**Movimiento en una dimensión**

En el estudio del movimiento traslacional se usa el modelo de partícula y el objeto en movimiento se describe como una partícula sin importar su tamaño.

***Posición, velocidad y rapidez***

El movimiento de una partícula se conoce por completo si la posición de la partícula en el espacio se conoce en todo momento. La posición de una partícula es la ubicación de la partícula respecto a un punto de referencia elegido que se considera el origen de un sistema coordenado.

El desplazamiento de una partícula se define como su cambio en posición en algún intervalo de tiempo. Conforme la partícula se mueve desde una posición inicial a una posición final , su desplazamiento se conoce por:

Distancia es la longitud de una trayectoria seguida por una partícula.

La velocidad promedio de una partícula se define como el desplazamiento de la partícula dividido entre el intervalo de tiempo durante el que ocurre dicho desplazamiento:

La velocidad promedio de una partícula que se mueve en una dimensión es positiva o negativa, dependiendo del signo del desplazamiento. Si la coordenada de la partícula aumenta en el tiempo (esto es, si ), es positiva y es positiva. Este caso corresponde a una partícula que se mueve en la dirección positiva. Si la coordenada disminuye en el tiempo (esto es, si ), es negativa y por lo tanto es negativa. Este caso corresponde a una partícula que se mueve en la dirección negativa.

La rapidez promediode una partícula, una cantidad escalar, se define como la distancia total recorrida dividida entre el intervalo de tiempo total requerido para recorrer dicha distancia:

La velocidad promedio es el desplazamiento dividido entre el intervalo de tiempo, mientras que la rapidez promedio es la distancia dividida entre el intervalo de tiempo.

***Velocidad y rapidez instantáneas***

La velocidad instantánea es igual al valor límite de la proporción conforme tiende a cero:

En notación de cálculo, este límite se llama derivada de respecto a :

La rapidez instantánea de una partícula se define como la magnitud de su velocidad instantánea. Como con la rapidez promedio, la rapidez instantánea no tiene dirección asociada con ella.

***Modelos de análisis: La partícula bajo velocidad constante***

Si la velocidad de una partícula es constante, su velocidad instantánea en cualquier instante durante un intervalo de tiempo es la misma que la velocidad promedio durante el intervalo. Esto es,

***Aceleración***

Cuando la velocidad de ésta cambia con el tiempo, se dice que la partícula acelera.

La aceleración promedio de la partícula se define como el cambio en velocidad dividido por el intervalo de tiempo durante el que ocurre el cambio:

Es útil definir la aceleración instantánea como el límite de la aceleración promedio conforme tiende a cero.

La aceleración instantánea es igual a la derivada de la velocidad respecto al tiempo, que por definición es la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo.

Cuando la velocidad y la aceleración del objeto están en la misma dirección, el objeto aumenta su velocidad. Por otra parte, cuando la velocidad y la aceleración del objeto están en direcciones opuestas, el objeto frena.

***La partícula bajo aceleración constante***

La aceleración promedio en cualquier intervalo de tiempo es numéricamente igual a la aceleración instantánea en cualquier instante dentro del intervalo, y la velocidad cambia con la misma proporción a lo largo del movimiento.

Puesto que la velocidad con aceleración constante varía linealmente en el tiempo, se expresa la velocidad promedio en cualquier intervalo de tiempo como la media aritmética de la velocidad inicial y final

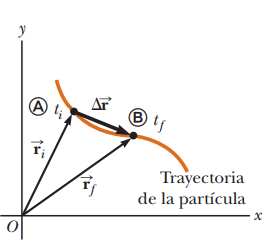
Utilizando las formulas obtenidas tenemos que:

***Objetos en caída libre***

Un objeto en caída libre es cualquier objeto que se mueve libremente sólo bajo la influencia de la gravedad, sin importar su movimiento inicial. Los objetos que se lanzan hacia arriba o abajo y los que se liberan desde el reposo están todos en caída libre una vez que se liberan. Cualquier objeto en caída libre experimenta una aceleración dirigida hacia abajo, sin importar su movimiento inicial. La magnitud de la aceleración de caída libre se denotará mediante el símbolo g.

**Movimiento en dos dimensiones**

***Vectores de posición, velocidad y aceleración***

Ahora esta idea se amplía al movimiento bidimensional de una partícula en el plano . Se comienza por describir la posición de la partícula mediante su vector de posición , que se dibuja desde el origen de algún sistema coordenado a la posición de la partícula en el plano , En el tiempo , la partícula está en el punto , descrito por el vector de posición . En un tiempo posterior , está en el punto , descrito por su vector de posición . La trayectoria de a no necesariamente es una línea recta. Conforme la partícula se mueve de a en el intervalo de tiempo , su vector de posición cambia de a .

Ahora se define el vector desplazamiento para una partícula como la diferencia entre su vector de posición final y su vector de posición inicial:

La velocidad promedio de una partícula durante el intervalo de tiempo se define como el desplazamiento de la partícula dividido entre el intervalo de tiempo:

Al multiplicar o dividir una cantidad vectorial por una cantidad escalar positiva como ∆t sólo cambia la magnitud del vector, no su dirección. Puesto que el desplazamiento es una cantidad vectorial y el intervalo de tiempo es una cantidad escalar positiva, se concluye que la velocidad promedio es una cantidad vectorial dirigida a lo largo de .

La velocidad promedio entre los puntos es independiente de la trayectoria; porque la velocidad promedio es proporcional al desplazamiento, que sólo depende de los vectores de posición inicial y final y no de la trayectoria seguida.

Considere de nuevo el movimiento de una partícula entre dos puntos en el plano.

Conforme el intervalo de tiempo sobre el que se observa el, la dirección del desplazamiento tiende a la línea tangente a la trayectoria en . La velocidad instantánea se define como el límite de la velocidad promedio conforme tiende a cero:

La velocidad instantánea es igual a la derivada del vector de posición respecto del tiempo.

La magnitud del vector velocidad instantánea de una partícula se llama rapidez de la partícula, que es una cantidad escalar.

Conforme una partícula se mueve de un punto a otro a lo largo de cierta trayectoria, su vector velocidad instantánea cambia de en el tiempo a en el tiempo . Conocer la velocidad en dichos puntos permite determinar la aceleración promedio de la partícula. La aceleración promedio de una partícula se define como el cambio en su vector velocidad instantánea dividido por el intervalo de tiempo durante el que ocurre dicho cambio:

Puesto que es la relación de una cantidad vectorial y una cantidad escalar positiva , se concluye que la aceleración promedio es una cantidad vectorial dirigida a lo largo de .

Cuando la aceleración promedio de una partícula cambia en el transcurso de diferentes intervalos de tiempo, es útil definir su aceleración instantánea. La aceleración instantánea se define como el valor límite de la proporción conforme tiende a cero:

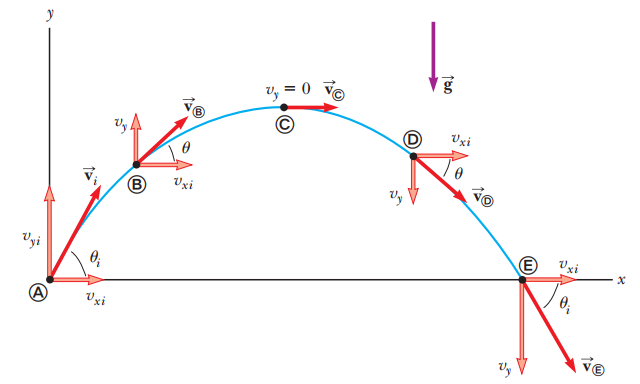
Cuando una partícula acelera ocurren varios cambios. Primero, la magnitud del vector velocidad (la rapidez) puede cambiar con el tiempo como en movimiento en línea recta (unidimensional). Segundo, la dirección del vector velocidad puede cambiar con el tiempo incluso si su magnitud (rapidez) permanece constante como en movimiento bidimensional a lo largo de una trayectoria curva. Por último, tanto la magnitud como la dirección del vector velocidad pueden cambiar simultáneamente.

***Movimiento en dos dimensiones con aceleración constante***

El movimiento en dos dimensiones se puede representar como dos movimientos independientes en cada una de las dos direcciones perpendiculares asociadas con los ejes y . Esto es: cualquier influencia en la dirección no afecta el movimiento en la dirección y viceversa.

