

TEMA 3. DINÁMICA DE LA PARTICULA.

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se sigue considerando un modelo para hacer el estudio de la dinámica sólo para el caso de partículas. Un modelo se usa para representar la realidad física y debe tener en cuenta dos aspectos conflictivos entre sí: a) tiene que ser lo bastante simple para como para ser elaborado con métodos matemáticamente rigurosos, b) debe ser realista para que los resultados obtenidos sean aplicables al problema considerado. La sencillez del modelo, su belleza matemática, es incompatible con la fidelidad al problema real.

La *dinámica* estudia el movimiento de los cuerpos considerando las causas que lo producen. Es una rama de la Mecánica que abarca casi toda la Mecánica Clásica. En la Mecánica Clásica se restringe el estudio a los cuerpos (partículas) grandes comparados con el tamaño de un átomo ($\sim 10^{-10} m$) y para velocidades pequeñas comparadas con la de la luz ($\sim 3 \times 10^8 m/s$). Isaac Newton (1642-1727) es el principal creador de la Mecánica Clásica. La Mecánica Relativista estudia el movimiento de las partículas subatómicas, que se mueven a muy altas velocidades, es más general que la Mecánica Clásica a la que incluye como caso particular. Su creador fue A. Einstein (1879 – 1955).

En los primeros estudios, Galileo Galilei (1564-1642), hizo un gran avance en la comprensión del movimiento. Las ideas de Galileo eran revolucionarias para su época, él propuso la teoría científica que la Tierra giraba en torno al Sol, teoría contraria a las doctrinas de la iglesia que imponían la idea que la Tierra era el centro del Universo, sin tener fundamentos para hacer esa afirmación. Quienes se oponían a esas creencias eran severamente castigados, con penas tales como morir quemado en la hoguera u otras barbaries impuestas por la religión católica. Galileo se encontró en esa situación peligrosa, por lo que no pudo publicar sus resultados y fue obligado a retractarse públicamente. Posteriormente, la inquisición española propicio que todas sus universidades aprobaran y estudiaran la tesis de Galileo. Durante el Jubileo 2000 la Iglesia Católica tuvo que pedir perdón al mundo científico por no haber creído en la teoría de Galileo y le pidió perdón a Galileo mismo. Pero un filósofo contemporáneo de Galileo, Giordano Bruno (1548-1600) tuvo un final trágico, ya que murió en Roma en 1600 quemado en la hoguera de la Inquisición, por defender las mismas ideas de Galileo. En la actualidad, la Iglesia Católica mantiene sus ideas dictatoriales y retrógradas porque, por ejemplo, acepta la tesis abortiva de la ‘píldora del día después’, (que de acuerdo a la teoría bioética debiera llamarse ‘píldora de las seis horas después’), a pesar de que se ha demostrado científicamen-

te que no es abortiva, o se opone a la aprobación de leyes como la del Divorcio, o pone trabas para la realización del programa JOCAS (Jornadas de conversación, afectividad y sexualidad) en los Liceos, sin embargo la iglesia se resiste a aceptar las sanciones en contra de sus sacerdotes que son acusados de abusos deshonestos, y los defiende ¿Cómo eso va a ser algo aceptable? Ojalá que no se deba esperar otros 500 años para que la Iglesia Católica reconozca este nuevo error.

Antes de Galileo la mayoría de los filósofos pensaba que se necesitaba una '*influencia externa*' para mantener a un cuerpo en movimiento. Creían que un cuerpo se encontraba en su estado natural cuando estaba en reposo, y que para que el cuerpo se moviera en línea recta con velocidad constante, tenía que moverlo continuamente algún agente externo, de otra manera naturalmente se detendría. Para probar esa idea, Galileo empezó por encontrar una forma de liberar a un cuerpo de toda influencia externa. En la naturaleza eso no se puede lograr, porque aún cuerpos muy alejados de un cuerpo de prueba pueden ejercer una influencia sobre él y cambiar su movimiento. Pero se puede hacer que las influencias externas sean muy pequeñas (es el modelo) y pensar que realmente no existen para tener una idea de cómo sería el movimiento. La experiencia de Galileo fue deslizar un bloque de madera sobre una superficie bajo una influencia externa (por ejemplo la mano que lo empuja), si se elimina la influencia externa el bloque se detiene, por eso los filósofos pensaban que permanentemente tenía que estar actuando la influencia externa para mantener el movimiento. Pero si se elige como cuerpo una esfera y se hace deslizar sobre una superficie muy lisa, al ponerla en movimiento lo hará con mucha facilidad sin ninguna influencia externa, (el contacto entre las dos superficies es otra influencia externa que se desprecia). En el caso que no exista ninguna influencia externa sobre un cuerpo después que se lo pone en movimiento, nunca más se detendría. A la influencia externa que hace que un cuerpo este detenido o en movimiento se le llama una *fuerza*.

