Colisiones
Principios de conservación
Experimentos

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Master en Educación.
Santander, enero 2019

Principios de conservación

Principio de conservación del momento lineal
Principio de conservación de la energía cinética
Principio de conservación de la energía del universo
Principio de conservación del momento angular

Primer principio de la termodinámica
Segundo principio de la termodinámica

Colisiones elásticas

Cuerpo 1 igual a cuerpo 2. Cuerpo 2 en reposo

$$r = \frac{m_1}{m_2} = 1$$

Cuerpo 1 se detiene. Cuerpo 2 se mueve con la velocidad inicial del 1.

Proceso reproducible.

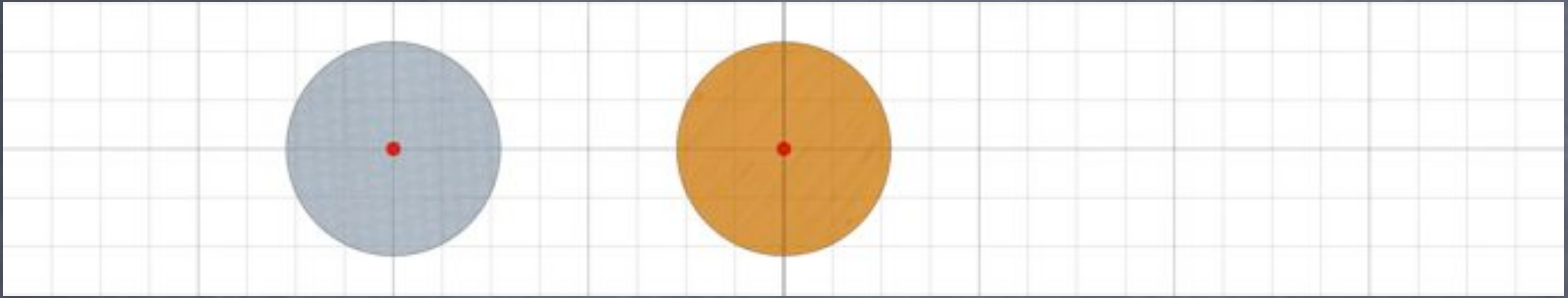
