

$$p = 720 \text{ N-seg}$$

Por lo tanto, la diferencia de la cantidad de movimiento será igual también:

$$CM = 720 \text{ N-seg}$$

Para poder calcular la velocidad inicial que tenía el cuerpo, nos apoyaremos en la fórmula de la cantidad de movimiento.

$$CM = mv - mv_0$$

$$\text{Despejando } v_0 = (CM - mv)/-m$$

$$v_0 = 720 \text{ N-seg} - 12 \text{ kg} \times 8 \text{ m/seg} / -12 \text{ kg}$$

$$v_0 = -240 \text{ kg m/seg} / 12 \text{ kg}$$

$$v_0 = 20 \text{ m/seg}$$

## LA PULSERA PERDIDA (CUENTO)

- No la encuentro y estoy segura de que la dejé aquí, encima del pupitre.
- ¿Qué te sucede Martha? ¿Qué estás buscando?
- Mi pulsera, no la encuentro.
- No la habrás dejado en tu casa?
- Oh, no, estoy segurísima de que la traje. Al terminar la última clase me la quitó, y la dejé aquí encima.
- Muchachos, quién cogió la pulsera de Martha, estaba sobre el pupitre.
- Yo no.
- No se.
- ¡Cómo que nadie! La pulsera no se pudo haber movido por sí misma.
- Exactamente señorita. Los objetos no se mueven por sí mismo; para que empiecen a moverse hay que aplicarles una fuerza. ¿Qué es lo que sucedió?
- Entonces según sus ilustres compañeros, la pulsera comenzó a moverse espontáneamente, violando una ley de la física, que hoy vamos a estudiar.
- No sé de qué ley esté hablando, pero con lenguaje vulgar, lo que ocurre es que le ratearon la pulsera a Martha.
- Vamos a dar clase y después buscaremos la pulsera. Nadie se irá antes de que aparezca.
- Profesor, de qué ley estaba hablando?.
- Calma, calma. Como todo el mundo sabe, menos ustedes, mis estimados alumnos, cuando un cuerpo se deja en reposo, por ejemplo, la pulsera de Martha, seguirá en reposo....
- A menos que alguien la desaparezca, no?
- No seas payaso. Como les decía, seguirá en reposo a menos que alguien o algo lo mueva. Para que el cuerpo en

reposo se mueva, hay que jalarlo o empujarlo, es decir, hay que aplicarle una fuerza. Por otro lado, primero el cuerpo estaba en reposo y luego se movió. Alicia, ¿hubo cambio en su velocidad?

- Sí, cambio de cero al valor con el que se movió.

- Muy bien.

- Entonces hubo una aceleración, no?

- Efectivamente, y así nos damos cuenta de que si a un cuerpo se le aplica una fuerza, su movimiento es acelerado.

- Y, qué sucede en un movimiento uniforme?

- Ahí no hay aceleración, porque la velocidad del cuerpo no cambia. En el caso que estamos tratando, el cuerpo no tiene aceleración, debido a que no está recibiendo ninguna fuerza.

- Quiere decir, que si un cuerpo se mueve con velocidad constante es porque no recibe la acción de alguna fuerza?

- Sí, y esa es precisamente la primera ley de Newton.

- Nos la puede enunciar para escribirla.

- Si un cuerpo está en reposo permanecerá en reposo a menos que sobre él actúe una fuerza; si un cuerpo se mueve, con movimiento uniforme, seguirá moviéndose a velocidad constante, a lo largo de la misma línea recta, a menos que sobre él actúe una fuerza.

- Profesor, le voy a hacer una pregunta difícil. Si aviento una pelota de fútbol y sin que nadie la toque, se detiene, porqué no se mueve a velocidad constante todo el tiempo?

- Ya lo pusieron a pensar, profesor.

- Escucha, cuando lanzas una pelota de fútbol, si existe una fuerza que la detiene.

- ¿Qué fuerza es ésa?

- Es la que ejerce el suelo, el pasto sobre la pelota. La fuerza de fricción que impide que la pelota se mueva con velocidad constante.