¿Qué es fuerza? En la vida cotidiana se considera *fuerza* a una sensación común asociada con la dificultad para mover o levantar un cuerpo. En Física se identifica una fuerza por el efecto que produce. Uno de los efectos de una fuerza es cambiar el estado de reposo o de movimiento del cuerpo, más concretamente, una fuerza cambia la velocidad de un objeto, es decir produce una aceleración. Cuando se aplica una fuerza sobre un cuerpo y no se produce movimiento, entonces puede cambiar su forma, aún si el cuerpo es muy rígido. La deformación puede o no ser permanente. Entonces los efectos de la fuerza neta son dos: cambiar el estado de movimiento de un cuerpo o producir una deformación, o ambas cosas.

Normalmente sobre un cuerpo pueden actuar varias fuerzas, entonces el cuerpo acelerará cuando el efecto de la fuerza neta que actúa sobre él no es cero. Se llama **fuerza neta** o *fuerza resultante* a la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. Si la fuerza neta es cero, la aceleración es cero, el movimiento es con velocidad igual a cero (cuerpo detenido) o con velocidad constante. Cuando un cuerpo está en reposo o se mueve con velocidad constante, se dice que está en **equilibrio**.

Se pueden distinguir dos grandes clases de fuerzas: fuerzas de contacto, representan el resultado del contacto físico entre el cuerpo y sus alrededores, por ejemplo mover un carro o estirar un resorte; y fuerzas de acción a distancia que actúan a través del espacio sin que haya contacto físico entre el cuerpo y sus alrededores, por ejemplo la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos que caen en caída libre. Todas las diferentes formas de fuerzas se encuentran dentro de esas dos grandes clasificaciones.

Para describir el mundo, la física contemporánea recurre a cuatro interacciones o fuerzas fundamentales, que actúan sobre las partículas de materia (y sobre las anti-partículas), son vehiculadas por unas partículas llamadas *vectores de interacción*, que son: fotón (interacción electromagnética), bosón (interacción débil), gluón (interacción fuerte) y gravitón (interacción gravitacional). Estas fuerzas son:

- 1) Fuerzas electromagnéticas de atracción o repulsión entre partículas cargadas en reposo o en movimiento, explica la cohesión de los átomos, es mucho más intensa que la fuerza gravitacional.
- 2) Fuerzas nucleares intensas entre partículas subatómicas, responsable de la existencia del núcleo atómico asegura la cohesión interna de los constituyentes del núcleo atómico, protones y neutrones, y es responsable de un gran número de reacciones y de desintegraciones; es la de mayor magnitud ($10^2 - 10^3$ veces la fuerza electromagnética).
- 3) Fuerzas nucleares débiles de corto alcance, rige algunos procesos radiactivos, establece la estabilidad de algunos núcleos, es varios órdenes de magnitud (10^{12}) menor que la fuerza electromagnética.
- 4) Fuerza de atracción gravitacional entre cuerpos debido a sus masas, entre otras cosas hace que caigan las manzanas y que suba la marea, es la fuerza de menor magnitud comparada con las otras.

El instrumento para medir fuerzas se llama *dinamómetro*, es un resorte que se estira sobre una escala. Si se aplica una fuerza de una unidad sobre el dinamómetro, el resorte se estira hasta que ejerce una fuerza igual y contraria a la aplicada. En la escala se mide el alargamiento del resorte y se le asigna una unidad de fuerza. De esa manera se calibra el dinamómetro y se usa para medir fuerzas, por ejemplo se aplica una fuerza sobre el dinamómetro y si se estira 2.5 unidades, entonces la fuerza aplicada es 2.5 veces la unidad de fuerza. Este procedimiento es válido para pequeños alargamientos del resorte, ya que si la fuerza es muy intensa, se puede deformar y no volver a su forma original.