Colisiones elásticas

Cuerpo 1 más pesado que el cuerpo 2. Cuerpo 2 en reposo

$$r = \frac{m_1}{m_2} > 1$$

Cuerpo 1 no se detiene. Cuerpo 2 se mueve con velocidad final

Colisiones elásticas



Cuerpo 1 mucho más pesado que el cuerpo 2. Cuerpo 2 en reposo

$$r = \frac{m_1}{m_2} = 20$$

Cuerpo 1 no se detiene. Cuerpo 2 se mueve con el doble de velocidad que el 1

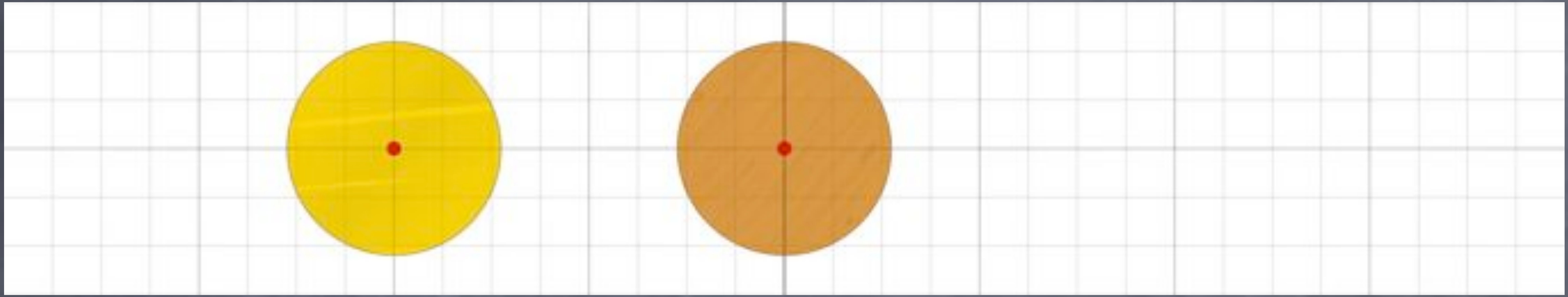
Colisiones elásticas

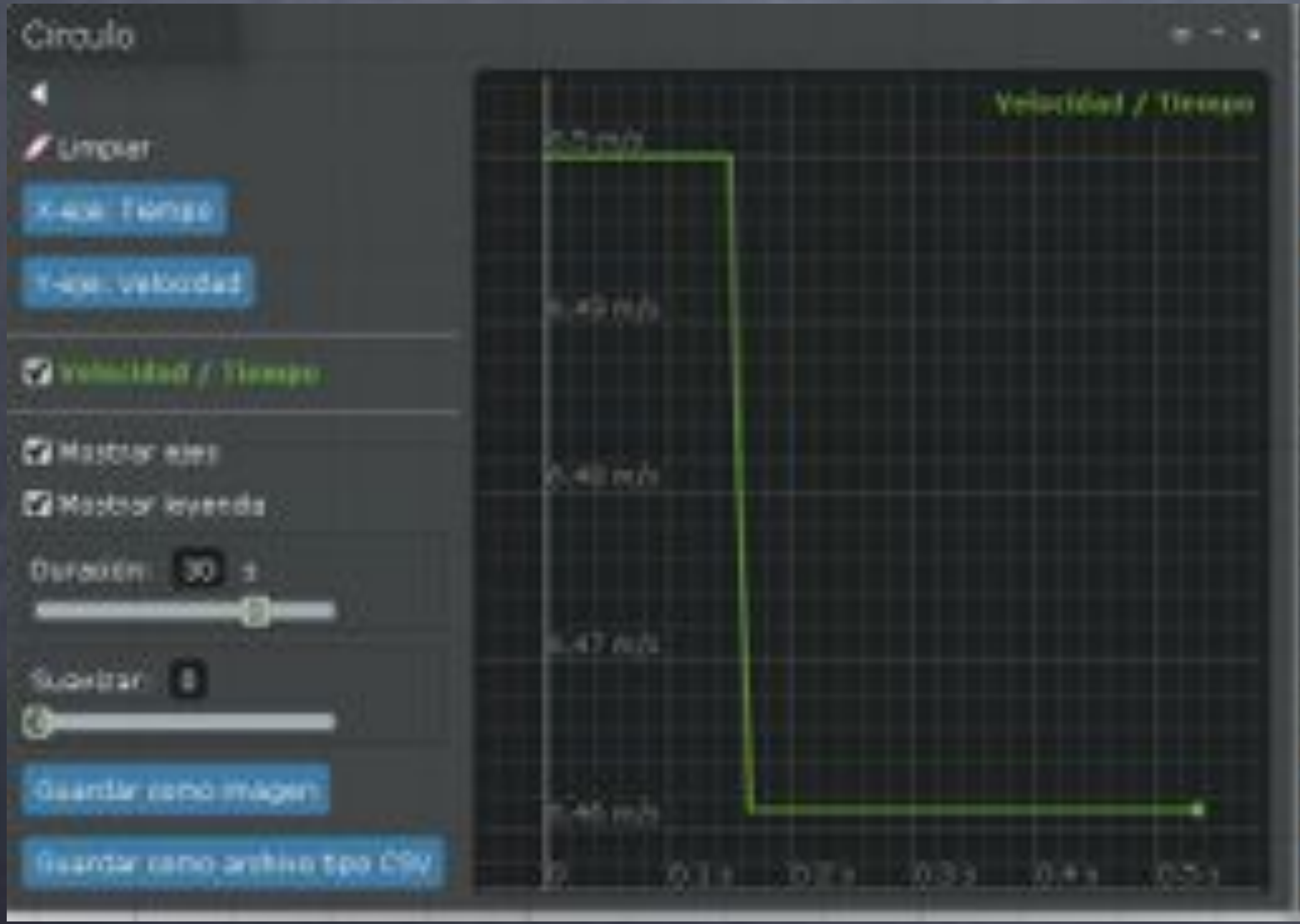
$$r = \frac{m_1}{m_2} = 20$$

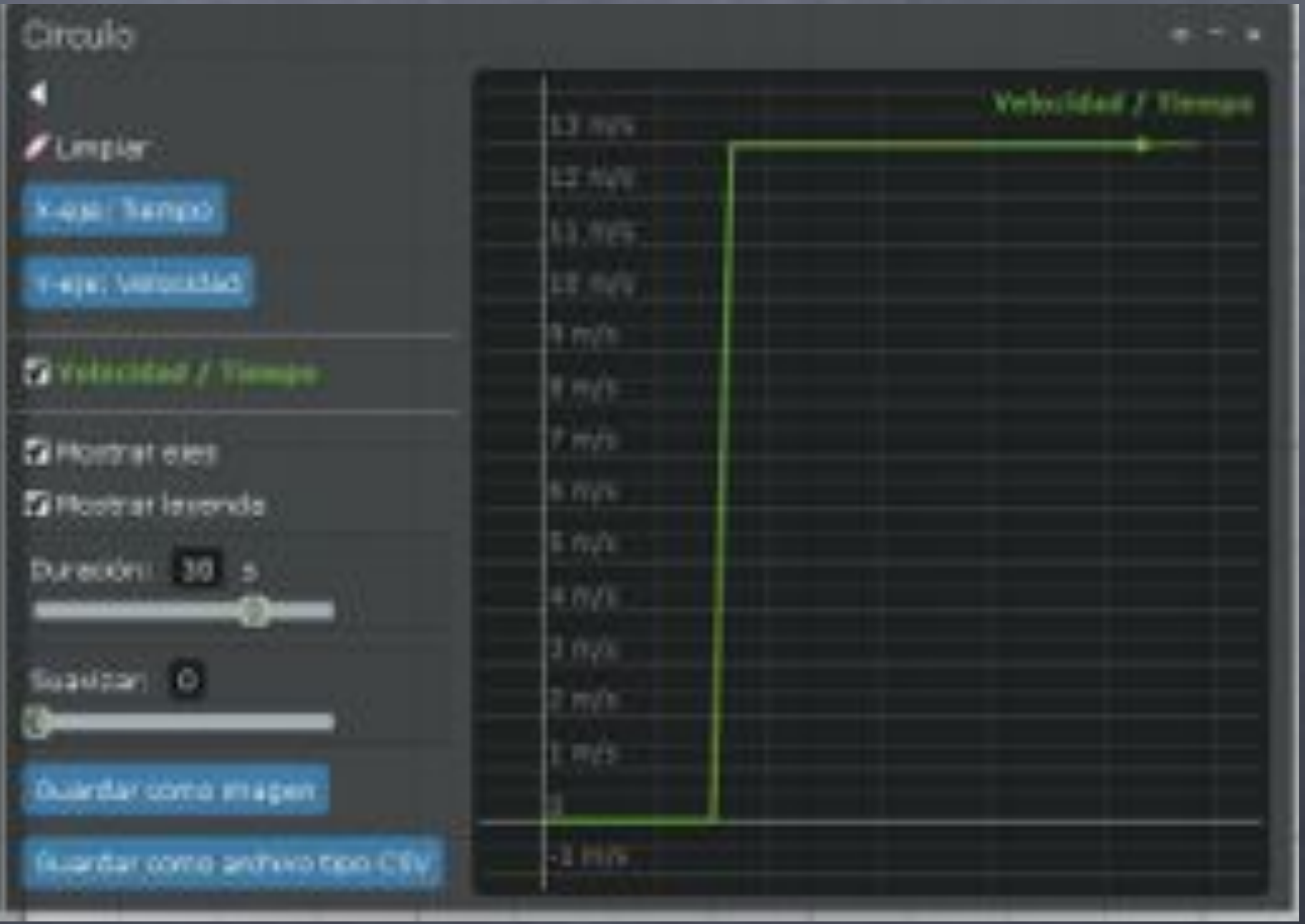
Cuerpo 1 no se detiene. Cuerpo 2 se mueve con el doble de velocidad que el 1

¿Hay alguna limitación a la transferencia de velocidad (energía)?

