamente hablando no lo son debido al movimiento de rotación de la Tierra.

Cualquier SR que se mueve con velocidad constante (o en reposo) relativa a un SR inercial también es un SR inercial.

Un SR no inercial es aquel que se mueve con aceleración, como es el caso de autobús cuando frena.

2.2. Segunda Ley de Newton (Ley fundamental de la Dinámica)

¿En qué condiciones se modifica el estado de movimiento de un cuerpo? Analicemos las siguientes situaciones:

- ⊗ Al lanzar un objeto por el suelo, se desliza y su rapidez disminuye hasta que se detiene.
- ⊗ Un cuerpo que cae a la Tierra aumenta su rapidez debido a la atracción de la Tierra.
- ⊗ Dos bolas de billar que chocan modifican su velocidad.

Podemos concluir que:

- (a) Toda interacción se produce entre dos cuerpos.
- (b) Las interacciones no requieren necesariamente que los cuerpos estén en contacto.
- (c) El efecto de toda interacción es la modificación de la velocidad y por tanto la existencia de aceleración.

Podemos concluir que: **el efecto de toda interacción es la variación en la cantidad de movimiento.**

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad \text{VII.2}$$

Si la resultante de las fuerzas es cero, no hay cambios en la cantidad de movimiento tal y como indica la primera ley de Newton.

La expresión VII.2 considera que la fuerza (o fuerzas) que actúa en un intervalo de tiempo, Δt , es constante. Si queremos calcular la fuerza en un instante determinado debemos utilizar el mismo mecanismo que el utilizado para calcular la velocidad instantánea:

$$\sum \vec{F} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \text{VII.3}$$

La ecuación VII.3 combinada con la VII.1:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a} \quad (\text{si } m = \text{constante}) \quad \text{VII.4}$$

Ecuación que se conoce con el nombre de ecuación fundamental de la Dinámica y que nos proporciona la forma de enunciar la segunda ley: **"el cambio de movimiento (aceleración) originado en un cuerpo es proporcional a la resultante de las fuerzas aplicadas al cuerpo y va en la misma dirección y sentido que dicha resultante"**.

Esta ecuación nos permite definir la unidad de fuerza en el Sistema Internacional:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

2.3. Tercera Ley de Newton (ley de acción-reacción)

La tercera ley puede enunciarse así:

Cuando dos cuerpos interactúan, se ejercen mutuamente fuerzas iguales y de sentidos opuestos.

Hay que tener presente que esas fuerzas actúan sobre cuerpos distintos, ya que de lo contrario sería imposible modificar el estado de movimiento de los cuerpos.

Una de las consecuencias de la tercera ley es la conservación del momento lineal.

3. Principio de conservación de la cantidad de movimiento.

Hemos visto que la variación de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza resultante aplicada sobre él (VII.2) . Si la fuerza resultante es cero, la variación de la cantidad de movimiento también es cero y en consecuencia la cantidad de movimiento permanece constante. Por lo tanto, para que la cantidad de movimiento se conserve es necesario que la fuerza resultante sea cero. A esto se le conoce como el **principio de conservación de la cantidad de movimiento**:

La cantidad de movimiento de una partícula permanece constante si y solo si la resultante de las fuerzas que actúan sobre la partícula es cero.

Este principio tiene bastante aplicaciones en los problemas de cuerpos que chocan, explosiones, etc.

4. Estudio de algunas fuerzas de especial interés.

4.1. Fuerza gravitatoria. Ley de Gravitación Universal.

La fuerza de atracción que ejerce la Tierra la hemos denominado peso. Se ha definido como:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad \text{VII.5}$$

Siendo m la masa del cuerpo y \vec{g} la aceleración de la gravedad del lugar en donde se encuentre el cuerpo. ¿Cuánto vale la aceleración de la gravedad?

A finales de siglo XVII Isaac Newton formuló la ley de Gravitación Universal con la que se explicaban los movimientos que se observan en los planetas del Sistema Solar, así como los movimientos de caída libre de los cuerpos. La ley de Gravitación Universal se puede enunciar como:

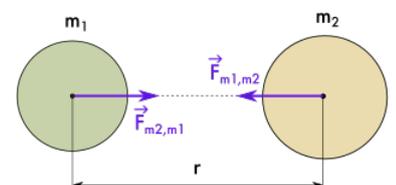
Todos los cuerpos se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

En módulo, esta fuerza se puede expresar como:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad \text{VII.6}$$

donde G es una constante universal de valor $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$.

Como el peso es la fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo, podemos aplicar la ecuación VII.6 , teniendo en cuenta que la masa de uno de los cuerpos es la masa de la Tierra, M , y la



otra masa, m , es la masa del cuerpo; la distancia entre la Tierra y el cuerpo es el radio terrestre, R . Con estos datos la ecuación VII.6 nos queda:

$$P = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Si comparamos esta última expresión con el módulo de VII.5, se puede obtener el valor de la aceleración de la gravedad:

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad \text{VII.7}$$

Esta fórmula nos permite calcular la gravedad a cualquier distancia del centro de la Tierra.