3.2 PRIMERA LEY DE NEWTON.

Antes de 1600 los filósofos afirmaban que el estado natural de la materia era el reposo. Galileo fue el primero que tuvo una idea distinta del movimiento haciendo experimentos. Esencialmente sus experimentos consistían en analizar en forma semi-cuantitativa el movimiento de los cuerpos, tratando de eliminar toda influencia externa que lo alterará, concluyendo que el estado natural de los cuerpos no es el reposo, sino el resistirse a una aceleración. Posteriormente, Newton, que nació el año en que murió Galileo, perfeccionó los experimentos de Galileo realizando cuidadosas mediciones experimentales, lo que le permitió formular las ahora conocidas tres Leyes del Movimiento de Newton. La primera Ley de Newton se puede enunciar de la siguiente manera:

“Un cuerpo en reposo permanecerá en reposo y uno en movimiento continuará en movimiento con velocidad constante, a menos que actúe una fuerza sobre el cuerpo que altere su estado de reposo o de movimiento”.

En otros términos se enuncia de la siguiente forma: si la suma de fuerzas que actúa sobre un cuerpo es cero, su aceleración es cero. Esto significa que la partícula se encuentra en equilibrio de traslación, y se cumple la condición:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0 \quad (4.1)$$

Es importante darse cuenta que esta ley no ha sido probada real y verdaderamente, ya que no es posible eliminar totalmente las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. Es una generalización de la experiencia. La primera Ley de Newton se conoce también como ***Ley de Inercia***.

3.3 CONCEPTO DE MASA.

¿Qué efecto tendrá una misma fuerza sobre cuerpos diferentes? No es lo mismo golpear con el pie una pelota que un adoquín. La masa es la propiedad del cuerpo que determina el efecto de una fuerza aplicada sobre él. Cuando se quiere cambiar el estado de movimiento de un cuerpo, este se resiste al cambio. La **inercia** es la propiedad de la materia que hace que se resista a cualquier cambio de su movimiento, ya sea en su dirección o rapidez. Por ejemplo, los pasajeros de un automóvil que acelera sienten contra la espalda la fuerza del asiento, que vence su inercia y aumenta su velocidad. Cuando éste frena, los pasajeros tienden a seguir moviéndose y se mueven hacia delante, por lo que deben apoyarse en el asiento delantero para no salir del suyo. Si se realiza un giro, un paquete situado sobre el asiento se desplazará lateralmente, porque la inercia del paquete hace que tienda a seguir moviéndose en línea recta.

La masa es el término que se usa para cuantificar la inercia. Como mide la resistencia de un cuerpo a cambiar su estado de movimiento o de reposo, se le llama **masa inercial**, y está determinada por la razón entre la fuerza neta sobre el cuerpo y su aceleración.

Otro método para encontrar la masa consiste en comparar la fuerzas gravitacionales ejercidas sobre dos objetos, uno de ellos de masa desconocida y el otro de masa conocida. El objeto de masa desconocida se coloca en uno de los platillos de una balanza y en el otro platillo el conocido. Cuando los dos brazos están balanceados la fuerza gravitacional es la misma sobre cada uno de ellos. Entonces las masas de los cuerpos son iguales; cuando la masa se mide de esta forma se llama **masa gravitacional**. Experimentos muy precisos indican que ambas masas son iguales.

La masa es una propiedad del cuerpo, es independiente del medio que la rodea y del método usado para medirla, para un cuerpo determinado tiene el mismo valor en cualquier lugar del universo. Es un escalar, en el SI se mide en kg.

