



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Dinámica de la partícula

Fuerzas de inercia

Juan Francisco Sánchez Pérez



Universidad
Politécnica
de Cartagena

1

Conceptos generales



Leyes de Newton

Primera ley de Newton

Conocida también como ley de la inercia, dice que:

«Todo cuerpo sobre el que no actúe una fuerza neta permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, según fuera su estado inicial»



Leyes de Newton

Segunda ley de Newton

La primera ley nos dice que el efecto de la fuerza es cambiar la velocidad del cuerpo; la segunda nos determina esa variación. Esta ley es la ecuación fundamental de la dinámica, y se expresa como:

«Si sobre un cuerpo actúa una fuerza neta \mathbf{F} , éste cambia su velocidad con una aceleración dada por $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$.»

Siendo m una magnitud característica del cuerpo llamado masa. La unidad fundamental de masa en el SI es el kilogramo (kg)

La unidad fundamental de fuerza en el SI es el Newton (N)



Leyes de Newton

Segunda ley de Newton

Si aplicamos una misma fuerza a dos objetos con distinta masa, 1 y 2, cada uno sufrirá una aceleración distinta. La relación entre esas aceleraciones será:

$$\frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Si a un cuerpo le aplicamos distintas fuerzas, este sufrirá distintas aceleraciones. Estas fuerzas tendrán un valor proporcional a la aceleración que producen.

Debemos tener en cuenta que las fuerzas son vectores, y que cuando varias de ellas actúan sobre un cuerpo, la fuerza neta es la suma vectorial de todas ellas

$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$$



Leyes de Newton

Segunda ley de Newton

Una de las fuerzas más habituales con las que tratamos es el peso de un objeto, que es la fuerza con la que la Tierra lo atrae.

Cerca de la superficie terrestre se puede considerar constante y es igual al producto de la masa del objeto por la aceleración de la gravedad, g , con un valor de 9.8 m/s^2 . Expresado en módulo su valor es:

$$\mathbf{P=mg}$$

y su dirección es hacia el centro de la tierra.



Leyes de Newton

Tercera ley de Newton

Esta ley describe una característica esencial de cualquier tipo de fuerza, y dice lo siguiente:

«Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste actúa sobre el primero ejerciéndole una fuerza igual, pero de sentido contrario.»

Es decir, las fuerzas siempre se presentan a pares. Esta ley se conoce también como el principio de acción y reacción. Es de suma importancia conocer que estas fuerzas no pueden anularse entre sí en ningún caso, pues cada una actúa sobre uno de los dos cuerpos.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

2

Sistemas de referencia inerciales



Sistemas de referencia inerciales

Los sistemas en los que son válidas las leyes de Newton se denominan sistemas inerciales.

Estos sistemas se mantienen en reposo o velocidad constante respecto al Universo, es decir, un sistema que permanezca fijo o con velocidad uniforme respecto a la tierra es prácticamente inercial.

A su vez, un sistema que se mueva con velocidad uniforme respecto a uno inercial es también inercial (las aceleraciones medidas en uno y otro son las mismas).



Sistemas de referencia inerciales

El principio de relatividad de Galileo dice que:

«Las leyes de la Física son idénticas en todos los sistemas de referencia que se mueven con movimiento uniforme con respecto a otros.»



Sistemas de referencia no inerciales. Fuerzas ficticias

Cuando estamos en un sistema de referencia no inercial, las leyes de Newton no se cumplen.

Sin embargo, si se conoce la aceleración de este sistema no inercial respecto a un sistema inercial, es decir, la aceleración relativa entre los sistemas \vec{a}_0 , la aceleración del cuerpo respecto al sistema inercial sería la suma de la aceleración relativa \vec{a} más la aceleración en el sistema no inercial.

$$\vec{F} = m(\vec{a} + \vec{a}_0)$$



Sistemas de referencia no inerciales. Fuerzas ficticias

Podemos introducir una fuerza ficticia, si pasamos el término $m\vec{a}_0$ al otro lado de la ecuación. Entonces:

$$\vec{F} + \vec{F}_0 = m\vec{a}$$

es como si tuviésemos una fuerza adicional $\vec{F}_0 = -m\vec{a}_0$ por el hecho de estar en un sistema de referencia no inercial