El vector de posición para una partícula que se mueve en el plano :

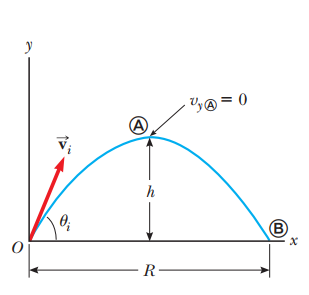
***Movimiento de proyectil***

El movimiento de proyectil de un objeto es simple de analizar a partir de dos suposiciones: 1) la aceleración de caída libre es constante en el intervalo de movimiento y se dirige hacia abajo y 2) el efecto de la resistencia del aire es despreciable. Con estas suposiciones, se encuentra que la trayectoria de un proyectil siempre es una parábola.

La expresión para el vector de posición del proyectil como función del tiempo, con

Donde las componentes y de la velocidad inicial del proyectil son:

Se estableció que el movimiento en dos dimensiones con aceleración constante se puede analizar como una combinación de dos movimientos independientes en las direcciones y , con aceleraciones y . El movimiento de proyectiles también se maneja de esta forma, con aceleración cero en la dirección y una aceleración constante en la dirección , . Por lo tanto, cuando se analice el movimiento de un proyectil, debe representarlo como la sobreposición de dos movimientos: 1) movimiento de una partícula bajo velocidad constante en la dirección horizontal y 2) movimiento de una partícula bajo aceleración constante (caída libre) en la dirección vertical; con el tiempo como la variable común para ambas componentes.

***Alcance horizontal y altura máxima de un proyectil***

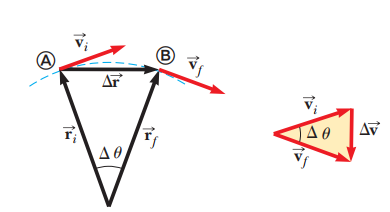
Se puede determinar al notar que, en el máximo . Debido a esto, se puede usar la componente para determinar el tiempo en que el proyectil alcanza el pico.

***Partícula en movimiento circular uniforme***

Un automóvil que se mueve en una trayectoria circular con rapidez constante . Tal movimiento, llamado movimiento circular uniforme, este tipo de movimiento se reconoce como un modelo de análisis llamado partícula en movimiento circular uniforme.

Aun cuando un objeto se mueva con rapidez constante en una trayectoria circular, todavía tiene una aceleración. Considere la ecuación que define la aceleración, . Note que la aceleración depende del cambio en la velocidad. Puesto que la velocidad es una cantidad vectorial, una aceleración puede ocurrir en dos formas, por un cambio en la magnitud de la velocidad y por un cambio en la dirección de la velocidad. La última situación ocurre para un objeto que se mueve con rapidez constante en una trayectoria circular. El vector velocidad siempre es tangente a la trayectoria del objeto y perpendicular al radio de la trayectoria circular.

Ahora se muestra que el vector aceleración en movimiento circular uniforme siempre es perpendicular a la trayectoria y siempre apunta hacia el centro del círculo. Si eso no fuera cierto, habría una componente de la aceleración paralela a la trayectoria y, debido a eso, paralela al vector velocidad. Tal componente de aceleración conduciría a un cambio en la rapidez de la partícula a lo largo de la trayectoria.

Ahora encuentre la magnitud de la aceleración de la partícula. Considere el diagrama de los vectores de posición y velocidad

Muestra el vector que representa el cambio en posición para un intervalo de tiempo arbitrario. La partícula sigue una trayectoria circular de radio , de la que se muestra una parte mediante la curva discontinua. La partícula está en en el tiempo y su velocidad en dicho tiempo ; está en a algún tiempo ulterior y su velocidad en dicho tiempo es . Suponga también que y difieren sólo en dirección; sus magnitudes son las mismas (esto es, porque es movimiento circular uniforme).

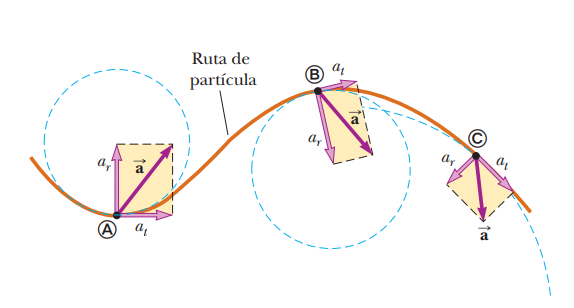
Donde

Ahora considere que los puntos y en la figura se hacen extremadamente cercanos entre sí. Conforme y se aproximan uno a otro, tiende a cero, se aproxima a la distancia recorrida por la partícula a lo largo de la trayectoria circular y la relación se aproxima a la rapidez . Además, la aceleración promedio se convierte en la aceleración instantánea en el punto . Por tanto, en el límite , la magnitud de la aceleración es

Una aceleración de esta naturaleza se llama aceleración centrípeta.

En muchas situaciones es conveniente describir el movimiento de una partícula que se mueve con rapidez constante en un círculo de radio en términos del periodo , que se define como el intervalo de tiempo requerido para una revolución completa de la partícula. En el intervalo de tiempo , la partícula se mueve una distancia de , que es igual a la circunferencia de la trayectoria circular de la partícula. En consecuencia, puesto que su rapidez es igual a la circunferencia de la trayectoria circular dividida entre el periodo, o , se sigue que:

***Aceleraciones tangencial y radial***

Considere el movimiento de una partícula a lo largo de una trayectoria curva uniforme, donde la velocidad cambia tanto en dirección como en magnitud, el vector velocidad siempre es tangente a la trayectoria; sin embargo, el vector aceleración está a cierto ángulo con la trayectoria.

Conforme la partícula se mueve a lo largo de la trayectoria curva, la dirección del vector aceleración total cambia de punto a punto. En cualquier instante, este vector se puede descomponer en dos componentes respecto a un origen en el centro del círculo discontinuo correspondiente a dicho instante: una componente radial a lo largo del radio del círculo y una componente tangencial perpendicular a este radio. El vector aceleración total se puede escribir como la suma vectorial de las componentes de los vectores:

La componente de aceleración tangencial causa un cambio en la rapidez de la partícula. Esta componente es paralela a la velocidad instantánea y su magnitud se conoce por:

La componente de aceleración radial surge de un cambio en dirección del vector velocidad y se proporciona por:

La componente radial de la aceleración se reconoce como la aceleración centrípeta. El signo negativo en la ecuación indica que la dirección de la aceleración centrípeta es hacia el centro del círculo que representa el radio de curvatura. La dirección es opuesta a la del vector unitario radial , que siempre apunta alejándose del origen en el centro del círculo.

Puesto que y son vectores componentes perpendiculares de , se sigue que la magnitud de es . La dirección de es en la misma dirección que (si aumenta) u opuesta a (si disminuye).

En el movimiento circular uniforme, es constante, y la aceleración siempre es completamente radial.

**Las leyes del movimiento**

***Concepto de fuerza***

La fuerza se define como aquello que causa un cambio en el movimiento de un objeto. Fuerzas de contacto. Esto es, implican contacto físico entre dos objetos. Fuerzas de campo, no involucran contacto físico entre dos objetos. Estas fuerzas actúan a través del espacio vacío. Las únicas fuerzas fundamentales conocidas en la naturaleza son todas fuerzas de campo: 1) fuerzas gravitacionales entre objetos, 2) fuerzas electromagnéticas entre cargas eléctricas, 3) fuerzas fuertes entre partículas subatómicas y 4) fuerzas débiles que surgen en ciertos procesos de decaimiento radiactivo. En la física clásica sólo interesan las fuerzas gravitacional y electromagnética.

Puesto que se ha comprobado experimentalmente que las fuerzas se comportan como vectores, debe aplicar las reglas de suma vectorial para obtener la fuerza neta sobre un objeto.

***Primera ley de Newton y marcos inerciales***

La primera ley del movimiento de Newton, a veces llamada ley de la inercia, define un conjunto especial de marcos de referencia llamados marcos inerciales.