3.4 SEGUNDA LEY DE NEWTON.

Cuando la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo no es cero, el cuerpo se mueve con una aceleración en la dirección de la fuerza. Experimentalmente se demuestra que para una masa fija, si aumenta el valor de la fuerza, su aceleración aumenta proporcionalmente; por ejemplo si F aumenta a $2F$ la aceleración a aumenta a $2a$. Por otra parte, si se aplica una fuerza fija, pero se aumenta el valor de la masa, la aceleración del cuerpo disminuye proporcionalmente al aumento de masa, por ejemplo si m aumenta a $2m$ la aceleración a disminuye a $(\frac{1}{2})a$. Lo opuesto se ob-

serva si en lugar de considerar aumento de fuerza o de masa, se consideran disminuciones.

La Segunda Ley de Newton se enuncia basándose en estos resultados experimentales, resumiendo esas observaciones en el siguiente enunciado:

“La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo e inversamente proporcional a su masa.”

Escrita en términos matemáticos, si $\sum \vec{F}$ es la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo de masa m , la Segunda Ley de Newton se expresa como:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (4.2)$$

Esta ecuación fundamental es muy sencilla y completa, encierra razonamientos físicos muy profundos, producto de la experiencia, se conoce como la **ecuación fundamental de movimiento**. Permite describir el movimiento y la mayor parte de los fenómenos de la Mecánica Clásica, (excepto los cambios de opinión de una mujer que se rigen por una fuerza de voluntad o se producen por motivos de fuerza mayor, son aleatorios, caóticos e impredecibles).

La Segunda Ley de Newton se puede usar para definir la unidad de medida de fuerza. En el sistema internacional se llama **Newton**, que se simboliza por N , se define como la fuerza necesaria para mover una masa de un kg produciéndole una aceleración de un m/s^2 , entonces $1 N = 1 kg m/s^2$.

Se observa que la primera Ley de Newton es un caso particular de la segunda ley cuando la fuerza neta es cero, ya que en ese caso la aceleración debe ser cero, por lo tanto es una consecuencia de la segunda ley.

3.5 PESO.

Todos los cuerpos que se dejan en libertad cerca de la superficie terrestre caen con la aceleración de gravedad. Lo que los hace caer es la fuerza de atracción gravitacional con que la Tierra atrae a cualquier cuerpo con masa. A la fuerza de atracción gravitacional que la Tierra ejerce sobre un cuerpo en sus cercanías se le llama **peso** del cuerpo, se simboliza con P . Es un vector fuerza dirigido hacia el centro de la Tierra, en la dirección de g , se mide en N , su valor es:

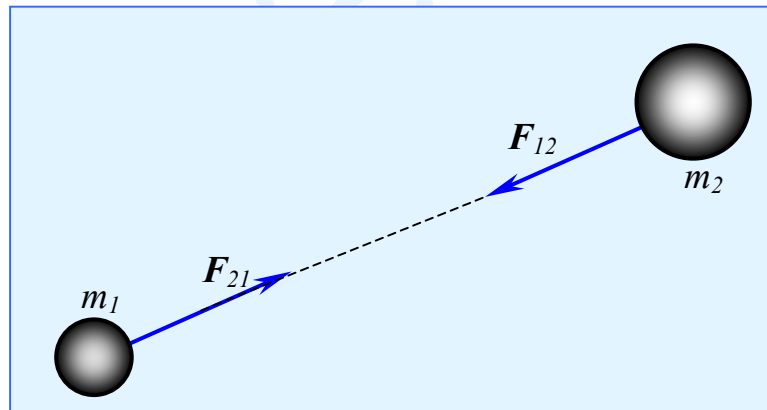
$$P = mg$$

El peso depende de g , varía con la ubicación geográfica y disminuye con la altura, por lo tanto no es una propiedad del cuerpo y no se debe confundir con la masa. Una balanza que es un instrumento para comparar fuerzas, se usa en la práctica para comparar masas. Generalmente se dice que un kilo de azúcar ‘pesa’ 1 kg , aunque el kilogramo es una unidad de masa, no de fuerza.

3.6 TERCERA LEY DE NEWTON.

Cada vez que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, este reacciona ejerciendo una fuerza sobre el primero. Las fuerzas en cada cuerpo son de igual magnitud, y actúan en la misma línea de acción, pero son de sentido contrario, como se ve en la figura 4.2. Esto significa que no es posible que exista una fuerza aislada, es decir, no existe un cuerpo aislado en la naturaleza, cualquier fuerza individual es un aspecto de una interacción mutua entre dos cuerpos, que puede ser por contacto directo o por acción a distancia.