Estas fuerzas son ficticias, no existen; su efecto proviene del hecho de que el sistema de referencia considerado está acelerado



Universidad
Politécnica
de Cartagena

3

Momento lineal y angular



Momento lineal

Si aplicamos la tercera ley de Newton a dos cuerpos, 1 y 2, que interactúan y sin tener en cuenta más fuerzas que las que ejercen uno sobre otro, sabemos, por la ley de acción y reacción que

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \vec{F}_{12} = m_1 \frac{d\vec{v}_1}{dt} \quad \vec{F}_{21} = m_2 \frac{d\vec{v}_2}{dt}$$

$$m_1 \frac{d\vec{v}_1}{dt} + m_2 \frac{d\vec{v}_2}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d(m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2)}{dt} = 0 \Rightarrow m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \text{cte}$$



Momento lineal

$m\mathbf{v}$ recibe el nombre de cantidad de movimiento, o momento lineal (**p**).

Si dos cuerpos están sujetos únicamente a sus interacciones mutuas, la cantidad de movimiento total se conserva. Como puede observar, es otra forma de enunciar la 1ª ley de Newton.

La expresión que acabamos de ver se conoce como la ley de conservación de la cantidad de movimiento.



Momento lineal

Si escribimos la segunda ley de Newton en función de la cantidad de movimiento, tendremos que

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Principio de conservación del momento lineal

“El momento lineal de toda partícula aislada, no sujeta a una fuerza externa neta, es constante”

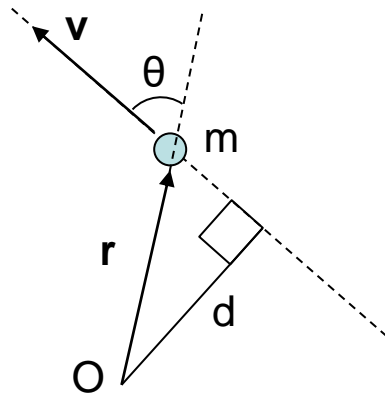


Momento angular

Definimos el momento angular de una partícula respecto a un punto O como

$$\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p}$$

Siendo r el vector que va desde O a la partícula.





Momento angular

El módulo sabemos que es $L = mrv\text{sen}\theta$

Movimiento circular

En un movimiento circular, en la que \mathbf{v} y \mathbf{r} son perpendiculares (sen $90^\circ = 1$), por lo que

$$L = mrv = mr^2\omega$$

de donde se deduce que \mathbf{L} y $\boldsymbol{\omega}$ llevan la misma dirección perpendicular a la trayectoria.

$$\vec{L} = mr^2\vec{\omega}$$



Variación del momento angular

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{p} + \vec{r} \wedge \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{v} \wedge \vec{p} + \vec{r} \wedge \vec{F}$$

Definimos el momento de una fuerza con respecto a un punto como

$$\vec{\tau} = \vec{r} \wedge \vec{F}$$

Por lo tanto, la derivada temporal del momento angular es igual al momento de la fuerza.



Variación del momento angular

Si la fuerza aplicada es 0, entonces su momento es 0 y por lo tanto el momento angular no varía.

Teorema de conservación del momento angular:

«El momento angular de toda partícula libre, no sometida a fuerza neta, se conserva.»



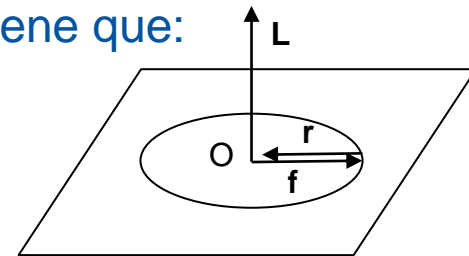
Fuerzas centrales

Una fuerza es central cuando su dirección cruza un único punto, conocido como centro de la fuerza, y su módulo es función de la distancia a este punto. Al seleccionar el punto como origen se puede expresar que:

$$\vec{F}(\vec{r}) = f(r) \cdot \hat{r}$$

por lo que la fuerza es siempre radial, y entonces se tiene que:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \wedge \vec{F} = 0 \rightarrow \vec{L} = \text{cte}$$



De lo que se deduce que, en una fuerza central, el momento angular respecto al centro de la fuerza se conserva



Fuerzas centrales

De lo anterior se deduce que, la trayectoria de todo cuerpo al que se le aplica una fuerza central es plana y, este plano cruza el centro de la fuerza.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

4

Tipos de fuerza



Fuerzas fundamentales

Fuerza gravitatoria: Fuerza débil y de largo alcance que se ocurre entre los cuerpos y es proporcional a sus masas.