***Si un objeto no interactúa con otros objetos, es posible identificar un marco de referencia en el que el objeto tiene aceleración cero.***

Tal marco de referencia se llama marco de referencia inercial. Otro enunciado de la primera ley de Newton:

***En ausencia de fuerzas externas, y cuando se ve desde un marco de referencia inercial, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con una velocidad constante (esto es, con una rapidez constante en una línea recta).***

En otras palabras, cuando ninguna fuerza actúa sobre un objeto, la aceleración del objeto es cero. Una conclusión a partir de la primera ley, es que cualquier objeto aislado está en reposo o en movimiento con velocidad constante. La tendencia de un objeto a resistir cualquier intento por cambiar su velocidad se llama inercia. A su vez, de la primera ley, se puede definir fuerza como aquello que causa un cambio en el movimiento de un objeto.

***Masa***

La masa es la propiedad de un objeto que especifica cuánta resistencia muestra un objeto para cambiar su velocidad.

Para describir la masa en unidades cuantitativas, se realizan experimentos en los que se comparan las aceleraciones que produce una fuerza conocida sobre diferentes objetos. Suponga que una fuerza que actúa sobre un objeto de masa produce una aceleración , y la misma fuerza que actúa sobre un objeto de masa produce una aceleración . La relación de las dos masas se define como la relación inversa de las magnitudes de las aceleraciones producidas por la fuerza:

La magnitud de la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa cuando sobre él actúa una fuerza conocida.

La masa es una propiedad inherente de un objeto y es independiente de los alrededores del objeto y del método que se aplica para medirla. Además, la masa es una cantidad escalar.

La masa no se debe confundir con el peso. La masa y el peso son dos cantidades diferentes. El peso de un objeto es igual a la magnitud de la fuerza gravitacional ejercida sobre el objeto y varía con la posición.

***Segunda ley de Newton***

La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre él: .

***Cuando se ve desde un marco de referencia inercial, la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa:***

La fuerza neta sobre un objeto es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto.

***Fuerza gravitacional y peso***

La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un objeto se llama fuerza gravitacional . Esta fuerza se dirige hacia el centro de la Tierra y su magnitud se llama peso del objeto. El peso de un objeto, al definirse como la magnitud de es igual a :

La masa m en la ecuación establece la intensidad de la atracción gravitacional entre el objeto y la Tierra. Este papel es por completo diferente del descrito antes para la masa: medir la resistencia al cambio en movimiento como respuesta a una fuerza externa. Por ende, la m en la ecuación se llama masa gravitacional. Aun cuando esta cantidad sea diferente en comportamiento de la masa inercial, una de las conclusiones experimentales de la dinámica newtoniana es que la masa gravitacional y la masa inercial tienen el mismo valor.

***Tercera ley de Newton***

***Si dos objetos interactúan, la fuerza que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1:***

La fuerza que el objeto 1 ejerce sobre el objeto 2 se llama popularmente fuerza de acción, y la fuerza del objeto 2 sobre el objeto 1 se llama fuerza de reacción. En todos los casos, las fuerzas de acción y reacción actúan sobre objetos diferentes y deben ser del mismo tipo.

***Algunas aplicaciones de las leyes de Newton***

Dos modelos de análisis para resolver problemas en que los objetos están en equilibrio () o aceleran a lo largo de una línea recta bajo la acción de fuerzas externas constantes. Recuerde que, cuando las leyes de Newton se aplican a un objeto, se tiene interés sólo en las fuerzas externas que actúan sobre el objeto.

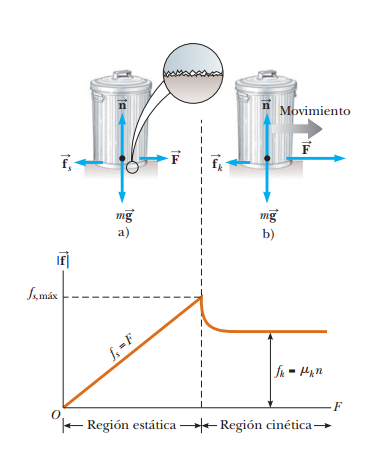
**Partícula en equilibrio**

Si la aceleración de un objeto representado como partícula es cero, el objeto se considera con el modelo de partícula en equilibrio. En este modelo, la fuerza neta sobre el objeto es cero:

**Partícula bajo una fuerza neta**

Si un objeto experimenta una aceleración, su movimiento se puede analizar con el modelo de partícula bajo una fuerza neta. La ecuación apropiada para este modelo es la segunda ley de Newton

***Fuerzas de fricción***

Cuando un objeto está en movimiento ya sea sobre una superficie o en un medio viscoso como aire o agua, existe resistencia al movimiento porque el objeto interactúa con su entorno. A tal resistencia se le llama fuerza de fricción.

Si se aplica una fuerza horizontal externa al bote de basura, que actúa hacia la derecha, el bote de basura permanece fijo cuando es pequeña. La fuerza sobre el bote de basura que contraataca y evita que se mueva actúa hacia la izquierda y se llama fuerza de fricción estática . En tanto el bote de basura no se mueva, . Por lo tanto, si aumenta, también aumenta. Del mismo modo, si disminuye, también disminuye.

Cuando el bote de basura está a punto de deslizarse, tiene su valor máximo , Cuando supera , el bote de basura se mueve y acelera hacia la derecha. A la fuerza de fricción para un objeto en movimiento se le llama fuerza de fricción cinética . Cuando el bote de basura está en movimiento, la fuerza de fricción cinética en el bote es menor que . La fuerza neta en la dirección produce una aceleración hacia la derecha, de acuerdo con la segunda ley de Newton. Si , la aceleración es cero y el bote de basura se mueve hacia la derecha con rapidez constante. Si la fuerza aplicada se elimina del bote en movimiento, la fuerza de fricción que actúa hacia la izquierda proporciona una aceleración del bote de basura en la dirección y al final lo lleva al reposo, lo que, de nuevo, es consistente con la segunda ley de Newton.

* La magnitud de la fuerza de fricción estática entre cualesquiera dos superficies cualesquiera en contacto tiene los valores:

La igualdad se cumple cuando las superficies están a punto de deslizarse, esto es, cuando . Esta situación se llama movimiento inminente. La desigualdad se cumple cuando las superficies no están a punto de deslizarse.

* La magnitud de la fuerza de fricción cinética que actúa entre dos superficies es:
* La dirección de la fuerza de fricción sobre un objeto es paralela a la superficie con la que el objeto está en contacto y opuesta al movimiento real (fricción cinética) o al movimiento inminente (fricción estática) del objeto en relación con la superficie.
* Los coeficientes de fricción son casi independientes del área de contacto entre las superficies.

FALTA EL CAPITULO 6

**Energía de un sistema**

La energía está presente en el Universo en varias formas. Todo proceso físico que ocurra en el Universo involucra energía y transferencias o transformaciones de energía.

***Sistemas y entornos***

En el modelo de sistema la atención se dirige a una porción pequeña del Universo, el sistema, y se ignoran detalles del resto del Universo afuera del sistema. Una habilidad vital para aplicar el modelo de sistema a problemas es la identificación del sistema. Un sistema válido

* Puede ser un objeto simple o partícula.
* Puede ser una colección de objetos o partículas.
* Puede ser una región de espacio.
* Puede variar en tamaño y forma.

No importa cuál sea el sistema particular en un problema dado, se identifica una frontera de sistema, una superficie imaginaria que divide al Universo del sistema y el entorno que lo rodea.

Existen algunos mecanismos mediante los cuales un sistema recibe influencia de su entorno. El primero que se investigará es el trabajo.

***Trabajo invertido por una fuerza constante***

***El trabajo invertido sobre un sistema por un agente que ejerce una fuerza constante sobre el sistema es el producto de la magnitud de la fuerza, la magnitud del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza y , donde es el ángulo entre los vectores fuerza y desplazamiento:***

Advierta también de la ecuación que el trabajo invertido por una fuerza sobre un objeto en movimiento es cero cuando la fuerza aplicada es perpendicular al desplazamiento de su punto de aplicación. Esto es, si , por lo tanto porque .

El signo del trabajo también depende de la dirección de en relación con . El trabajo invertido por la fuerza aplicada sobre un sistema es positivo cuando la proyección de sobre está en la misma dirección que el desplazamiento.