Figura 4.2



Esta propiedad de las fuerzas fue demostrada experimentalmente y expresada por Newton en su Tercera Ley de Movimiento, que se enuncia como sigue:

“Si dos cuerpos interactúan, la fuerza que el cuerpo 1 ejerce sobre el cuerpo 2 es igual y opuesta a la fuerza que el cuerpo 2 ejerce sobre el cuerpo 1”.

Escrita en términos de una ecuación se puede escribir:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (4.3)$$

donde F_{12} (F_{21}) es la fuerza que ejerce el cuerpo de masa m_1 (m_2) sobre el cuerpo de masa m_2 (m_1). Si una de las fuerzas que intervienen en la interacción entre dos cuerpos se llama **acción**, la otra recibe el nombre de **reacción**, por esto la Tercera Ley de Newton se conoce también con el nombre **Ley de Acción y Reacción**.

Las fuerzas de acción y reacción actúan siempre en pareja y sobre cuerpos diferentes. Si actuaran sobre el mismo cuerpo no existiría el movimiento acelerado, porque la resultante siempre sería cero. Entonces, para que una pareja de fuerzas se consideren como fuerzas de acción y reacción, deben cumplir los siguientes requisitos simultáneamente: deben tener igual magnitud, la misma dirección, sentido opuesto, actuar en cuerpos diferentes y actuar en parejas.

3.7 FUERZA DE ROCE.

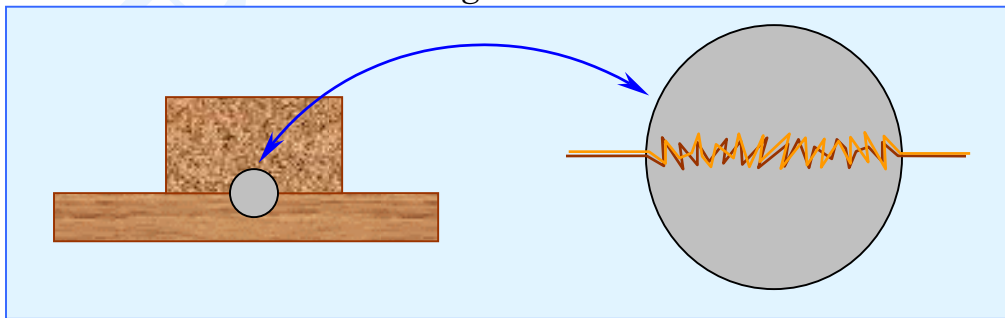
Cuando un cuerpo es arrojado sobre una superficie común o cuando un objeto se mueve a través de un medio viscoso como agua o aire, después de cierto tiempo se detiene, porque experimenta una resistencia a su movimiento debido a la interacción del cuerpo con el medio que lo rodea. Esa resistencia cambia la velocidad del cuerpo, por lo tanto se mide con una fuerza. Una fuerza de resistencia de esa naturaleza se llama **fuerza de roce o de fricción**. Son muy importantes en la vida cotidiana, ya que por ejemplo nos permiten caminar y son necesarias para que se realice el movimiento de vehículos (con ruedas).

La fuerza de roce es paralela a la superficie en el punto de contacto entre dos cuerpos y tiene dirección opuesta al movimiento, nunca ayudan al movimiento. Las evidencias experimentales indican que esta fuerza se produce por la irregularidad de las superficies, de modo que el contacto se realiza sólo en unos cuantos puntos, como se ve en una vista ampliada de las superficies (figura 4.3). La fuerza de roce a escala microscópica es más compleja de lo que aquí se presenta, ya que corresponde a fuerzas electrostáticas entre átomos o moléculas en los puntos donde las superficies están en contacto.