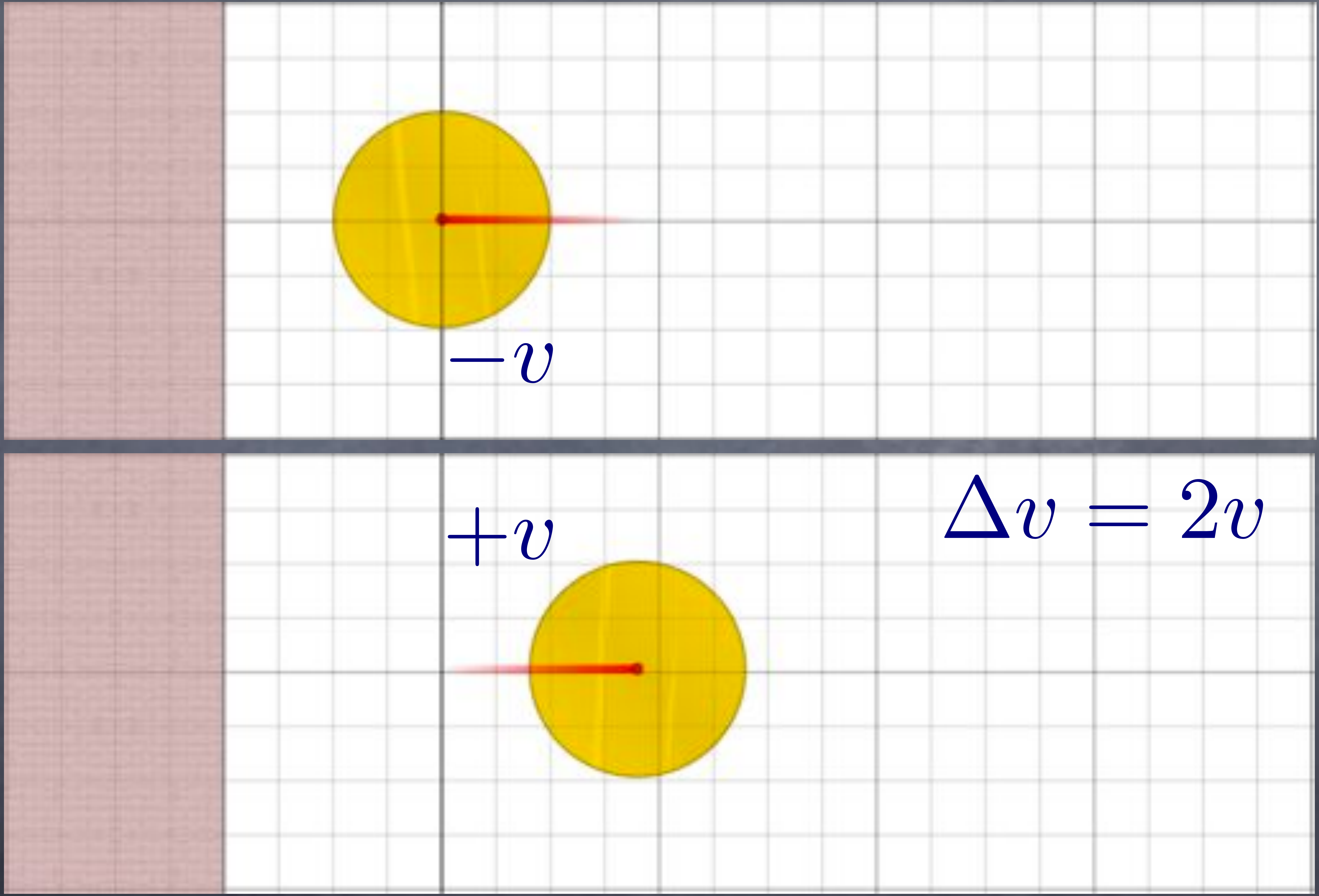
Colisiones elásticas







Choque elástico contra una pared



Jean Buridan

Nació en 1300 en Betune (Francia). Cursó estudios en la universidad de París, donde tuvo como maestro al filósofo escolástico inglés Guillermo de Ockham. Fue nombrado profesor de filosofía y más tarde rector de la misma universidad. Célebre por sus trabajos de lógica acerca del descubrimiento del término medio entre del silogismo y en la determinación de la naturaleza de la libertad psicológica. Se le atribuye el dilema del "asno de Buridan", que estando el asno situado a igual distancia de dos montones idénticos de paja y la pobre bestia murió de hambre porque no tenía base racional alguna para preferir una pila u otra. Falleció en 1358.

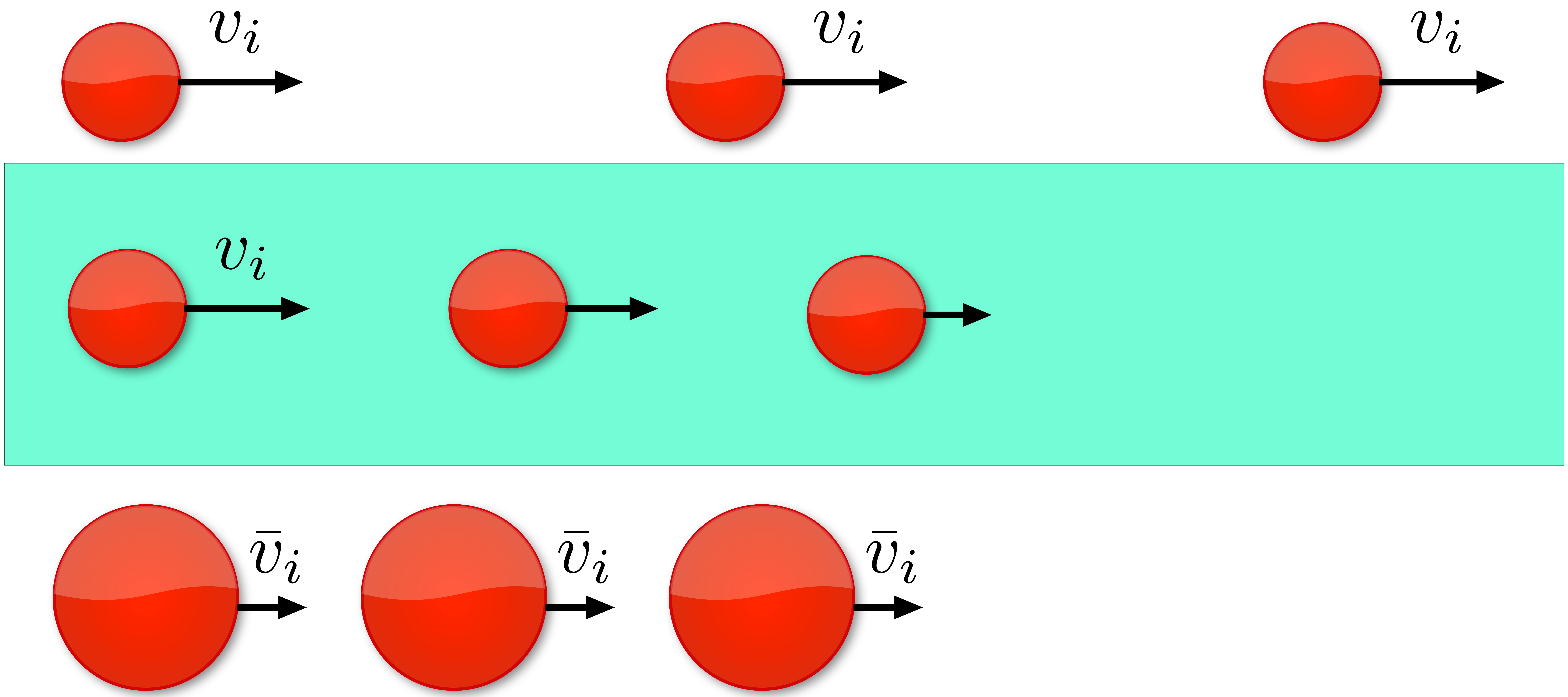
Teoría del Impetus

Cuando un cuerpo es lanzado, adquiere un cierto impetus.

El impetus es proporcional a la masa del cuerpo y a la velocidad que ha adquirido.

Los cuerpos celestes recibieron su impetus durante la

Teoría del Impetus



Cuando un cuerpo es lanzado, adquiere un cierto impetus.

Teoría del Impetus

Un cuerpo en caída libre adquiere impetus por la fuerza de la gravedad, a la vez que mantiene el ímpetus adquirido.

Su velocidad debe ir aumentando.

Explicación de los fenómenos

Colisiones

Colisiones elásticas

Hay que asignar propiedades a los cuerpos

En una colisión influye la masa del cuerpo que se lanza

En una colisión influye la velocidad del cuerpo que se lanza

Al cuerpo se le asocia un momento lineal

$$p = mv$$

Explicación de los fenómenos
Colisiones

Principio de conservación del momento lineal.