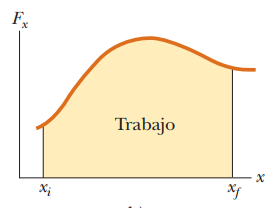
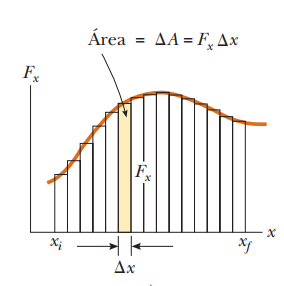
Cuando la proyección de sobre está en la dirección opuesta al desplazamiento, es negativo.

Si una fuerza aplicada está en la misma dirección que el desplazamiento , por lo tanto y .

El trabajo es una transferencia de energía. Si es el trabajo realizado sobre un sistema y es positivo, la energía se transfiere al sistema; si es negativo, la energía se transfiere desde el sistema. Por lo tanto, si un sistema interactúa con su entorno, esta interacción se describe como una transferencia de energía a través de las fronteras del sistema. El resultado es un cambio en la energía almacenada en el sistema.

***Trabajo consumido por una fuerza variable***

Considere una partícula que se desplaza a lo largo del eje bajo la acción de una fuerza que varía con la posición. La partícula se desplaza en la dirección de creciente. En tal situación, no se aplica para calcular el trabajo consumido por la fuerza, porque esta correspondencia sólo se aplica cuando es constante en magnitud y dirección.



Sin embargo, si piensa que la partícula se somete a un desplazamiento muy pequeño , la componente de la fuerza , es aproximadamente constante en este intervalo pequeño; para este desplazamiento pequeño, se puede aproximar el trabajo invertido en la partícula mediante la fuerza como:

Que es el área del rectángulo sombreado.

Si toma en cuenta en función de la curva dividida en un gran número de tales intervalos, el trabajo total consumido por el desplazamiento es aproximadamente igual a la suma de un gran número de tales términos:

Si se permite que el tamaño de los desplazamientos pequeños se aproxime a cero, el número de términos en la suma aumenta sin límite, pero el valor de la suma se aproxima a un valor definido que es igual al área limitada por la curva y el eje :

Si más de una fuerza actúa sobre un sistema y el sistema se puede modelar como una partícula, el trabajo total consumido en el sistema es justo el trabajo invertido por la fuerza neta. Si la fuerza neta en la dirección se expresa como , el trabajo total, o trabajo neto, consumido es:

Para el caso general de una fuerza neta cuya magnitud y dirección puede variar, se aplica el producto escalar.

Donde la integral se calcula sobre la trayectoria que toma la partícula a través del espacio. Si no es posible modelar el sistema como una partícula no se puede usar la ecuación porque fuerzas diferentes sobre el sistema pueden moverse a través de diferentes desplazamientos. En este caso, se debe evaluar el trabajo invertido por cada fuerza por separado y después sumar algebraicamente los trabajos para encontrar el trabajo neto invertido en el sistema.

**Trabajo consumido en un resorte**

Para muchos resortes, si el resorte está estirado o comprimido una distancia pequeña desde su configuración sin estirar (en equilibrio), ejerce en el bloque una fuerza que se puede representar matemáticamente como

Donde es la posición del bloque en relación con su posición de equilibrio () y es una constante positiva llamada constante de fuerza o constante de resorte.

La fuerza que se requiere para estirar o comprimir un resorte es proporcional a la cantidad de estiramiento o compresión . Esta ley de fuerza para resortes se conoce como ley de Hooke. El valor de es una medida de la rigidez del resorte. Los resortes rígidos tienen grandes valores , y los resortes suaves tienen pequeños valores . La forma vectorial:

El signo negativo en las ecuaciones significa que la fuerza que ejerce el resorte siempre tiene una dirección opuesta al desplazamiento de equilibrio. Cuando de modo que el bloque está a la derecha de la posición de equilibrio, la fuerza del resorte se dirige hacia la izquierda, en la dirección negativa. Cuando , el bloque está a la izquierda del equilibrio y la fuerza del resorte se dirige hacia la derecha, en la dirección positiva. Cuando , el resorte no está estirado y . Puesto que la fuerza del resorte siempre actúa hacia la posición de equilibrio (), a veces se le llama fuerza de restitución.

Si el resorte se comprime hasta que el bloque está en el punto y después se libera, el bloque se traslada de a través de cero hasta . Después invierte la dirección, regresa a y continúa oscilando de ida y vuelta.

El trabajo consumido por la fuerza del resorte es positivo porque la fuerza está en la misma dirección que su desplazamiento.

Si el bloque se somete a un desplazamiento arbitrario desde hasta , el trabajo invertido por la fuerza del resorte en el bloque es:

***Energía cinética y el teorema trabajo–energía cinética***

Considere un sistema que consiste de un solo objeto. Un bloque de masa que se mueve a través de un desplazamiento dirigido hacia la derecha bajo la acción de una fuerza neta , también dirigida hacia la derecha. Se sabe de la segunda ley de Newton que el bloque se mueve con una aceleración . Si el bloque se mueve a través de un desplazamiento , el trabajo neto realizado sobre el bloque por la fuerza neta es:

Al aplicar la segunda ley de Newton, se sustituye para la magnitud de la fuerza neta y después se realizan las siguientes manipulaciones de la regla de la cadena en el integrando:

Dice que el trabajo invertido por la fuerza neta en una partícula de masa es igual a la diferencia entre los valores iniciales y final de una cantidad . La cantidad representa la energía asociada con el movimiento de la partícula. Esta cantidad es tan importante que se le ha dado un nombre especial, energía cinética:

La ecuación de afirma que el trabajo realizado en una partícula por una fuerza neta que actúa sobre él es igual al cambio en energía cinética de la partícula.

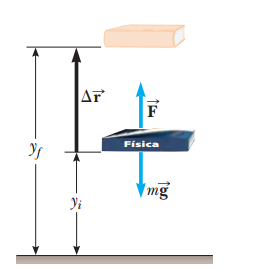
La ecuación es un resultado importante conocido como teorema trabajo–energía cinética:

***Cuando se consume trabajo en un sistema, y el único cambio en el sistema es en su rapidez, el trabajo neto consumido en el sistema es igual al cambio en energía cinética del sistema.***

***Teorema trabajo–energía cinética***

El teorema trabajo–energía cinética indica que la rapidez de un sistema aumenta si el trabajo neto invertido sobre él es positivo porque la energía cinética final es mayor que la energía cinética inicial. La rapidez disminuye si el trabajo neto es negativo porque la energía cinética final es menor que la energía cinética inicial.

***Energía potencial de un sistema***

Considere ahora sistemas de dos o más partículas u objetos que interactúan a través de una fuerza que es interna al sistema. La energía cinética de tal sistema es la suma algebraica de las energías cinéticas de todos los integrantes del sistema. Sin embargo, puede haber sistemas en los que un objeto sea tan masivo que se pueda modelar como fijo y su energía cinética sea despreciable.

Piense en un sistema que consiste de un libro y la Tierra, que interactúa a través de la fuerza gravitacional. Se hace algo de trabajo sobre el sistema al levantar el libro lentamente desde el reposo a través de un desplazamiento vertical , de acuerdo con la discusión del trabajo como una transferencia de energía, este trabajo invertido en el sistema debe aparecer como un aumento x en energía del sistema. El libro está en reposo antes de realizar el trabajo y está en reposo después de realizar el trabajo. Por lo tanto, no hay cambio en la energía cinética del sistema.

Puesto que el cambio de energía del sistema no es en la forma de energía cinética, debe aparecer como alguna otra forma de almacenamiento de energía. Después de levantar el libro, se le podría liberar y dejar que caiga de vuelta a la posición . Note que el libro ahora tiene energía cinética y su fuente está en el trabajo que se hizo al levantar el libro. Mientras el libro estaba en el punto más alto, la energía del sistema tenía el potencial para convertirse en energía cinética, pero no lo hizo hasta que al libro se le permitió caer. En consecuencia, al mecanismo de almacenamiento de energía antes de que el libro se libere se le llama energía potencial. Se encontrará que la energía potencial de un sistema sólo se asocia con tipos específicos de fuerzas que actúan entre integrantes de un sistema. La cantidad de energía potencial en el sistema se determina mediante la configuración del mismo.