Fuerza electromagnética: producida por la interacción entre cargas eléctricas. Está involucrada en la mayoría de los fenómenos que observamos (cuando golpeamos un balón, realmente se produce una repulsión electromagnética entre las moléculas del pie y del balón). Es una fuerza de largo alcance, aunque muchas veces sus efectos se pueden compensar al haber dos tipos de carga (negativa y positiva).



Fuerzas fundamentales

Fuerza nuclear fuerte: Es la fuerza que mantiene la integridad de los núcleos atómicos. Cuando se produce una reacción nuclear se libera esta fuerza. Es una fuerza de muy corto alcance.

Fuerza nuclear débil: causa la inestabilidad de los núcleos atómicos.



Fuerzas derivadas

Por motivos prácticos es interesante definir una serie de fuerzas, que aunque no son fundamentales, se encuentran en la mayoría de las situaciones.

Las más importantes serían la fuerza elástica, las fuerzas de contacto y las fuerzas de rozamiento.



Fuerzas derivadas

Las fuerzas de rozamiento destacan las que se producen entre las superficies de dos objetos.

Cuando un cuerpo está apoyado sobre una superficie, experimenta una fuerza de rozamiento \mathbf{F}_r , proporcional a la fuerza normal entre ambos \mathbf{N} .

$$\vec{F}_r = \mu \vec{N}$$

La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de rozamiento y depende de las características de las dos superficies (rugosidad).

La fuerza de rozamiento siempre actúa en sentido contrario al movimiento, y nunca puede generar un movimiento por si misma.



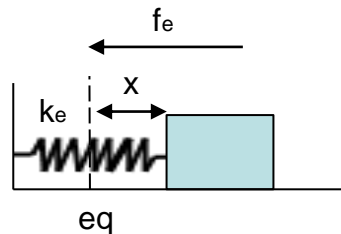
Fuerzas derivadas

Fuerza elástica: Ley de Hooke

«La fuerza recuperadora es proporcional y opuesta al desplazamiento respecto de la posición de equilibrio estable».