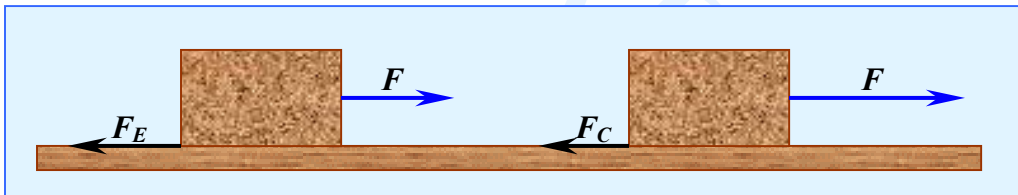
Si se tiene un bloque en reposo sobre una mesa horizontal y se aplica una pequeña fuerza F (figura 4.4), que se puede medir con un dinamómetro, el cuerpo no se moverá. En esta situación la fuerza de roce equilibra la fuerza aplicada (figura 4.4a). La fuerza de roce que actúa sobre los cuerpos en reposo se llama fuerza de roce estático, F_E . La máxima fuerza de roce estática es igual a la mínima fuerza necesaria para iniciar el movimiento.

Si aumenta la fuerza aplicada F (figura 4.4b) hasta que el bloque se mueve, entonces aumenta la fuerza de roce. Cuando el bloque está apunto de moverse, la fuerza de roce estático es máxima. Al aumentar la fuerza aplicada a un valor mayor que $F_{E_{max}}$, entonces comienza el movimiento y el bloque acelera hacia la derecha. Cuando el bloque está en movimiento, la fuerza de roce se hace menor que la $F_{E_{max}}$, en este caso se llama fuerza de roce cinética F_C . La fuerza aplicada no equilibra con la F_C produce la aceleración del cuerpo (figura 4.4b). Si la fuerza aplicada es igual a la F_C el bloque se mueve con velocidad constante. Si deja de actuar la fuerza aplicada, entonces la fuerza de roce, que continua actuando, se opone al movimiento hasta detener al bloque.

Figura 4.3



Figuras 4a y 4b.



Experimentalmente se encuentra que para dos tipos de superficies dadas, las fuerzas de roce estática y cinética son aproximadamente independientes del tamaño del área de las superficies en contacto y son proporcionales a la fuerza normal N .

La **fuerza de roce estático**, F_E , es opuesta a la fuerza aplicada y la constante de proporcionalidad con la normal se llama coeficiente de roce estático, μ_E , entonces la magnitud de la fuerza de roce estático es:

$$F_E \leq \mu_E N$$

Cuando el bloque está apunto de moverse, la fuerza de roce estático es máxima, $F_{E_{max}}$, lo mismo que el coeficiente de roce es máximo, $\mu_{E_{max}}$, entonces:

$$F_{E\text{máx}} = \mu_{E\text{max}} N$$

La **fuerza de roce cinético** es opuesta al movimiento, es aproximadamente independiente de la velocidad con que se mueven las superficies, para velocidades ‘pequeñas’, si la velocidad aumenta hasta valores muy altos, comienza a sentirse el efecto de la fricción con el medio donde se mueve el cuerpo. La constante de proporcionalidad con la normal se llama coeficiente de roce cinético, μ_C , entonces la magnitud de la fuerza de roce cinético es:

$$F_C = \mu_C N$$

Las expresiones de F_C y F_E son empíricas, no son leyes físicas fundamentales.

Los coeficientes de roce estático μ_E y cinético μ_C son constantes adimensionales. Sus valores dependen de la naturaleza de las superficies en contacto y en general para un par de superficies dadas $\mu_{E\text{máx}} > \mu_C$. Algunos valores de los coeficientes de roce se dan en la siguiente tabla:

Superficies	μ_E	μ_C
Madera- madera	0.25-0.5	0.2
Acero- acero	0.74	0.57
Vidrio- vidrio	0.94	0.40
Caucho- concreto	0.15	0.06
Cobre- vidrio	0.68	0.53
Hielo- hielo	0.1	0.03
Articulaciones de los humanos	0.01	0.003

PREGUNTAS.

Ustedes ya aprendieron a hacérselas...ej.

1. ¿Qué es fuerza?
2. ¿Qué nos hace movernos?
3. ¿Masa, hay una sola, dos, mas...?
4. ¿Por qué el caballo se niega a tirar del carretón?
5. ¿Dónde te pesas si quieres sentirte esbelta, atractiva, seductora y sensual?, etc.