En una colisión elástica, el momento lineal inicial, suma de todos los momentos lineales iniciales, es igual al momento lineal final, suma de todos los momentos iniciales finales.

$$\sum_{\mathrm{i}} p_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{f}} p_{\mathrm{f}}$$

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

$$r = \frac{m_1}{m_2}$$

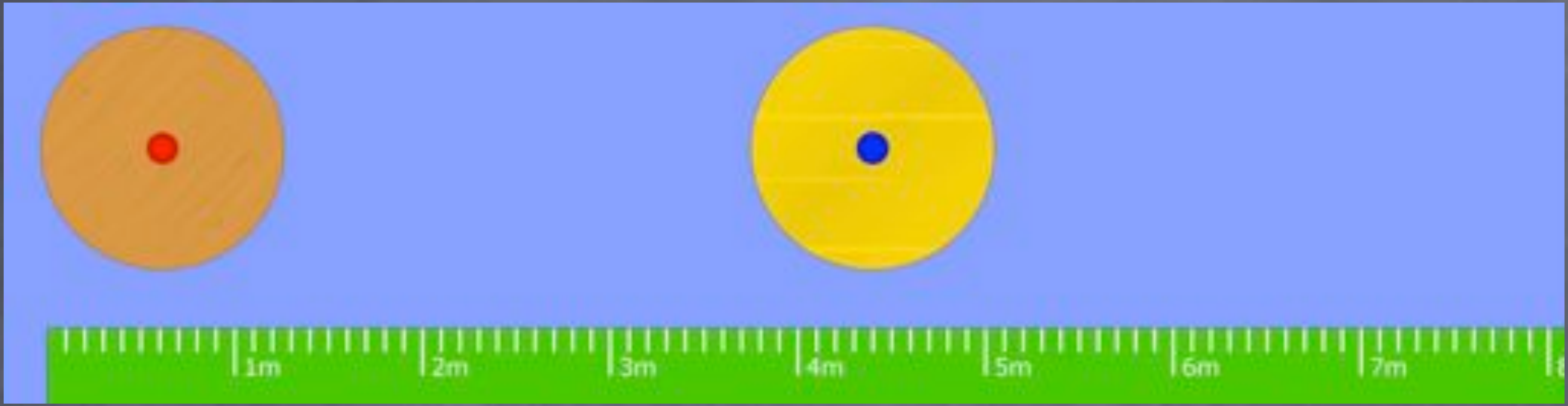
$r = 1$	$\bar{v}_1 = 0$	$\bar{v}_2 = v$
$r = 2$	$\bar{v}_1 = \frac{1}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{4}{3}v$
$r = 3$	$\bar{v}_1 = \frac{1}{2}v$	$\bar{v}_2 = \frac{3}{2}v$
$r = 10$	$\bar{v}_1 = \frac{9}{11}v$	$\bar{v}_2 = \frac{20}{11}v$
$r = \infty$	$\bar{v}_1 = v$	$\bar{v}_2 = 2v$

$r = 2$	$\bar{v}_1 = \frac{1}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{4}{3}v$
$2v$	$2\frac{1}{3}v + \frac{4}{3}v = 2v$	
$r = 10$	$\bar{v}_1 = \frac{9}{11}v$	$\bar{v}_2 = \frac{20}{11}v$
$10v$	$10\frac{9}{11}v + \frac{20}{11}v = 10v$	

Se comprueba numéricamente que se conserva el momento lineal.

El momento lineal inicial es igual al momento lineal final.

Colisiones elásticas



Cuerpo 1 menos pesado que el cuerpo 2. Cuerpo 2 en reposo

$$r = \frac{m_1}{m_2} < 1$$

Cuerpo 1 velocidad negativa. Cuerpo 2 se mueve con velocidad final

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

$r = \frac{1}{2}$	$\bar{v}_1 = \frac{1}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{2}{3}v$
$r = \frac{1}{3}$	$\bar{v}_1 = \frac{1}{2}v$	$\bar{v}_2 = \frac{1}{2}v$
$r = \frac{1}{5}$	$\bar{v}_1 = \frac{2}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{1}{3}v$
$r = \frac{1}{10}$	$\bar{v}_1 = \frac{9}{11}v$	$\bar{v}_2 = \frac{2}{11}v$
$r = 0$	$\bar{v}_1 = v$	$\bar{v}_2 = 0$

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

---

$$r = \frac{1}{5} \qquad \bar{v}_1 = \frac{2}{3}v \qquad \bar{v}_2 = \frac{1}{3}v$$

$$p_\mathrm{i} = \frac{1}{5}v \qquad p_\mathrm{f} = \frac{1}{5}\frac{2}{3}v + \frac{1}{3}v = \frac{7}{15}v \approx \frac{2,3}{5}v$$

Choques elásticos cuerpo ligero contra cuerpo pesado en reposo.

$$\sum_{\mathrm{i}} p_{\mathrm{i}} \neq \sum_{\mathrm{f}} p_{\mathrm{f}}$$

¡No se conserva el momento lineal!

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

$r = \frac{1}{2}$	$\bar{v}_1 = -\frac{1}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{2}{3}v$
$r = \frac{1}{3}$	$\bar{v}_1 = -\frac{1}{2}v$	$\bar{v}_2 = \frac{1}{2}v$
$r = \frac{1}{5}$	$\bar{v}_1 = -\frac{2}{3}v$	$\bar{v}_2 = \frac{1}{3}v$
$r = \frac{1}{10}$	$\bar{v}_1 = -\frac{9}{11}v$	$\bar{v}_2 = \frac{2}{11}v$
$r = 0$	$\bar{v}_1 = -v$	$\bar{v}_2 = 0$

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

$$r = \frac{1}{5} \qquad \bar{v}_1 = -\frac{2}{3}v \qquad \bar{v}_2 = \frac{1}{3}v$$

$$p_{\mathrm{i}} = \frac{1}{5}v \qquad p_{\mathrm{f}} = -\frac{1}{5}\frac{2}{3}v + \frac{1}{3}v = \frac{3}{15}v = \frac{1}{5}v$$

Para que se conserve el momento lineal en un choque elástico entre un cuerpo ligero y uno más pesado en reposo, es necesario asignar signo a la velocidad, positivo o negativo.

La velocidad es una magnitud vectorial.

Al cuerpo se le asocia un momento lineal

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

El momento lineal es una magnitud vectorial.

Se lanza un cuerpo con velocidad inicial contra un cuerpo en reposo

$$r = \frac{1}{3} \qquad \bar{v}_1 = -\frac{1}{2}v \qquad \bar{v}_2 = \frac{1}{2}v$$

$$\frac{1}{3}v \qquad -\frac{1}{3}\frac{1}{2}v + \frac{1}{2}v = \frac{1}{3}v$$

$$r = \frac{1}{10} \qquad \bar{v}_1 = -\frac{9}{11}v \qquad \bar{v}_2 = \frac{2}{11}v$$

$$\frac{1}{10}v \qquad -\frac{1}{10}\frac{9}{11}v + \frac{2}{11}v = \frac{1}{10}v$$

Se comprueba numéricamente que se conserva el momento lineal.
El momento lineal inicial es igual al momento lineal final.

Explicación de los fenómenos
Colisiones

Principio de conservación del vector momento lineal.

En una colisión elástica, el vector momento lineal inicial, suma de todos los vectores momentos lineales iniciales, es igual al vector momento lineal final, suma de todos los vectores momentos finales.