- Entonces los cuerpos al moverse, siempre estarán sintien-

do fuerzas de fricción y no tendrán velocidad constante.

- Bueno, aquí en la Tierra sí es cierto lo que dices. Es muy difícil de eliminar las fuerzas de fricción. Sin embargo, en el espacio interplanetario un cuerpo se puede mover con velocidad constante, ya que ahí no hay fuerzas de fricción.

- ¡Mi pulsera! ¡En tu mugroso perro!

- ¿Es tu pulsera Martha?

- ¡Sí! ¡Tú la cogiste!

- Pero no lo hice adrede.

- ¿Qué? dámela. Ahora tengo que lavarla con alcohol. No sabemos cuantas pulgas tenga.

- Mi perro está limpio.

- Ya no hables.

- Estamos en clase! Pedro, salte con tu perro, no vengas a interrumpir.

- Podemos analizar con otro punto de vista, la primera ley de Newton.

- ¿Cuál?

- Si un cuerpo está en reposo, se resiste a cambiar su estado de reposo. Para que empiece a moverse, hay que aplicarle una fuerza.

- Por fuerza.

- Además Si un cuerpo tiene movimiento con velocidad constante, también se resiste a cambiar su velocidad; si queremos cambiar su velocidad, tenemos que aplicarle una fuerza. Así, se habrán dado cuenta de que cuerpos se resisten a cambiar de estado de movimiento.

- ¿Esa resistencia es una propiedad de los cuerpos?

- Si, y se le llama inercia.

## PASEANDO POR LA CALLE.

- Hoy sentí difícil la clase de física.
- Tenemos que pensar mucho respecto a esa segunda ley de Newton, que nos enseñaron.
- ¡Hola, muchachos! ¿porqué tienen caras largas?
- Estamos meditando.
- ¿En qué meditan?, ¿respecto del alma de los cangrejos?
- En la segunda ley de Newton. Todavía no la entiendo bien eso de que la fuerza es igual a la masa por la aceleración.
- Permítanme explicarla. Primero veamos la aceleración. Observen cuando pateo esta piedra. ¿Qué le sucedió a la piedra?
- Empezó a moverse.
- Sí, se aceleró.
- ¿Y si le doy una patada más fuerte, qué ocurre?
- También se acelera.
- Sí, pero, ¿cómo se compara esta aceleración con la anterior?
- No sé.
- Cuando le dí una patada con fuerza, la piedra se movió con mayor velocidad que cuando la paté despacio, ¿verdad?
- Así fue.
- En los dos casos, la piedra estaba en reposo antes de darle la patada.
- Sí.
- Si, como resultado de cada patada, la piedra cambió de velocidad, ¿cómo fue mayor el cambio?
- Pues, cuando adquirió mayor velocidad; y eso fue cuando la pateaste más fuerte.
- Y recordaran que mientras mayor sea el cambio de

velocidad de un cuerpo, mayor será su aceleración.

- Entonces, cuando le diste la patada más fuerte, la piedra se movió con mayor aceleración, ¿sí?
- Así es, preciosa; a mayor fuerza aplicada, mayor aceleración del cuerpo.
- Ah!, ahora sí entendí.
- Si se midieran las fuerzas y las aceleraciones se encontraría que, aplicar una fuerza doble, la aceleración resulta doble; si la fuerza aumenta al triple, la aceleración se triplica, etc. es decir, la aceleración es proporcional a la fuerza aplicada.
- Entonces Newton realizó este tipo de experimentos y obtuvo que la aceleración es proporcional a la fuerza?
- No, Newton no efectuó estos experimentos. Antes de explicarles qué hizo, vamos a ver qué sucede con la masa, ¿de acuerdo?
- De acuerdo.
- Supongan que una pelota, se está moviendo a 30 km/hr (8.33 m/seg), y que en 5 seg la detienen con la mano.
- Muy fácil. En la casa tengo una manopla y soy muy bueno para atrapar pelotas.
- Eso no me interesa. Lo que quiero si puedes detenerla en ese tiempo.
- Sí, sí puedo.
- Bien. Ahora supongamos que un camión se mueve a 30 km/hr y que lo quieren detener en 5 seg, ¿lo podrían hacer?
- ¿De qué otra cosa?
- De ninguna manera. ¿En qué estás pensando?
- Al intentarlo, lo más probable sería que nos atropellara. Concluimos que la pelota, si la podemos detener, mientras que al camión no, de acuerdo?
- ¿Sí, pero que nos quieres decir?