Una característica importante que se desprende de esta última ecuación es que su valor disminuye con la altura.

4.2. Fuerza de rozamiento

Cuando dos cuerpos se ponen en contacto aparecen fuerzas que se oponen al desplazamiento relativo entre ambos. Estas fuerzas, que se llaman de rozamiento, dependen de la **fuerzas que comprime** ambos cuerpos, de la naturaleza de las **superficies** en contacto y de su grado de **pulimentación**. Estas fuerzas son paralelas a las superficies que están en contacto.

Existen dos tipos de fuerzas de rozamiento, según que el cuerpo se mueva o no: fuerza de rozamiento estática y fuerza de rozamiento dinámica.

Mientras el cuerpo no se mueve, la fuerza aplicada tiene que ser igual a la fuerza de rozamiento. En el límite se cumple que:

$$F_{roz} = \mu_s \cdot N \quad \text{VII.8}$$

En donde μ_s es el denominado **coeficiente de rozamiento estático** que depende de las superficies en contacto.

Cuando el cuerpo está deslizando se cumple que:

$$F_{roz} = \mu \cdot N \quad \text{VII.9}$$

En donde μ se conoce con el nombre de coeficiente de rozamiento dinámico.

En ambas situaciones se comprueba que la fuerza de rozamiento es directamente proporcional al valor de la normal.

Esta situación la podemos recoger en la siguiente gráfica:



El coeficiente de rozamiento es un valor constante que se determina experimentalmente y que recoge la influencia de la naturaleza de las superficies y su grado de pulimentación.

El valor máximo se alcanza cuando ya hay movimiento relativo entre ambas superficies, o cuando la fuerza resultante que tiende a poner en movimiento un cuerpo sobre el otro es mayor que la fuerza de rozamiento máxima.

4.3. Fuerza centrípeta

Si un cuerpo describe un movimiento curvilíneo tendrá una **aceleración centrípeta** dirigida hacia el centro de curvatura de la trayectoria en cada punto. Según la segunda ley de Newton, esta aceleración está producida por una fuerza llamada centrípeta o normal, cuyo módulo es:

$$\left| \vec{F}_N \right| = m \frac{v^2}{R} \quad \text{VII.10}$$

La fuerza centrípeta no se tiene que corresponder siempre con una interacción real. Si el movimiento es el circular uniforme en el que la rapidez es constante, la fuerza centrípeta será la resultante de todas las fuerzas que actúan, y se corresponderá con una fuerza real si sólo actúa una única fuerza, por ejemplo la fuerza de atracción de la Tierra sobre la Luna. Si el movimiento no es uniforme la fuerza resultante podemos considerarla como la suma de una componente tangencial, que es la que producirá la aceleración tangencial, y otra centrípeta que produce la aceleración centrípeta.

4.4. Fuerzas elásticas o restauradoras

En la Naturaleza hay un gran número que responden a este tipo de fuerzas; sin duda el ejemplo más sencillo es el del estiramiento o alargamiento de un muelle.

La fuerza elástica que un muelle ejerce sobre un cuerpo es directamente proporcional a la deformación del muelle, y su sentido es a oponerse a dicha deformación (ley de Hooke):

$$\vec{F}_{elástica} = -K \cdot \Delta \vec{x} \quad \text{VII.11}$$

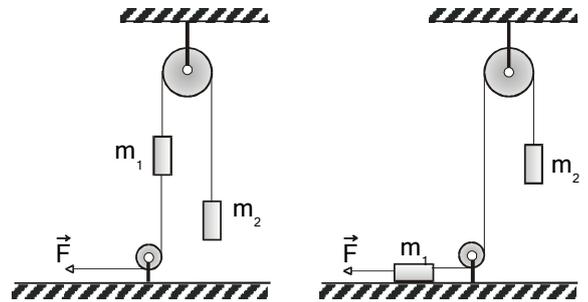
Siendo Δx la **deformación** sufrida por el muelle y K la constante recuperadora o **constante elástica**, característica de cada muelle.

Actividades

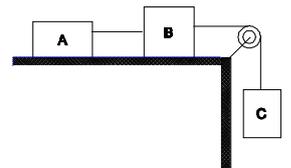
1. Un cuerpo de 5 kg se mueve según la ecuación $\vec{r}(t) = 3t^2\vec{i} + 2t\vec{j} - 5\vec{k} \text{ m}$. Calcula la fuerza que actúa sobre él e indica en qué dirección lo hace.
2. Un cuerpo que pesa 20 N se deja caer desde una torre de 45 m de altura. Al mismo tiempo sopla un viento lateral que ejerce sobre él una fuerza constante de 8 N. Determinad a qué distancia de la base de la torre llegará al suelo. Dato: $g = 10 \text{ m/s}^2$