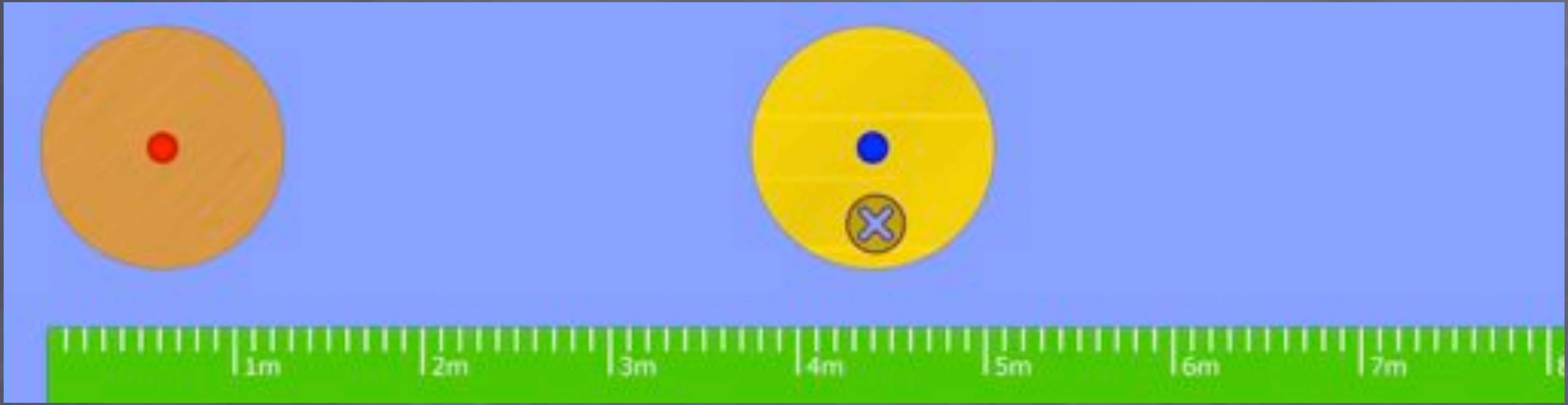
$$\sum_{\mathrm{i}} \vec{p}_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{f}} \vec{p}_{\mathrm{f}}$$

Principio de inercia de Galileo

Si sobre un cuerpo no se ejerce ninguna fuerza, su estado, de reposo o de movimiento con velocidad uniforme, se mantiene.

Si sobre un sistema de cuerpos no se ejerce ninguna fuerza externa, el estado de su centro-de-masas, de reposo o de movimiento con velocidad uniforme, se mantiene.

Choque elástico bola-pared



Cuerpo 2 es una pared.

$$r = \frac{m_1}{m_2} = 0$$

Cuerpo 1 invierte su velocidad

Cuando un cuerpo ligero choca elásticamente contra una pared, el momento lineal varía

$$\Delta\vec{p} = -2m\vec{v}$$

Aparentemente, el momento lineal de la pared no varía. Por tanto, parece que no se conserva el momento lineal en este choque

Newton resuelve la contradicción admitiendo que el efecto de la pared sobre la bola es ejercer un impulso (fuerza por tiempo) sobre ella tal que

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$$

Segunda ley de Newton.

El momento lineal de un cuerpo varía si se ejerce un impulso, producto de una fuerza por el intervalo de tiempo que se está aplicando, sobre él

$$\vec{F}_{\mathrm{p}\to\mathrm{b}}\Delta t = \Delta\vec{p}$$

La fuerza es un vector

Tercera ley de Newton

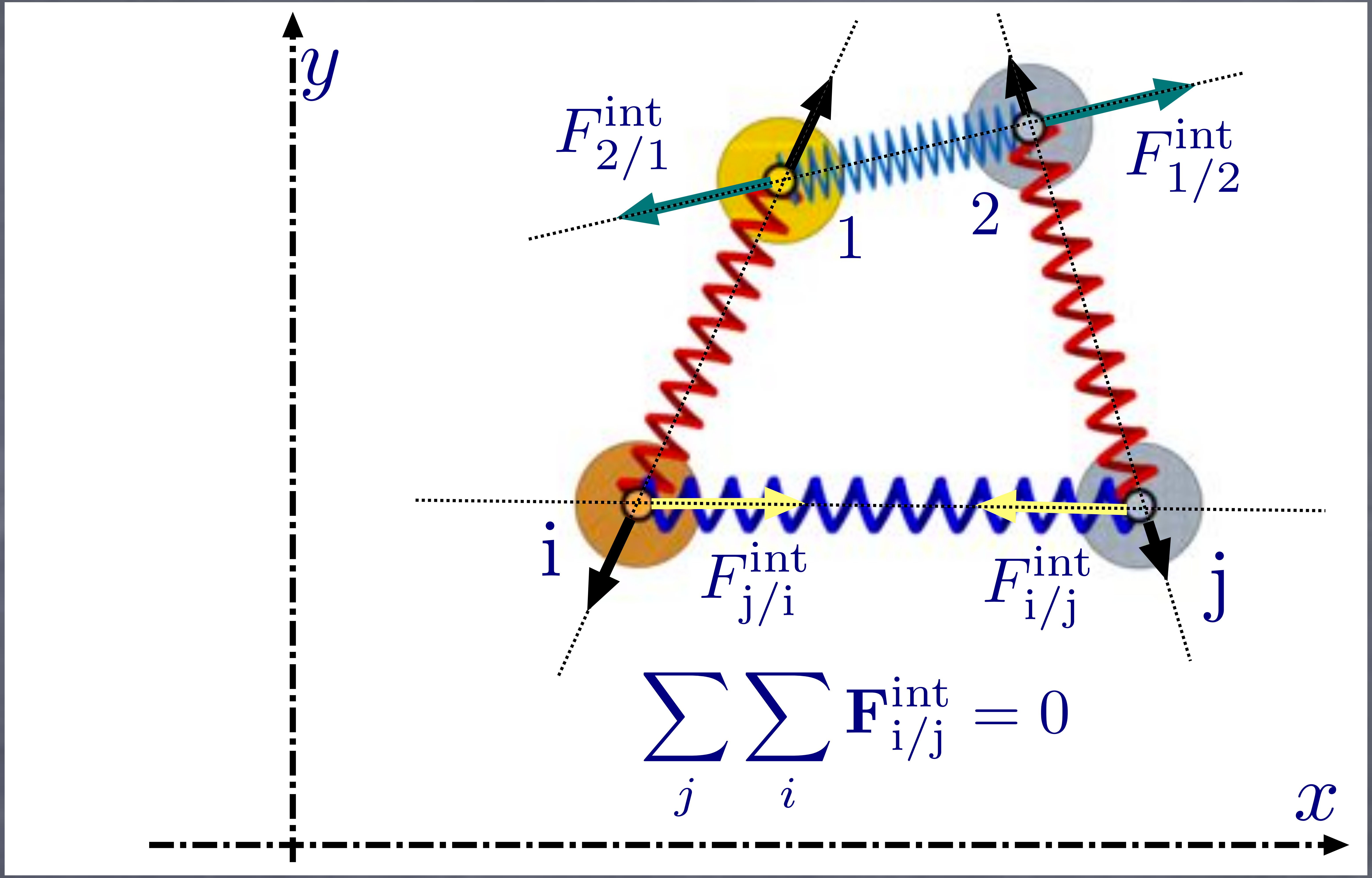
$$\vec{\bar{\bar{F}}}_{\mathrm{p}\to\mathrm{b}}\Delta t = \Delta\vec{p}$$

$$\Delta\vec{p} - \vec{\bar{\bar{F}}}_{\mathrm{p}\to\mathrm{b}}\Delta t = 0$$

$$\Delta\vec{p}_{\mathrm{p}} = \vec{\bar{\bar{F}}}_{\mathrm{b}\to\mathrm{p}}\Delta t$$

$$\vec{\bar{\bar{F}}}_{\mathrm{p}\to\mathrm{b}} = -\vec{\bar{\bar{F}}}_{\mathrm{b}\to\mathrm{p}}$$