$$f_e = -k_e x$$

k_e es la constante elástica y depende del material

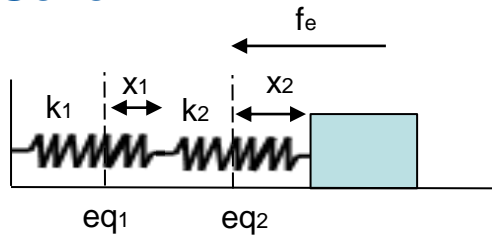




Fuerzas derivadas

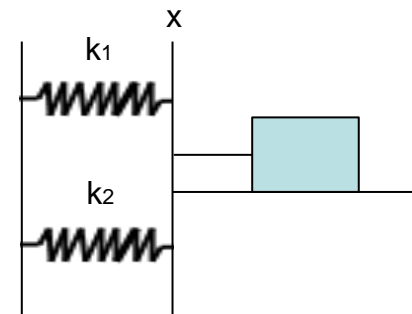
Fuerza elástica: Asociación de muelles

Serie



$$\frac{1}{k_{eq}} = \sum \frac{1}{k_i}$$

Paralelo



$$k_{eq} = \sum k_i$$

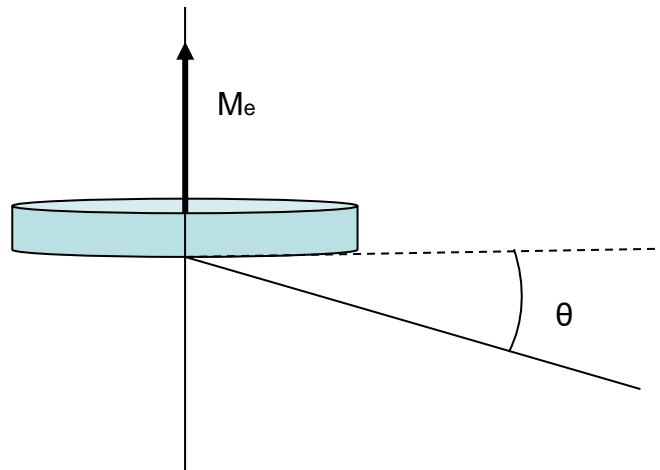


Fuerzas derivadas

Fuerza elástica: Muelle en espiral

$$M_e = -k_t \theta$$

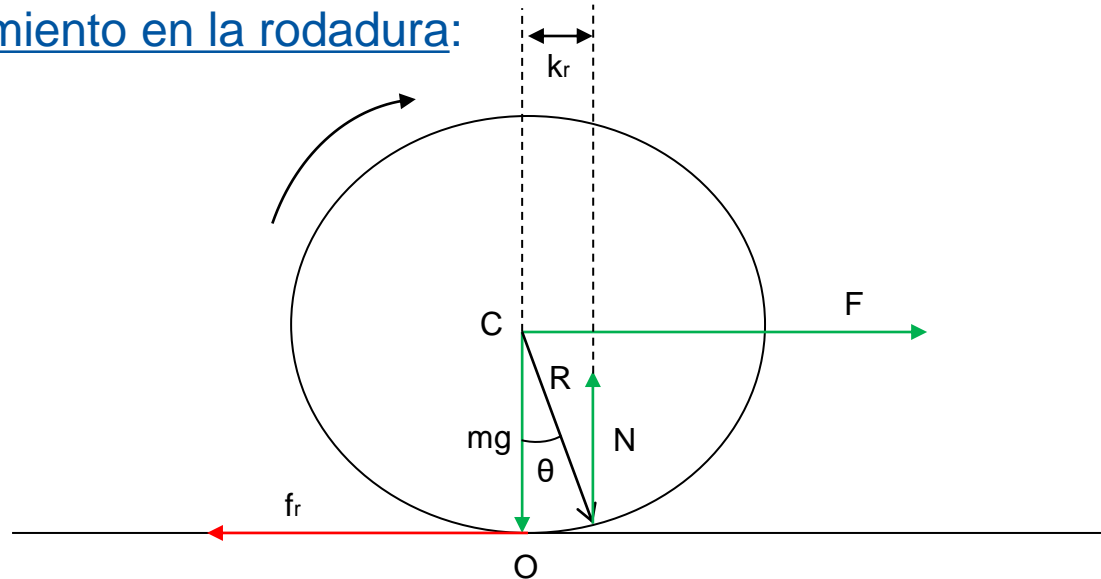
M_e es el momento fuerza recuperador y k_t es la constante de torsión del muelle y depende del material





Fuerzas derivadas

Rozamiento en la rodadura:



$$\overline{M(c)} = \overline{R(c)} \wedge (\overline{f_r} + \overline{N}) = (f_r R \cos \theta - N R \sin \theta) \mathbf{j}$$

$$M_r = N R \sin \theta = N k_r$$

M_r es el momento fuerza de rodadura y k_r es coeficiente de rozamiento de rodadura y tiene dimensiones de longitud



Bibliografía

SÁNCHEZ PÉREZ, JUAN FCO.; ALHAMA LÓPEZ, FRANCISCO Problemas de física para ingenieros (Tomo 2). Cartagena: Crai UPCT Ediciones, 2016. ISBN 978-84-16325-22-1

TIPLER, PAUL ALLEN Física para la ciencia y la tecnología. Mecánica, oscilaciones y ondas, termodinámica; Reverté, 2012. ISBN 97-88429144-29-1

BURBANO DE ERCILLA SANTAGO Problemas de Física. Madrid: Tebar. 2007. 815 p. ISBN 978-84-95447-27-2

FERNÁNDEZ, M.R. 1000 problemas de física general mecánica, electricidad, electromagnetismo, ondas, electrónica, relatividad, radiactividad, termodinámica: Bachillerato, LOGSE, Pruebas de acceso a la Universidad, Escuelas Técnicas, Facultades Universitarias. Everest, 2007. ISBN 97-88424176-03-7

SÁNCHEZ PÉREZ, JUAN FCO.; CONESA VALVERDE, MANUEL; CASTRO RODRÍGUEZ, ENRIQUE. Prácticas de física para ingenieros: Física I: errores, cinemática, dinámica, estática, fluidos, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2017. ISBN 97-88416325-36-8