Considere un agente externo que levanta un objeto de masa desde una altura inicial sobre el suelo a una altura final . Se supone que el levantamiento se hace lentamente, sin aceleración, de modo que la fuerza aplicada del agente se representa como igual en magnitud a la fuerza gravitacional en el objeto: el objeto se modela como una partícula en equilibrio que se mueve con velocidad constante. El trabajo invertido por el agente externo sobre el sistema (objeto y Tierra) conforme el objeto se somete a este desplazamiento hacia arriba, se conoce por el producto de la fuerza aplicada hacia arriba y el desplazamiento hacia arriba de esta fuerza :

Donde este resultado es el trabajo neto invertido en el sistema porque la fuerza aplicada es la única fuerza sobre el sistema desde el entorno.

La energía potencial gravitacional sólo depende de la altura vertical del objeto sobre la superficie de la Tierra. La misma cantidad de trabajo se debe invertir sobre un sistema objeto–Tierra ya sea que el objeto se levante verticalmente desde la Tierra o se empuje desde el mismo punto hacia arriba de un plano inclinado sin fricción para terminar en la misma altura.

**Energía potencial elástica**

Considere un sistema que consta de un bloque y un resorte, la fuerza que el resorte ejerce sobre el bloque se conoce por El trabajo invertido por una fuerza aplicada externa en un sistema que consiste de un bloque conectado al resorte:

En esta situación, las coordenadas inicial y final del bloque se miden desde su posición de equilibrio . De nuevo se ve que el trabajo invertido en el sistema es igual a la diferencia entre los valores iniciales y final de una expresión relacionada con la configuración del sistema. La función de energía potencial elástica asociada con el sistema bloque–resorte se define mediante:

La energía potencial elástica del sistema se puede percibir como la energía almacenada en el resorte deformado. La energía potencial elástica almacenada en un resorte es cero siempre que el resorte no esté deformado (). La energía se almacena en el resorte sólo cuando el resorte está estirado o comprimido. Puesto que la energía potencial elástica es proporcional a , se ve que siempre es positiva en un resorte deformado.

***Fuerzas conservativas y no conservativas***

**Fuerzas conservativas**

Las fuerzas conservativas tienen estas dos propiedades equivalentes:

1. El trabajo invertido por una fuerza conservativa sobre una partícula móvil entre dos puntos cualesquiera es independiente de la trayectoria tomada por la partícula.
2. El trabajo invertido por una fuerza conservativa en una partícula móvil a lo largo de cualquier trayectoria cerrada es cero. (Una trayectoria cerrada es aquella en la que el punto de partida y el punto final son idénticos.)

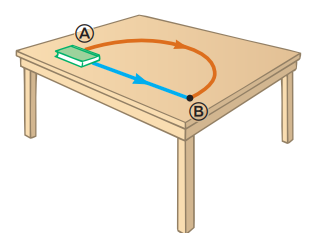
La fuerza gravitacional es un ejemplo de fuerza conservativa; la fuerza que un resort ideal ejerce en cualquier objeto unido al resorte es otra.

**Fuerzas no conservativas**

Una fuerza es no conservativa si no satisface las propiedades 1 y 2 para fuerzas conservativas. Se define la suma de las energías cinética y potencial de un sistema como la energía mecánica del sistema:

Donde incluye la energía cinética de todos los integrantes móviles del sistema e incluye todos los tipos de energía potencial en el sistema. Las fuerzas no conservativas que actúan dentro de un sistema causan un cambio en la energía mecánica del sistema.

(Cuando tropieza y se desliza por el suelo de un gimnasio, no sólo la piel en sus rodillas se calienta, ¡también lo hace el piso!) Puesto que la fuerza de fricción cinética transforma la energía mecánica de un sistema en energía interna, esta es una fuerza no conservativa.

Suponga que desplaza un libro entre dos puntos sobre una mesa. Si el libro se desplaza en una línea recta a lo largo de la trayectoria azul entre los puntos y , realiza cierta cantidad de trabajo contra la fuerza de fricción cinética para mantener al libro móvil con una rapidez constante. Ahora, piense que empuja el libro a lo largo de la trayectoria semicircular café, realiza más trabajo contra la fricción a lo largo de esta trayectoria curva que a lo largo de la trayectoria recta porque la trayectoria curva es más larga. El trabajo invertido en el libro depende de la trayectoria, así que la fuerza de fricción no puede ser conservativa.

***Correspondencia entre fuerzas conservativas y energía potencial***

En la sección anterior se encontró que el trabajo consumido es un integrante de un sistema por una fuerza conservativa, entre los integrantes del sistema no depende de la trayectoria seguida por el integrante en movimiento. El trabajo sólo depende de las coordenadas inicial y final. En consecuencia, se puede definir una función de energía potencial tal que el trabajo invertido dentro del sistema por la fuerza conservativa sea igual a la disminución en la energía potencial del sistema. Conciba un sistema de partículas en el que la configuración cambia debido al movimiento de una partícula a lo largo del eje . El trabajo realizado por una fuerza conservativa conforme una partícula se traslada a lo largo del eje es:

Donde es la componente de en la dirección del desplazamiento. Esto es: el trabajo invertido por una fuerza conservativa que actúa entre integrantes de un sistema es igual al negativo del cambio en la energía potencial del sistema asociado con dicha fuerza cuando cambia la configuración del sistema. La ecuación también se puede expresar como:

En consecuencia, es negativa cuando y están en la misma dirección, como cuando se baja un objeto en un campo gravitacional o cuando un resorte empuja un objeto hacia el equilibrio.

Si el punto de aplicación de la fuerza se somete a un desplazamiento infinitesimal , el cambio infinitesimal en la energía potencial del sistema se expresa como

Por lo tanto, la fuerza conservativa se relaciona con la función de energía potencial mediante la correspondencia

Es decir, la componente de una fuerza conservativa que actúa sobre un objeto dentro de un sistema es igual a la derivada negativa de la energía potencial del sistema en relación con .

***Diagramas de energía y equilibrio de un sistema***

Los sistemas están en tres clases de configuraciones de equilibrio cuando la fuerza neta en un integrante del sistema es cero. Las configuraciones de equilibrio estable corresponden cuando es un mínimo. Las configuraciones de equilibrio inestable corresponden cuando ) es un máximo. El equilibrio neutro surge cuando es constante mientras un integrante del sistema se mueve en alguna región.

**Conservación de energía**

Se presentaron tres métodos para almacenar energía en un sistema: energía cinética, asociada con el movimiento de los integrantes del sistema; energía potencial, determinada por la configuración del sistema y energía interna, que se relaciona con la temperatura del sistema.

Ahora se considera el análisis de situaciones físicas aplicando la aproximación de energía para dos tipos de sistemas: sistemas no aislados y aislados. Para sistemas no aislados se investigarán formas en que la energía cruza la frontera del sistema, lo que resulta en un cambio en la energía total del sistema. Este análisis conduce a un principio muy importante llamado conservación de energía.

En los sistemas aislados la energía no cruza la frontera del sistema. Para dichos sistemas, la energía total del sistema es constante. Si dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, se aplica la conservación de energía mecánica para resolver varios problemas.

**El sistema no aislado: conservación de energía**

Como se ha visto, un objeto que se representa como partícula pueden actuar fuerzas diferentes, resultando un cambio en su energía cinética. Esta situación muy simple es el primer ejemplo del modelo de un sistema no aislado, en él la energía cruza la frontera del sistema durante cierto intervalo de tiempo debido a una interacción con el medio ambiente. Este escenario es común en problemas de física. Si un sistema no interactúa con su medio ambiente, es un sistema aislado.

Hasta el momento sólo se ha visto una forma de transferir energía a un sistema: trabajo. Enseguida se mencionan otras formas de transferencia de energía hacia o desde un sistema.

* El trabajo es un método para transferir energía hacia un sistema mediante la aplicación de una fuerza al sistema y causar un desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza.
* Las ondas mecánicas son un medio de transferencia de energía al facilitar que una perturbación se propague a través del aire u otro medio.
* El calor es un mecanismo de transferencia de energía que se activa mediante una diferencia de temperatura entre dos regiones del espacio.
* La transferencia de materia involucra situaciones en las cuales la materia cruza físicamente la frontera de un sistema, transportando energía.
* La transmisión eléctrica es la transferencia de energía mediante corrientes eléctricas.
* La radiación electromagnética se refiere a las ondas electromagnéticas como la luz, microondas y ondas de radio.