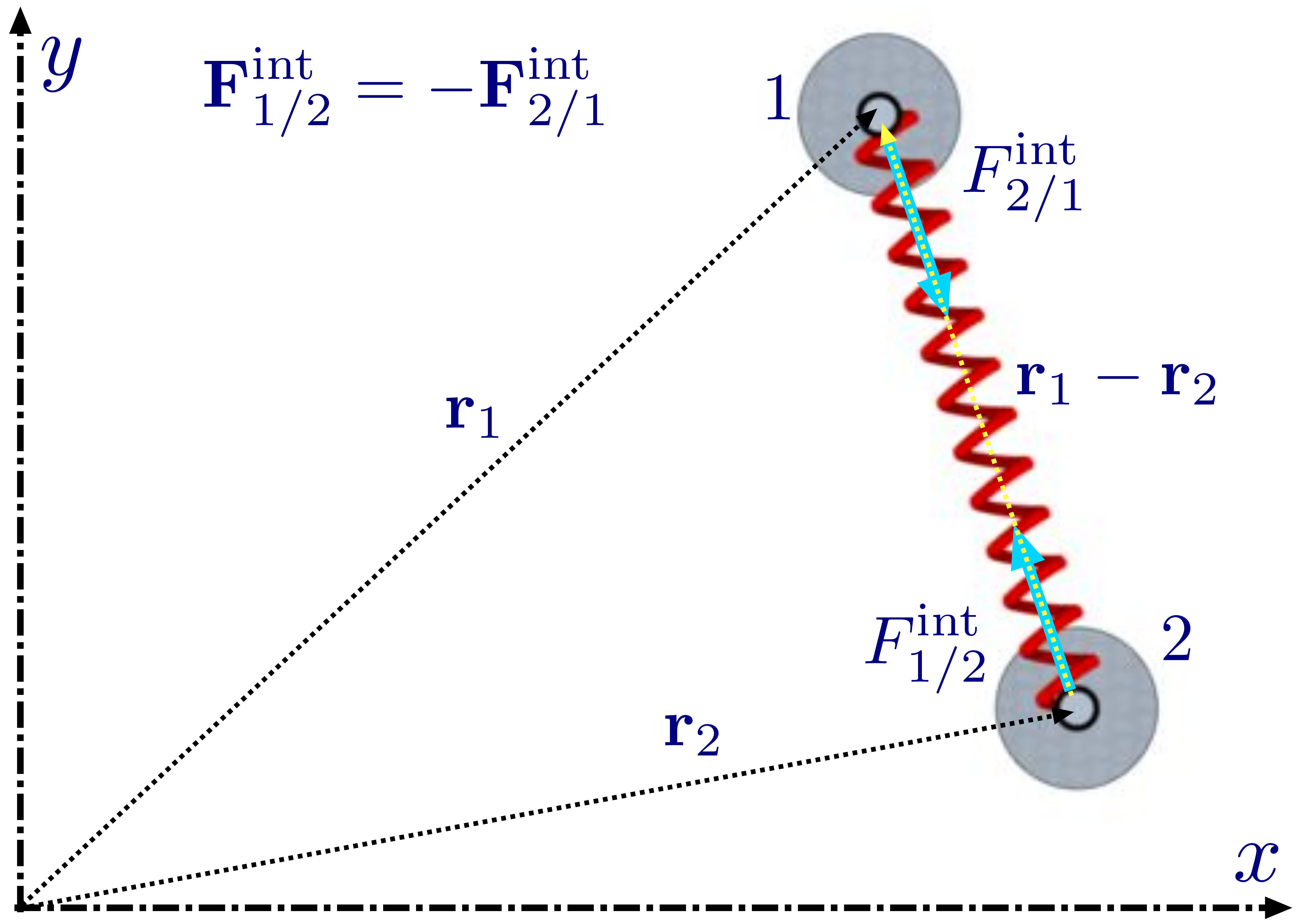
Las fuerzas siempre se ejercen a pares. Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce una fuerza igual y de sentido contrario sobre el primero



Tercera ley de Newton. Principio de superposición.

Fuerzas iguales, y de sentido contrario, a pares, aplicadas sobre cuerpos diferentes.

Cada cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo con independencia de las fuerzas que ejerzan los demás cuerpos presentes.



$$\mathbf{r}_1 \times \mathbf{F}^{\text{int}}_{2/1} + \mathbf{r}_2 \times \mathbf{F}^{\text{int}}_{1/2} = (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2) \times \mathbf{F}^{\text{int}}_{1/2} = 0$$

Tercera ley de Newton (fuerte). Momentos

La suma de los momentos de las fuerzas internas es cero

Hipótesis

Principio de conservación del momento lineal

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$m_1 v + 0 = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$$

$$\sum_{\mathrm{i}} \vec{p}_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{f}} \vec{p}_{\mathrm{f}}$$

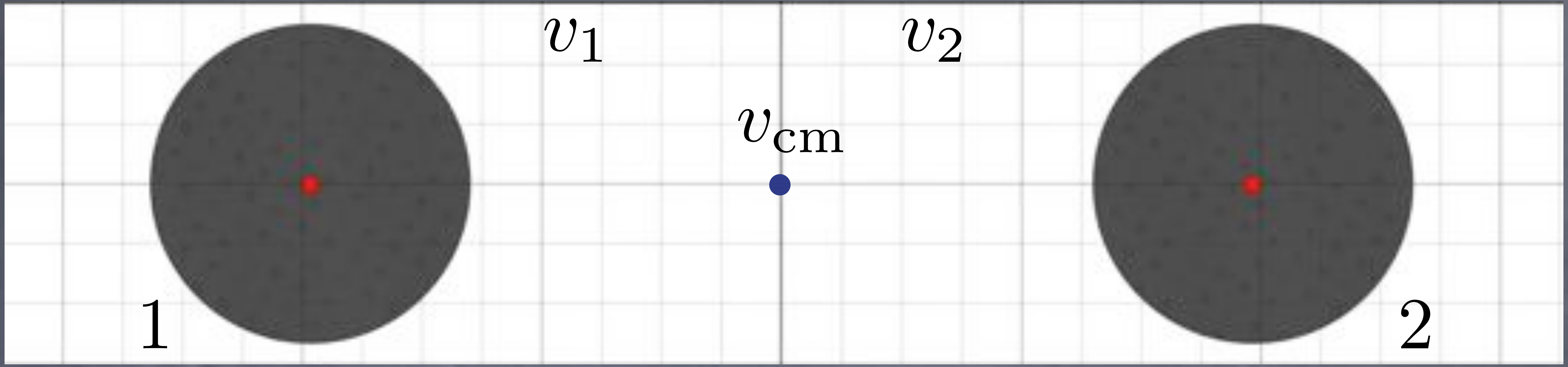
Capacidad explicativa (se explican las velocidades finales obtenidas), pero no predictiva (no se pueden obtener las velocidades finales)