- Bueno, miren, tanto el camión como la pelota cambian su velocidad de 30 km/hr a 0 km/hr.

- Sus cambios de velocidad son iguales.

- Y además experimentan estos cambios en el mismo tiempo, 5 segundos.

- Exacto, fíjense que tenemos dos cuerpos a los que queremos dar las mismas aceleraciones.

- Pero si hay aceleración, quiere decir, que se aplica una fuerza.

- Y a uno si se la podemos dar, mientras que al otro no.

- Sí, dicho de otra forma, debemos aplicar a cada cuerpo, una fuerza para detenerlo y, a pesar de que tienen las mismas aceleraciones, podemos aplicarle la fuerza necesaria a la pelota, pero no tenemos la fuerza que se requiere para detener el camión.

- Eso quiere decir, ¿qué además de la aceleración, las fuerzas también dependen de otra cosa?

- Así es.

- ¿De qué otra cosa?

- Igual que en el caso de la aceleración, si se midiera la fuerza que es necesaria aplicarle a un cuerpo para que tenga cierta aceleración, se encontraría que si su masa aumenta al doble, la fuerza también debe aumentar al doble. Y si la masa aumenta al triple, la fuerza también aumenta al triple.

La fuerza es proporcional a la masa, además de ser proporcional a la aceleración.

- Por lo tanto, juntando los dos aspectos, matemáticamente se expresa como sigue: Si la fuerza aplicada a un cuerpo la denotamos con la letra  $F$ , su masa con la letra  $m$  y la aceleración resultante la  $a$ , tendremos que:

$$F = ma$$

despejando la aceleración ( $a$ ), obtenemos:

$$a = F/m$$

que es la expresión matemática de la segunda ley de Newton:

La aceleración producida a un cuerpo es proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa.

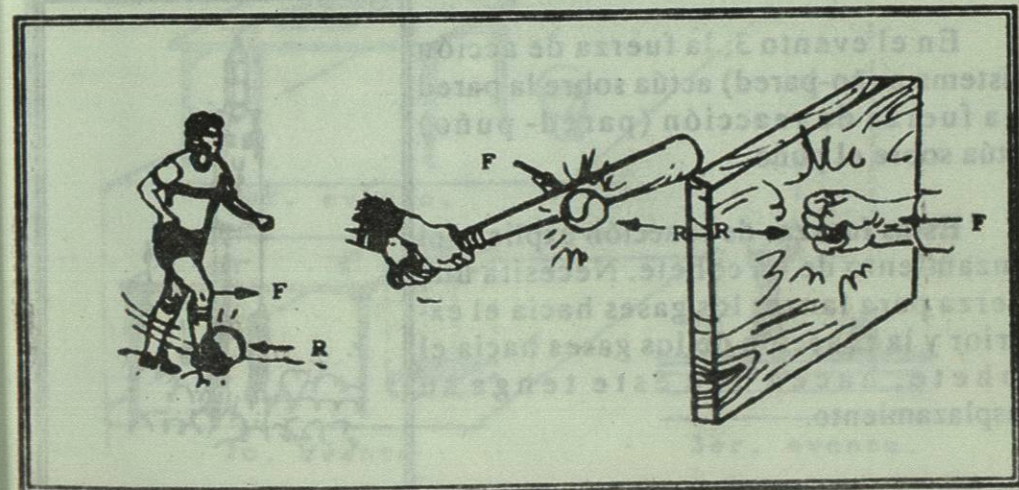
## 1-12 EJEMPLOS DE LA TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO.

Esta ley de Isaac Newton establece que a toda fuerza de acción se opone otra fuerza en sentido contrario y de igual magnitud llamada reacción.