3. Determina la relación entre las masas de dos carritos, A y B, que colisionan. Para ello lanzamos el carrito A con una rapidez de 0,7 m/s contra el carrito B, que está en reposo. Después del impacto, el carrito A rebota con una rapidez de 0,3 m/s, mientras que B sale despedido con una rapidez de 0,5 m/s.
4. Dos bloques de 10 kg y 20 kg, respectivamente, que están en contacto uno con otro se encuentran en reposo sobre una superficie horizontal. Si se aplica una fuerza horizontal de 8 N sobre el de mayor masa: a) ¿Qué aceleración adquiere el conjunto? b) ¿cuál es el valor de las fuerzas de contacto entre ambos bloques?
5. Estudia el movimiento de una esfera, de masa m , sujeta a una cuerda a la que se le hace girar en círculos verticales, centrándote en los siguientes aspectos: a) ¿es uniforme el movimiento que recibe? b) Encuentra una expresión para el valor de la tensión de la cuerda en función de la separación angular de la esfera con respecto a la vertical.

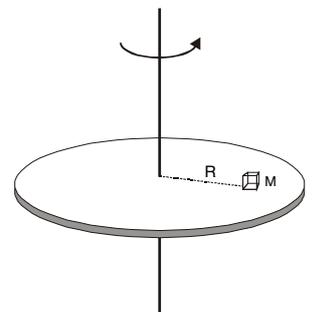
6. Calcular la aceleración de los bloques de las figuras, así como la tensión de las cuerdas, suponiendo que tanto éstas como las poleas tienen masas despreciables y que no existen rozamientos en ningún sitio. ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$) Datos: $m_1=50 \text{ g}$; $m_2=80 \text{ g}$; $F = 1 \text{ N}$.



7. Con un cañón de 600 Kg se dispara un proyectil de 2 Kg de masa con una velocidad de 900 m/s. Determinar la rapidez de retroceso del cañón.
8. Se lanza un cuerpo por un plano inclinado de 25° con una cierta velocidad que lo hace subir hasta que se detiene. Determinar la aceleración de frenado sabiendo que el coeficiente de rozamiento, $\mu = 0.02$
9. Las masas A, B y C de la figura, están enlazadas por cuerdas de masa despreciable. Entre las A, B y la mesa hay rozamiento cuyo coeficiente de rozamiento dinámico vale $\mu=0,1$. La masa de A y de B es de 2 kg. a) ¿Cuál debe ser el valor de la masa de C para que el conjunto se mueva con velocidad constante?, ¿cuánto valdrá la tensión de las cuerdas? b) ¿cuánto vale la aceleración de las masas si la masa de C es de 2 kg? Dato: $g = 10 \text{ m/s}^2$

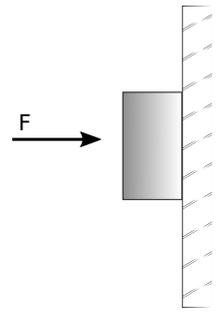


10. Una plataforma gira alrededor de un eje a razón de 1 vuelta por segundo. Colocamos un bloque, de masa M , sobre la plataforma siendo el coeficiente de rozamiento estático entre ambos de 0,8. Calcular la distancia máxima del bloque al eje de giro para la cual éste gira con la plataforma y no es lanzado al exterior. Explica el resultado obtenido. Dato: $g = 10 \text{ m/s}^2$



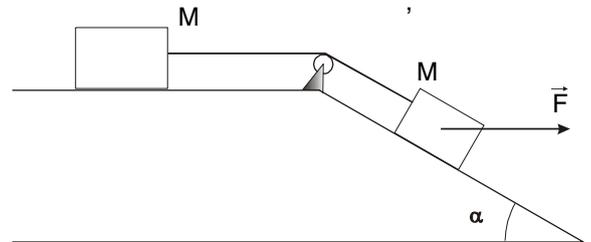
11. ¿Cada cuánto tiempo un observador situado en un punto de la superficie terrestre verá pasar la Estación Espacial Internacional, sabiendo que se esta se encuentra a una distancia de 400 km de la superficie de la Tierra? Datos $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^2$; Radio terrestre: $6,357 \cdot 10^6 \text{ m}$; Masa terrestre: $5,975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

12. ¿Cuál es el módulo de la mínima fuerza aplicada F , (ver figura) que evitará que el bloque deslice hacia abajo por la pared? Datos: masa del bloque $6,4 \text{ kg}$; coeficiente de rozamiento estático: $0,76$; aceleración de la gravedad $9,8 \text{ ms}^{-2}$



13. En el sistema de la figura, la fuerza horizontal representada tiene un módulo de 5 N , las masas M y M' tienen un valor de 2 kg y el ángulo α es de 30° . Si entre los bloques y la superficie el coeficiente de rozamiento cinético es $0,1$, determinar:

- a. La aceleración de las masas.
- b. La tensión de la cuerda.



Bibliografía:

Tipler, Paul A. Física Editorial Reverté SA

Física y Química. 1º Bachillerato. Ed. Oxford