Una característica central de la aproximación de energía es la noción de que no se puede crear ni destruir energía, la energía siempre se conserva. Esta característica se ha comprobado en incontables experimentos, y ningún experimento ha demostrado jamás que este enunciado sea incorrecto. Debido a eso, si la cantidad total de energía en un sistema cambia, sólo es porque la energía cruzó la frontera del sistema mediante un mecanismo de transferencia, como alguno de los métodos mencionados anteriormente. Este enunciado general del principio de conservación de la energía se describe matemáticamente como la ecuación de conservación de energía del modo siguiente:

Donde es la energía total del sistema, incluidos todos los métodos de almacenamiento de energía.

**El sistema aislado**

Un sistema aislado, en él la energía no cruza la frontera del sistema por ningún método.

El lado izquierdo representa una suma de cambios de la energía almacenada en el sistema. El lado derecho es cero porque no hay transferencias de energía a través de la frontera del sistema.

Donde U representa el total de todos los tipos de energía potencial. Ya que el sistema bajo consideración está aislado, las ecuaciones dicen que la energía mecánica del sistema se conserva

La ecuación es un enunciado de la conservación de energía mecánica para un sistema aislado sin fuerzas no conservativas en actuación. La energía mecánica en tal sistema se conserva: la suma de las energías cinética y potencial permanece constante.

Si hay fuerzas no conservativas actuando dentro del sistema, la energía mecánica se transforma en energía interna. Si fuerzas no conservativas actúan en un sistema aislado, la energía total del sistema se conserva aunque no la energía mecánica. En este caso, la conservación de energía del sistema se expresa como:

Donde incluye todas las energías cinética, potencial e interna. Esta ecuación es el enunciado más general del modelo de sistema aislado. Ahora escriba explícitamente los cambios en energía:

**Situaciones que incluyen fricción cinética**

El teorema trabajo–energía cinética es válido para una partícula o un objeto que se modela como partícula. No obstante, cuando actúa una fuerza de fricción, no se puede calcular el trabajo invertido por la fricción. Para tales situaciones, la segunda ley de Newton todavía es válida para el sistema aun cuando el teorema trabajo–energía cinética no lo sea.

La ecuación es una forma modificada del teorema trabajo–energía cinética que se aplica cuando una fuerza de fricción actúa sobre un objeto. El cambio en energía cinética es igual al trabajo invertido por todas las fuerzas distintas de la fricción menos un término asociado con la fuerza de fricción.

Por lo tanto, el aumento de energía interna del sistema es igual al producto de la fuerza de fricción y la longitud de trayectoria en la que se mueve el libro. En resumen, una fuerza de fricción transforma la energía cinética de un sistema en energía interna, y el aumento en energía interna del sistema es igual a su disminución en energía cinética.

**Cambios en energía mecánica para fuerzas no conservativas**

Considere el libro que se desliza a través de la superficie, a medida que el libro se mueve a través de una distancia d, la única fuerza que realiza trabajo en él es la fuerza de fricción cinética. Esta fuerza causa un cambio en la energía cinética del libro.

Sin embargo, ahora considere que el libro es parte de un sistema que además presenta un cambio en energía potencial. En este caso, es la cantidad por la que cambia la energía mecánica del sistema debido a la fuerza de fricción cinética.

En general, si actúa una fuerza de fricción dentro de un sistema aislado,

Si el sistema en el que actúa la fuerza no conservativa es no aislado

**Potencia**

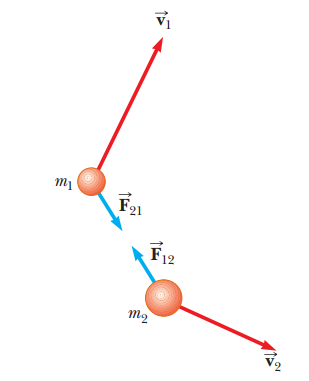
Un ejemplo conceptual, que implicó rodar un refrigerador hacia arriba de una rampa para llegar a una camioneta. Suponga que el hombre no está convencido de que el trabajo es el mismo sin importar la longitud de la rampa y coloca una rampa larga con una suave elevación. Aunque él realiza la misma cantidad de trabajo que alguien que usa una rampa más corta, le toma más tiempo realizar el trabajo porque tiene que mover el refrigerador una mayor distancia. Aunque el trabajo realizado sobre ambas rampas es el mismo, hay algo diferente acerca de las tareas: el intervalo de tiempo durante el que se realiza el trabajo. La relación con el tiempo de transferencia de energía se llama potencia instantánea y se define como sigue:

Si una fuerza externa se aplica a un objeto y si el trabajo invertido por esta fuerza en el objeto en el intervalo de tiempo es , la potencia promedio durante este intervalo es

La potencia instantánea es el valor límite de la potencia promedio a medida que tiende a cero:

**Cantidad de movimiento lineal y colisiones**

**Cantidad de movimiento lineal y su conservación**

A pesar de la incapacidad para resolver cierto tipos de problema. Se introduce una nueva cantidad que describa el movimiento, la cantidad de movimiento lineal.

Aplique la estrategia general para resolver problemas y elabore su marco conceptual de un sistema aislado de dos partículas con las masas y que se mueven con velocidades y en un instante de tiempo. Ya que el sistema está aislado, la única fuerza sobre una partícula es a causa de la otra partícula, y se puede clasificar esta situación como una en la que las leyes de Newton son útiles. Si una fuerza a causa de la partícula 1 actúa sobre la partícula 2, debe haber una segunda fuerza, igual en magnitud pero opuesta en dirección, que la partícula 2 ejerce sobre la partícula 1. Es decir, las fuerzas en las partículas forman un par acción–reacción de la tercera ley de Newton, y.. Esta condición se expresa como:

***La cantidad de movimiento lineal de una partícula o un objeto que se modela como una partícula de masa que se mueve con una velocidad se define como el producto de la masa y la velocidad de la partícula:***

**Definición de cantidad de movimiento lineal de una partícula**

Al usar la segunda ley de movimiento de Newton, se puede relacionar la cantidad de movimiento lineal de una partícula con la fuerza resultante que actúa en la partícula.

Esta ecuación muestra que la relación de cambio con el tiempo de la cantidad de movimiento lineal de una partícula es igual a la fuerza neta que actúa sobre la partícula.

Al usar la definición de cantidad de movimiento,

Ya que la derivada respecto al tiempo de la cantidad de movimiento total es cero, se concluye que la cantidad de movimiento total del sistema aislado de las dos partículas debe permanecer constante:

La ecuación en forma de componentes demuestra que las cantidades de movimiento totales en las direcciones , y se conservan todas de manera independiente

Este resultado, conocido como la ley de conservación de la cantidad de movimiento lineal, se puede extender a cualquier número de partículas en un sistema aislado.

***Siempre que interactúan dos o más partículas en un sistema aislado, la cantidad de movimiento total del sistema permanece constante.***

***Conservación de la cantidad de movimiento***

Esta ley dice que la cantidad de movimiento total de un sistema aislado en todo momento es igual que su cantidad de movimiento inicial. La ley es la representación matemática de la versión en cantidad de movimiento del modelo de sistema aislado. El único requisito es que las fuerzas deben ser internas al sistema.

**Impulso y cantidad de movimiento**

La cantidad de movimiento de una partícula cambia si una fuerza neta actúa en la partícula. Conocer el cambio en la cantidad de movimiento causada por una fuerza es útil al resolver algunos tipos de problemas. Para construir una mejor comprensión de este concepto importante, suponga que una fuerza neta actúa en una partícula y que esta fuerza puede variar con el tiempo. De acuerdo con la segunda ley de Newton, o:

Para evaluar la integral, es necesario saber cómo varía con el tiempo la fuerza neta. La cantidad en el lado derecho de esta ecuación es un vector llamado impulso de la fuerza neta que actúa en una partícula durante el intervalo de tiempo :

A partir de esta definición, se ve que el impulso es una cantidad vectorial que tiene una magnitud igual al área bajo la curva fuerza–tiempo. El impulso no es una propiedad de una partícula; en vez de ello, es una medida del grado en el que la fuerza externa cambia la cantidad de movimiento de la partícula.

La ecuación es un enunciado importante conocido como teorema impulso–cantidad de movimiento:

***El cambio en la cantidad de movimiento de una partícula es igual al impulso de la fuerza neta que actúa en la partícula:***

***Teorema impulso-cantidad de movimiento***

El lado izquierdo de la ecuación representa el cambio en la cantidad de movimiento del sistema, que en este caso es una sola partícula. El lado derecho es una medida de cuánta cantidad de movimiento cruza la frontera del sistema debido a la fuerza neta que se aplica al sistema.