En la aplicación e interpretación de esta ley hay que tener mucho cuidado, ya que las dos fuerzas actúan en cuerpos distintos; jamás en el mismo cuerpo.

Este principio se puede ilustrar con los siguientes ejemplos.

10. Al golpear con el pie un balón de fútbol que está en reposo, adquiere una velocidad por lo regular hacia adelante del pateador, pero también el pateador siente un pequeño retroceso y hasta un pequeño dolor en su pie.



2o. Al golpear en pleno centro, a una pelota por medio de un bate, dicha pelota sale hacia adelante del bateador y el bate sufre un retroceso ( que se siente en las manos del bateador).

3o. Si se golpea la pared con el puño, en la pared casi no se nota la fuerza aplicada, pero en el puño si se siente.

En los tres casos (el balón, la pelota y la pared) están recibiendo una fuerza, pero al mismo tiempo estos cuerpos están regresando otra fuerza igual y en sentido contrario al pie, al bate y al puño.

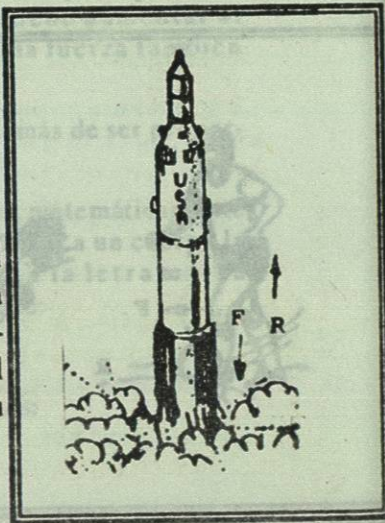
Aunque no existe una determinación de cuál es la fuerza de acción y cuál es la fuerza de reacción, analicemos los eventos.

En el evento 1, la fuerza de acción actúa sobre la pelota (sistema pie-balón) y la fuerza de reacción (sistema balón-pie) actúa sobre el pie. Si las dos fuerzas actuaran sobre el balón, éste no se movería de modo que se anularían por ser iguales y de sentido contrario.

En el evento 2, la fuerza de acción (sistema bate-pelota) actúa sobre la pelota y la fuerza de reacción (sistema pelota-bate) actúa sobre la pelota.

En el evento 3, la fuerza de acción (sistema puño-pared) actúa sobre la pared y la fuerza de reacción (pared-puño) actúa sobre el puño.

Estas fuerzas de reacción explican el lanzamiento de un cohete. Necesita una fuerza para lanzar los gases hacia el exterior y la reacción de los gases hacia el cohete, hacen que éste tenga su desplazamiento.



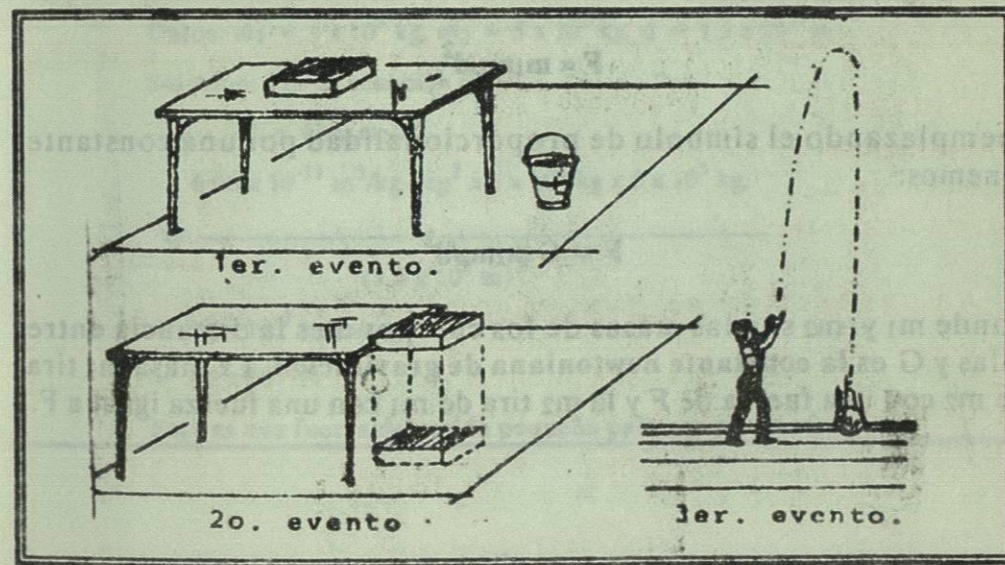
Por lo tanto, es importante hacer notar que las fuerzas de acción y reacción expuestas en la tercera ley de Newton sobre el movimiento actúan sobre cuerpos diferentes.