Colisiones inelásticas

Cuerpo 1 igual al cuerpo 2. Cuerpo 2 en reposo

El grupo se mueve con la mitad de la velocidad inicial

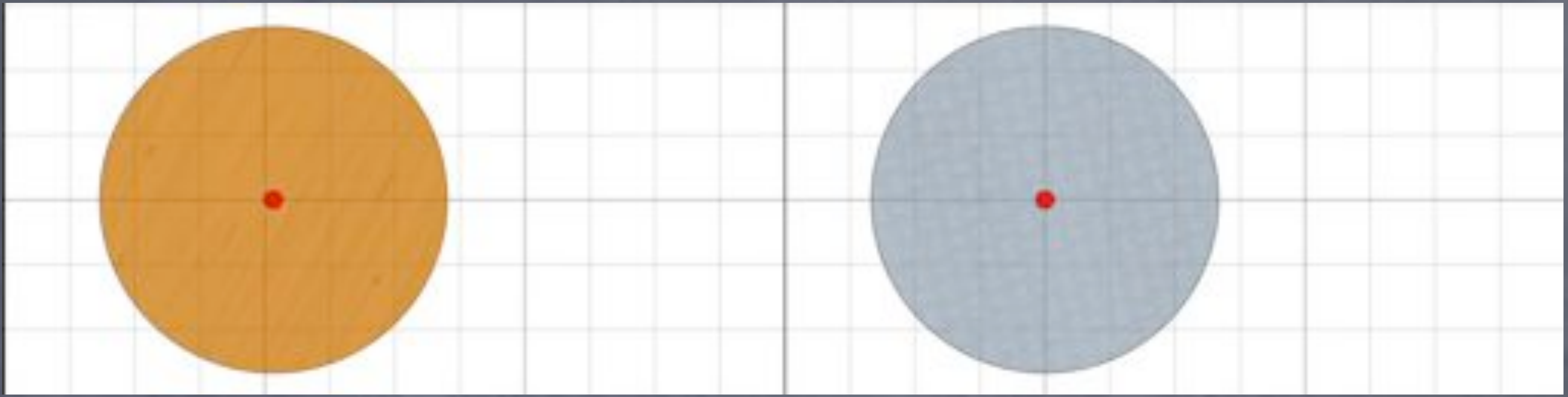
Colisiones inelásticas. Referencial cm



Cuerpo 1 igual al cuerpo 2. Velocidades opuestas

El grupo se detiene. Se pierde toda la energía cinética del sistema.

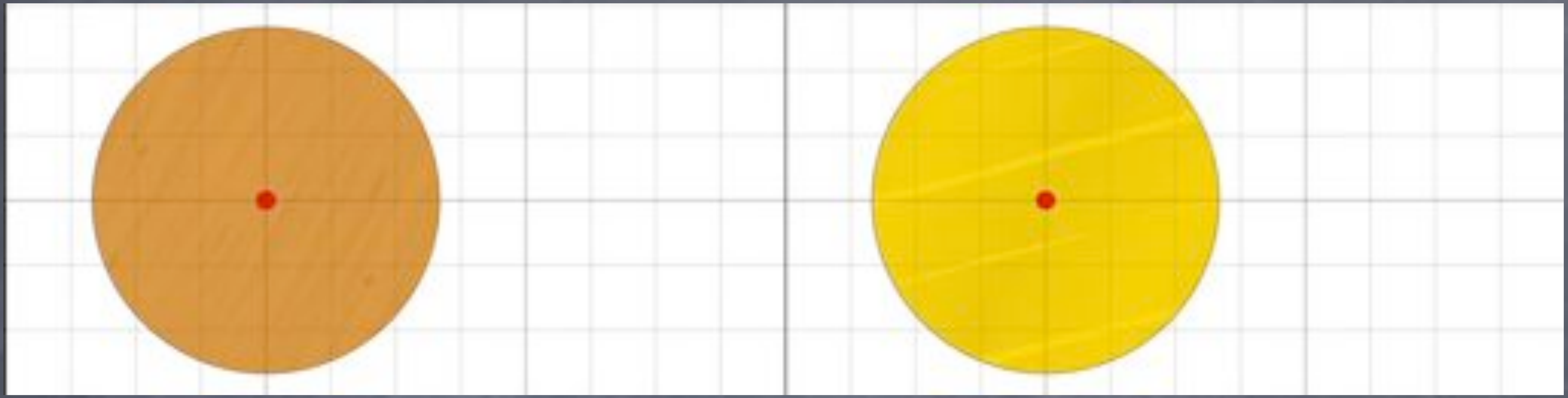
Colisiones inelásticas



Cuerpo 1 mucho menos pesado que el cuerpo 2.
Cuerpo 2 en reposo

El grupo se mueve con muy poca velocidad

Colisión inelástica contra pared



Cuerpo 1 y cuerpo 2 pared

Se pierde toda la energía cinética inicial

Colisión inelástica

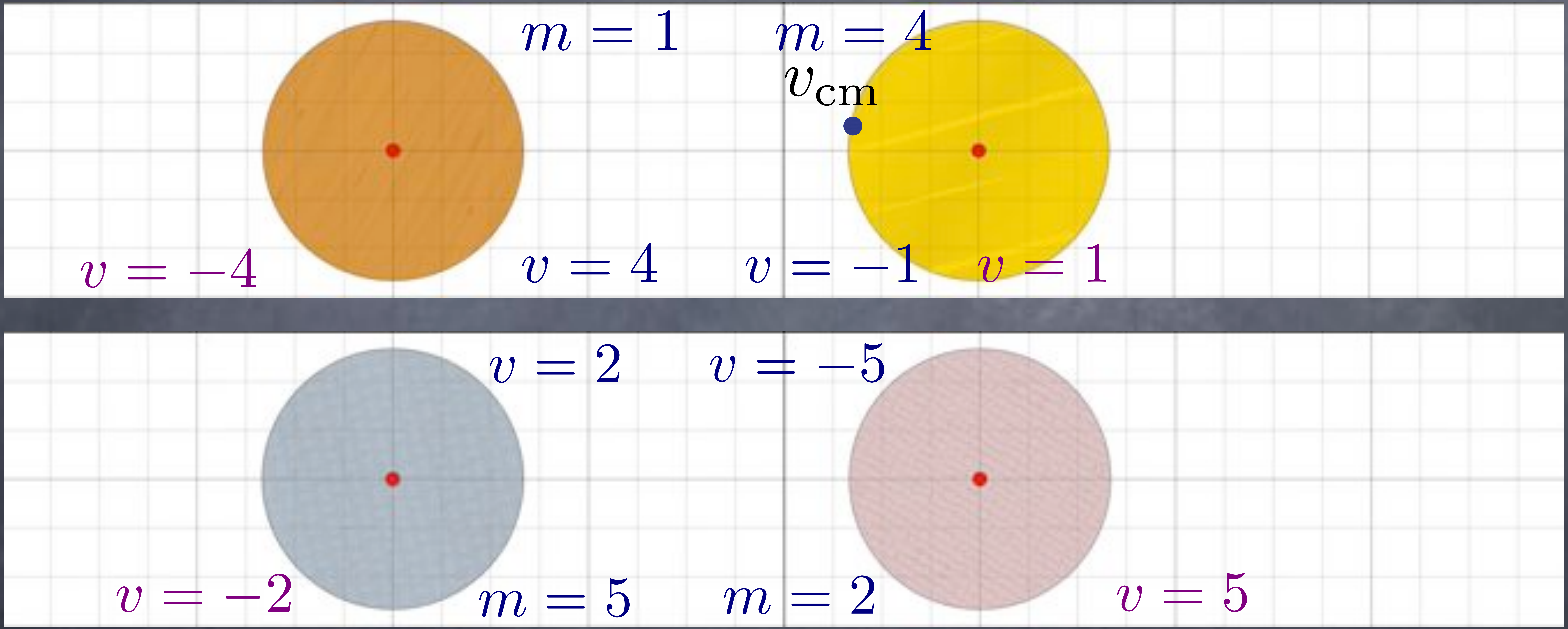
$$m_1 v + 0 = (m_1 + m_2)\bar{v}$$

$$\bar{v} = \frac{v}{1 + r^{-1}}$$

$r = 1$	$\bar{v} = \frac{1}{2}v$
$r = 3$	$\bar{v} = \frac{3}{4}v$
$r = \frac{1}{3}$	$\bar{v} = \frac{1}{4}v$

Colisiones elásticas

Sistema de referencia de momento lineal nulo



Las velocidades se invierten

Christiaan Huygens

(La Haya, 1629-id., 1695) Matemático, astrónomo y físico holandés.