En muchas situaciones físicas se usará lo que se llama la aproximación del impulso, en la que se supone que una de las fuerzas ejercida sobre una partícula actúa durante un tiempo breve pero es mucho mayor que cualquiera otra fuerza presente.

**Colisiones en una dimensión**

El término colisión representa un evento durante el que dos partículas se acercan una a la otra e interactúan mediante fuerzas. Se supone que las fuerzas de interacción son mucho mayores que otras fuerzas externas cualesquiera, así que se puede usar la aproximación del impulso.

Para comprender este concepto, considere una colisión a escala atómica como la colisión de un protón con una partícula alfa. Ya que las partículas tienen carga positiva, se repelen mutuamente debido a la fuerza electrostática intensa entre ellas en separaciones cercanas y nunca entran en “contacto físico”.

Cuando dos partículas de masas y chocan, las fuerzas impulsivas pueden variar en el tiempo en formas complicadas. Sin embargo, sin importar la complejidad del comportamiento temporal de la fuerza impulsiva, esta fuerza es interna al sistema de dos partículas. En consecuencia, las dos partículas forman un sistema aislado y la cantidad de movimiento del sistema se conserva.

En contraste, la energía cinética total del sistema de partículas puede o no conservarse, dependiendo del tipo de colisión.

Una colisión elástica entre dos objetos es aquella en la que la energía cinética total (así como la cantidad de movimiento total) del sistema es la misma antes y después de la colisión.

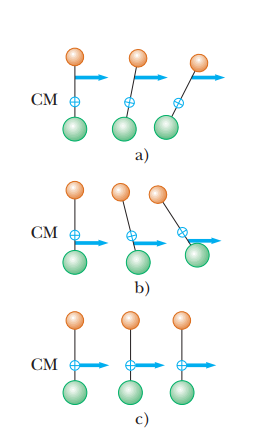
En una colisión inelástica la energía cinética total del sistema no es la misma antes ni después de la colisión (aun cuando la cantidad de movimiento del sistema se conserve). Las colisiones inelásticas son de dos tipos. Cuando los objetos se unen después de chocar, la colisión se llama perfectamente inelástica. Cuando los objetos en colisión no se unen sino que se pierde parte de la energía cinética, la colisión se llama inelástica.

**Colisiones perfectamente inelásticas**

Considere dos partículas de masas y que se mueven con velocidades iniciales y a lo largo de la misma línea recta. Las dos partículas chocan de frente, quedan unidas y luego se mueven con alguna velocidad común después de la colisión. Ya que la cantidad de movimiento de un sistema aislado se conserva en cualquier colisión, se puede decir que la cantidad de movimiento total antes de la colisión es igual a la cantidad de movimiento total del sistema compuesto después de la colisión:

**Colisiones elásticas**

Considere dos partículas de masas y que se mueven con velocidades iniciales y a lo largo de la misma línea recta Las dos partículas chocan frontalmente y luego dejan el sitio de colisión con diferentes velocidades y . En una colisión elástica, tanto la cantidad de movimiento como la energía cinética del sistema se conservan.

**El centro de masa**

Examine un sistema que consiste de un par de partículas que tienen diferentes masas y se conectan mediante una barra rígida ligera. La posición del centro de masa de un sistema se describe como la posición promedio de la masa del sistema. El centro de masa del sistema se ubica en algún lugar en la línea que une las dos partículas y está más cerca de la partícula que tiene la masa más grande. Si se aplica una sola fuerza a un punto en la barra arriba del centro de masa, el sistema gira en sentido de las manecillas del reloj. Si la fuerza se aplica en un punto en la barra por abajo del centro de masa, el sistema gira contra las manecillas del reloj. Si la fuerza se aplica al centro de masa, el sistema se mueve en la dirección de la fuerza sin girar. El centro de masa de un objeto se ubica con este procedimiento.

El centro de masa de cualquier objeto simétrico se encuentra sobre un eje de simetría y sobre cualquier plano de simetría.

Ya que un objeto extendido es una distribución de masa continua, en cada elemento pequeño de masa actúa la fuerza gravitacional. El efecto neto de todas estas fuerzas es equivalente al efecto de una sola fuerza que actúa a través de un punto especial, llamado centro de gravedad. Si es constante sobre la distribución de masa, el centro de gravedad coincide con el centro de masa. Si un objeto extendido gira sobre un eje en su centro de gravedad, se equilibra en cualquier orientación.

**Mecánica de fluidos**

Un fluido es un conjunto de moléculas que se ordenan aleatoriamente y se mantienen juntas a partir de fuerzas cohesivas débiles y fuerzas que ejercen las paredes de un contenedor. Tanto líquidos como gases son fluidos.

**Presión**

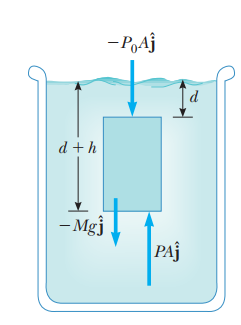
El único esfuerzo que se puede ejercer sobre un objeto sumergido en un fluido estático es el que tiende a comprimir el objeto desde todos los lados. En otras palabras, la fuerza que ejerce el fluido estático sobre un objeto siempre es perpendicular a las superficies del objeto

Si la presión varía sobre un área, la fuerza infinitesimal sobre un elemento de superficie infinitesimal de área es

**Variación de la presión con la profundidad**

La presión del agua aumenta con la profundidad. Del mismo modo, la presión atmosférica disminuye con la altura creciente.

La densidad de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen.

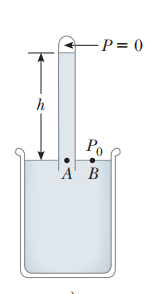
Considere ahora un líquido de densidad en reposo. Se supone que es uniforme en todo el líquido, esto significa que el líquido es incompresible. Seleccione una muestra del líquido contenido dentro de un cilindro imaginario de área de sección transversal que se extiende desde la profundidad a la profundidad . El líquido externo a la muestra ejerce fuerzas en todos los puntos de la superficie de la muestra, perpendicular a la superficie. La presión que ejerce el líquido en la cara inferior de la muestra es , y la presión en la cara superior es . Por lo tanto, la fuerza hacia arriba que ejerce el fluido exterior sobre el fondo del cilindro tiene una magnitud , y la fuerza descendente que se ejerce sobre la parte superior tiene magnitud . La masa de líquido en el cilindro es ; en consecuencia, el peso del líquido en el cilindro es . Ya que el cilindro está en equilibrio, la fuerza neta que actúa sobre él debe ser cero. Al elegir hacia arriba como la dirección positiva, se ve que:

La presión a una profundidad bajo un punto en el líquido donde la presión es es mayor por una cantidad .

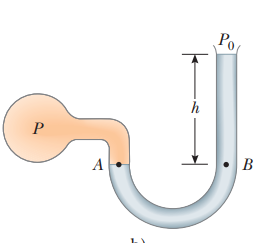
Ya que la presión en un fluido depende de la profundidad y del valor de , cualquier aumento en presión en la superficie debe transmitirse a todo otro punto en el fluido.

***Un cambio en la presión aplicada a un fluido se transmite sin disminución a todos los puntos del fluido y a las paredes del contenedor.***

***Ley de Pascal***

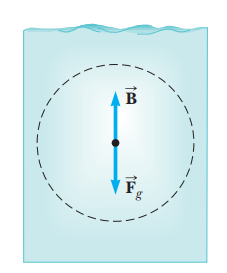
**Mediciones de presión**

Un instrumento que se usa para medir la presión atmosférica es el barómetro común. Un tubo largo cerrado en un extremo se llena con mercurio y luego se invierte en un contenedor con mercurio. El extremo cerrado del tubo es casi un vacío, así que la presión en lo alto de la columna de mercurio se considera cero. la presión en el punto , debida a la columna de mercurio, debe ser igual a la presión en el punto , debido a la atmósfera. Si este no fuera el caso, habría una fuerza neta que movería al mercurio de un punto al otro hasta establecer equilibrio. Por lo tanto . Conforme la presión atmosférica varía, la altura de la columna de mercurio varía, así que la altura se puede calibrar para medir presión atmosférica.