Además, que un cuerpo esté en reposo o en movimiento depende de las fuerzas que sobre él actúan y no de las fuerzas que provoque dicho cuerpo sobre otros. En general, la fuerza de acción en cualquier sistema, siempre será aquella que produzca movimiento o algún cambio al sistema analizado. La fuerza de reacción será aquella que se oponga a la fuerza de acción y estará actuando en el cuerpo que aplique la acción.

Ejemplo. En el evento 1, el movimiento del balón depende del golpe del pie sobre él y no de la reacción del balón sobre el pie; y en el evento 2, la pelota viaja por la fuerza del bate sobre ella.

### 1-13 LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Constantemente hemos observado los siguientes eventos:



1o. Que un cuerpo que está sobre una mesa o sobre el piso, y que al quererlo levantar necesitamos ejercer una fuerza, por lo menos igual a su peso.

2o. Si ese cuerpo sobre la mesa la llevamos hasta un poca más allá de la orilla, cae (nunca se eleva).

3o. Si arrojamos un cuerpo hacia arriba, llega un momento en que no sube, sino que empieza a caer.

Con un caso similar, Isaac Newton analizó la existencia de algo que en realidad provocaba que el cuerpo permaneciera como pegado (evento 1), que se dirigiera hacia la superficie de la Tierra (evento 2) y que se opusiera a seguir subiendo y después se acelerara hacia la superficie de la Tierra (evento 3); se estableció lo que se conoce como la ley de la gravitación Universal.

§ Cualquier par de cuerpos se atraen uno al otro con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

Algebraicamente:

$$F \propto m_1 m_2 / d^2$$

reemplazando el símbolo de proporcionalidad por una constante tenemos:

$$F = G m_1 m_2 / d^2$$

donde  $m_1$  y  $m_2$  son las masas de los cuerpos  $d$  es la distancia entre ellas y  $G$  es la constante newtoniana de gravitación. La masa  $m_1$  tira de  $m_2$  con una fuerza de  $F$  y la  $m_2$  tira de  $m_1$  con una fuerza igual a  $F$ .

La constante newtoniana de gravitación tiene los siguientes valores:

En el sistema M.K.S.:

$$G = 6.66 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg seg}^2$$

$$G = 6.66 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

En el sistema c.g.s.:

$$G = 6.66 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g seg}^2$$

$$G = 6.66 \times 10^{-8} \text{ dinas cm}^2/\text{g}^2$$

Para tener una idea clara de la magnitud de las fuerzas gravitacionales, consideremos los siguientes ejemplos.

Ejemplo 7.

Calcular la fuerza de atracción entre dos cuerpos de  $5 \times 10^5$  kg da uno separados  $1.5 \times 10^2$  m.

Datos:  $m_1 = 5 \times 10^5$  kg,  $m_2 = 5 \times 10^5$  kg,  $d = 1.5 \times 10^2$  m.

Solución: Por la ecuación (7):

$$F = G m_1 m_2 / d^2$$
$$= \frac{6.66 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg-seg}^2 \times 5 \times 10^5 \text{ kg} \times 5 \times 10^5 \text{ kg}}{(1.5 \times 10^2 \text{ m})^2}$$

$$= 7.4 \times 10^{-4} \text{ kg m/seg}^2$$

$$= 7.4 \times 10^{-4} \text{ N}$$

Esta es una fuerza demasiado pequeña para ser detectada.