Un dispositivo para medir la presión de un gas contenido en un recipiente es el manómetro de tubo abierto. Un extremo de un tubo con forma de U que contiene un líquido está abierto a la atmósfera, y el otro extremo está conectado a un sistema de presión desconocida . En una situación de equilibrio, las presiones en los puntos y deben ser iguales, y la presión en es la presión desconocida del gas. Por tanto, al igualar la presión desconocida con la presión en el punto , se ve que . La diferencia en presión es igual a . La presión se llama presión absoluta, y la diferencia se llama presión manométrica.

**Fuerzas de flotación y principio de Arquímedes**

La fuerza hacia arriba que un fluido ejerce sobre cualquier objeto sumergido se llama fuerza de flotación.

Imagine una porción de agua del tamaño de una pelota de playa bajo la superficie del agua. Ya que esta parte está en equilibrio, debe haber una fuerza hacia arriba que equilibre lafuerza gravitacional hacia abajo sobre la porción. Esta fuerza hacia arriba es la fuerza de flotación y su magnitud es igual al peso del agua en la porción. La fuerza de flotación es la fuerza que resulta sobre la porción debido a todas las fuerzas aplicadas por el fluido que rodean la porción.

La magnitud de la fuerza de flotación sobre un objeto siempre es igual al peso del fluido desplazado por el objeto. Este enunciado se conoce como principio de Arquímedes.

considere un cubo sumergido en un líquido; de acuerdo con la ecuación, la presión es mayor que la presión por una cantidad de . La presión en el fondo del cubo causa una fuerza hacia arriba igual a . La presión en la parte superior del cubo causa una fuerza hacia abajo igual a . La resultante de estas dos fuerzas es la fuerza de flotación con magnitud

* **Caso 1: Objeto totalmente sumergido.** Cuando un objeto está totalmente sumergido en un fluido de densidad , la magnitud de la fuerza de flotación hacia arriba es . Si el objeto tiene una masa y densidad , su peso es igual a y la fuerza neta sobre el objeto es . En consecuencia, si la densidad del objeto es menor que la densidad del fluido, la fuerza gravitacional hacia abajo es menor que la fuerza de flotación y el objeto sin apoyo acelera hacia arriba. Si la densidad del objeto es mayor que la densidad del fluido, la fuerza de flotación hacia arriba es menor que la fuerza gravitacional hacia abajo y el objeto sin apoyo se hunde. Si la densidad del objeto sumergido es igual a la densidad del fluido, la fuerza neta sobre el objeto es cero y el objeto permanece en equilibrio. Por lo tanto, la dirección de movimiento de un objeto sumergido en un fluido está determinada por las densidades del objeto y el fluido.
* **Caso 2: Objeto que flota.** la fracción del volumen de un objeto en flotación que está debajo de la superficie del fluido es igual a la relación de la densidad del objeto a la del fluido.

**Dinámica de fluidos**

Cuando el fluido está en movimiento, su flujo se caracteriza como uno de dos tipos principales. Se dice que el fluido es estable, o laminar, si cada partícula del fluido sigue una trayectoria uniforme de tal modo que las trayectorias de diferentes partículas nunca se cruzan unas con otras. En el flujo estable todas las partículas de fluido que llegan a un punto dado tienen la misma velocidad.

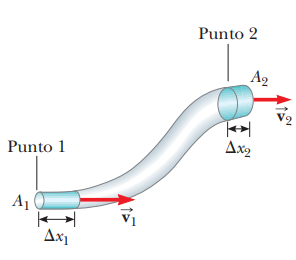
Sobre cierta rapidez crítica, el flujo de fluido se vuelve turbulento. El flujo turbulento es flujo irregular que se caracteriza por pequeñas regiones con forma de remolino.

El término viscosidad se usa comúnmente en la descripción del flujo de fluido para caracterizar el grado de fricción interna en el fluido. Esta fricción interna, o fuerza viscosa, se asocia con la resistencia que tienen dos capas adyacentes de fluido para moverse una en relación con la otra. La viscosidad hace que parte de la energía cinética del fluido se convierta en energía interna.

En este modelo de flujo de fluido ideal, se hacen las siguientes cuatro suposiciones:

* **El fluido no es viscoso.**
* **El flujo es estable.** Todas las partículas que pasan a través de un punto tienen la misma velocidad.
* **El fluido es incompresible.**
* **El flujo es irrotacional.** El fluido no tiene cantidad de movimiento angular en torno a punto alguno.

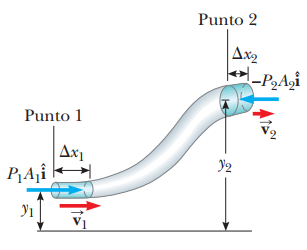
La trayectoria que toma una partícula de fluido bajo flujo estable se llama línea de corriente. La velocidad de la partícula siempre es tangente a la línea de corriente.

Considere el flujo de fluido ideal a través de una tubería de tamaño no uniforme. Las partículas en el fluido se mueven a lo largo de líneas de corriente en flujo estable. En un intervalo de tiempo , un elemento corto del fluido en el extremo inferior de la tubería se mueve una distancia . Si es el área de sección transversal en esta región, la masa de fluido contenida en la región es . De igual modo, el fluido que se mueve a través del extremo superior de la tubería en el intervalo de tiempo tiene una masa . Sin embargo, ya que el fluido es incompresible y el flujo es estable, la masa de fluido que cruza en un intervalo de tiempo debe ser igual a la masa que cruza en el mismo intervalo de tiempo. Esto es .

Esta expresión se llama ecuación de continuidad para fluidos. Afirma que el producto del área y la rapidez del fluido en todos los puntos a lo largo de una tubería es constante para un fluido incompresible. La ecuación muestra que la rapidez es alta donde el tubo es estrecho y baja donde el tubo es ancho. El producto , que tiene las dimensiones de volumen por unidad de tiempo, se llama flujo volumétrico o relaciónde flujo. La condición es equivalente a la afirmación de que el volumen de fluido que entra por un extremo de un tubo en un intervalo de tiempo dado iguala al volumen que conduce al otro extremo del tubo en el mismo intervalo de tiempo si no hay fugas presentes.

**Ecuación de Bernoulli**

A medida que un fluido se mueve a través de una región donde su rapidez o elevación sobre la superficie de la Tierra cambian, la presión en el fluido varía con dichos cambios.

Considere las fuerzas que se ejercen sobre este segmento por el fluido a la izquierda y a la derecha del segmento. La fuerza que ejerce el fluido sobre el extremo izquierdo tiene una magnitud . El trabajo invertido por esta fuerza sobre el segmento en un intervalo de tiempo es . De forma similar, el trabajo invertido por el fluido a la derecha del segmento en el mismo intervalo de tiempo es . Este trabajo es negativo porque la fuerza sobre el segmento de fluido es a la izquierda y el desplazamiento es a la derecha. Por lo tanto, el trabajo neto invertido en el segmento por dichas fuerzas en el mismo intervalo es

Parte de este trabajo va a cambiar la energía cinética del segmento de fluido, y parte va a cambiar la energía potencial gravitacional del sistema segmento–Tierra. Ya que se supone flujo en líneas de corriente, la energía cinética no cambia durante el intervalo de tiempo.

Al considerar la energía potencial gravitacional del sistema segmento–Tierra, una vez más no hay cambio durante el intervalo de tiempo para la energía potencial gravitacional

el trabajo total invertido en el sistema por el fluido afuera del segmento es igual al cambio en energía mecánica del sistema:

Si divide cada término entre la porción de volumen V

Al reordenar términos se obtiene la ecuación de Bernoulli como se aplica a un fluido ideal. Esta ecuación con frecuencia se expresa como:

La ecuación de Bernoulli muestra que la presión de un fluido disminuye conforme la rapidez del fluido aumenta. Además, la presión disminuye conforme aumenta la elevación.

Cuando P es mucho mayor que (de modo que el término se puede despreciar), la rapidez de salida del agua es principalmente una función de . Si el tanque está abierto a la atmósfera, en tal caso y . En otras palabras, para un tanque abierto, la rapidez del líquido que sale de un orificio a una distancia bajo la superficie es igual a la que adquiere un objeto en caída libre a través de una distancia vertical . Este fenómeno se conoce como ley de Torricelli.