Huygens adquirió una pronta reputación en círculos europeos por sus publicaciones de matemáticas y por sus observaciones astronómicas. Destacan, sobre todo, el descubrimiento del mayor satélite de Saturno, Titán (1650), y la correcta descripción de los anillos de Saturno, que llevó a cabo en 1659.

En 1673 se publicó su famoso estudio sobre El reloj de péndulo, brillante análisis matemático de la dinámica pendular en el que se incluyeron las soluciones completas a problemas como el período de oscilación de un péndulo simple y las leyes de la fuerza centrífuga para un movimiento circular uniforme. Contemporáneo de Isaac Newton, su actitud mecanicista le impidió aceptar la idea de fuerzas que actúan a distancia.

El mayor logro de Huygens fue el desarrollo de la teoría ondulatoria de la luz, descrita ampliamente en el Traité de la lumière (1690), y que permitía explicar los fenómenos de la reflexión y refracción de la luz mejor que la teoría corpuscular de Newton.

Colisiones elásticas

Principio de conservación del momento lineal

$$\sum_{\mathrm{i}} \vec{p}_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{f}} \vec{p}_{\mathrm{f}}$$

Se necesita una hipótesis adicional para poder predecir las velocidades finales de los cuerpos.

Principio de conservación de la energía cinética

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\sum_{\mathrm{i}} K_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{j}} K_{\mathrm{j}}$$

Christiaan Huygens

Fuerza por desplazamiento

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} mv\mathrm{d}v$$

Christiaan Huygens

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$\vec{v} \cdot \mathrm{d}\vec{v} = \frac{1}{2}\mathrm{d}v^2$$

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \frac{1}{2} m \mathrm{d}v^2 = \frac{1}{2} m (v_{\mathrm{f}}^2 - v_{\mathrm{i}}^2)$$

Christiaan Huygens

Trabajo variación de la energía cinética

$$\int_{\mathrm{i}}^{\mathrm{f}} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \frac{1}{2} m (v_{\mathrm{f}}^2 - v_{\mathrm{i}}^2)$$

Principio de conservación de la energía cinética

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\sum_{\mathrm{i}} K_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{f}} K_{\mathrm{f}}$$

Colisiones elásticas

Principio de conservación del momento lineal

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_j \vec{p}_j$$

Principio de conservación de la energía cinética

$$\sum_i K_i = \sum_j K_j$$

Dos ecuaciones, dos incógnitas

$$m_1 v + 0 = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$$

$$\frac{1}{2} m_1 v^2 + 0 = \frac{1}{2} m_1 \bar{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \bar{v}_2^2$$

Colisiones elásticas

$$m_1 v + 0 = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$$

$$\frac{1}{2} m_1 v^2 + 0 = \frac{1}{2} m_1 \bar{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \bar{v}_2^2$$

$$r = \frac{m_1}{m_2}$$

Velocidades finales

$$\bar{v}_1 = \frac{r-1}{r+1} v \qquad \bar{v}_2 = \frac{2r}{r+1} v$$

Capacidad explicativa y predictiva

Colisiones elásticas. Principio de relatividad

$$m_1(v-V)+m_2(0-V)=m_1(\bar{v}_1-V)+m_2(\bar{v}_2-V)$$

$$\downarrow$$

$$m_1 v + 0 = m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2$$
$$+$$
$$-V(m_1+m_2 = m_1+m_2)$$

Conservación del momento lineal

Colisiones elásticas. Principio de relatividad

$$\frac{1}{2}m_1(v-V)^2+\frac{1}{2}m_2(0-V)^2=\frac{1}{2}m_1(\bar{v}_1-V)^2+\frac{1}{2}m_2(\bar{v}_2-V)^2$$

$$\downarrow$$

$$\frac{1}{2}m_1v^2+0=\frac{1}{2}m_1\bar{v}_1^2+\frac{1}{2}m_2\bar{v}_2^2$$

$$+$$

$$-V\Big(m_1v+0=m_1\bar{v}_1+m_2\bar{v}_2\Big)$$

$$+$$

$$\frac{1}{2}V^2\Big(m_1+m_2=m_1+m_2\Big)$$

Conservación de la energía cinética

Colisiones inelásticas

$$\bar{v} = \frac{v}{1 + r^{-1}}$$

$$r = 3 \qquad \bar{v} = \frac{3}{4} v$$

$$K_i = \frac{3}{2} v^2 \qquad K_f = \frac{1}{2} 4 \frac{9}{16} v^2 = \frac{9}{8} v^2 \qquad \Delta K = -\frac{3}{8} v^2$$

$$r = \frac{1}{3} \qquad \bar{v} = \frac{1}{4} v$$

$$K_i = \frac{1}{6} v^2 \qquad K_f = \frac{1}{2} \frac{4}{3} \frac{1}{16} v^2 = \frac{1}{24} v^2 \qquad \Delta K = -\frac{1}{8} v^2$$

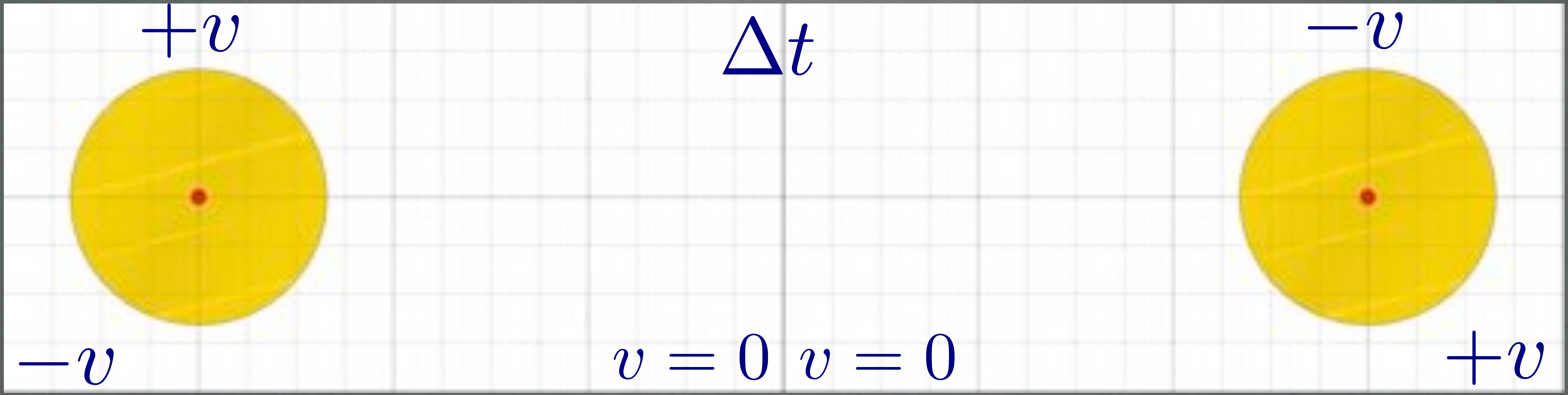
Colisiones inelásticas

$$\bar{v} = \frac{v}{1 + r^{-1}}$$

Capacidad predictiva pero no explicativa

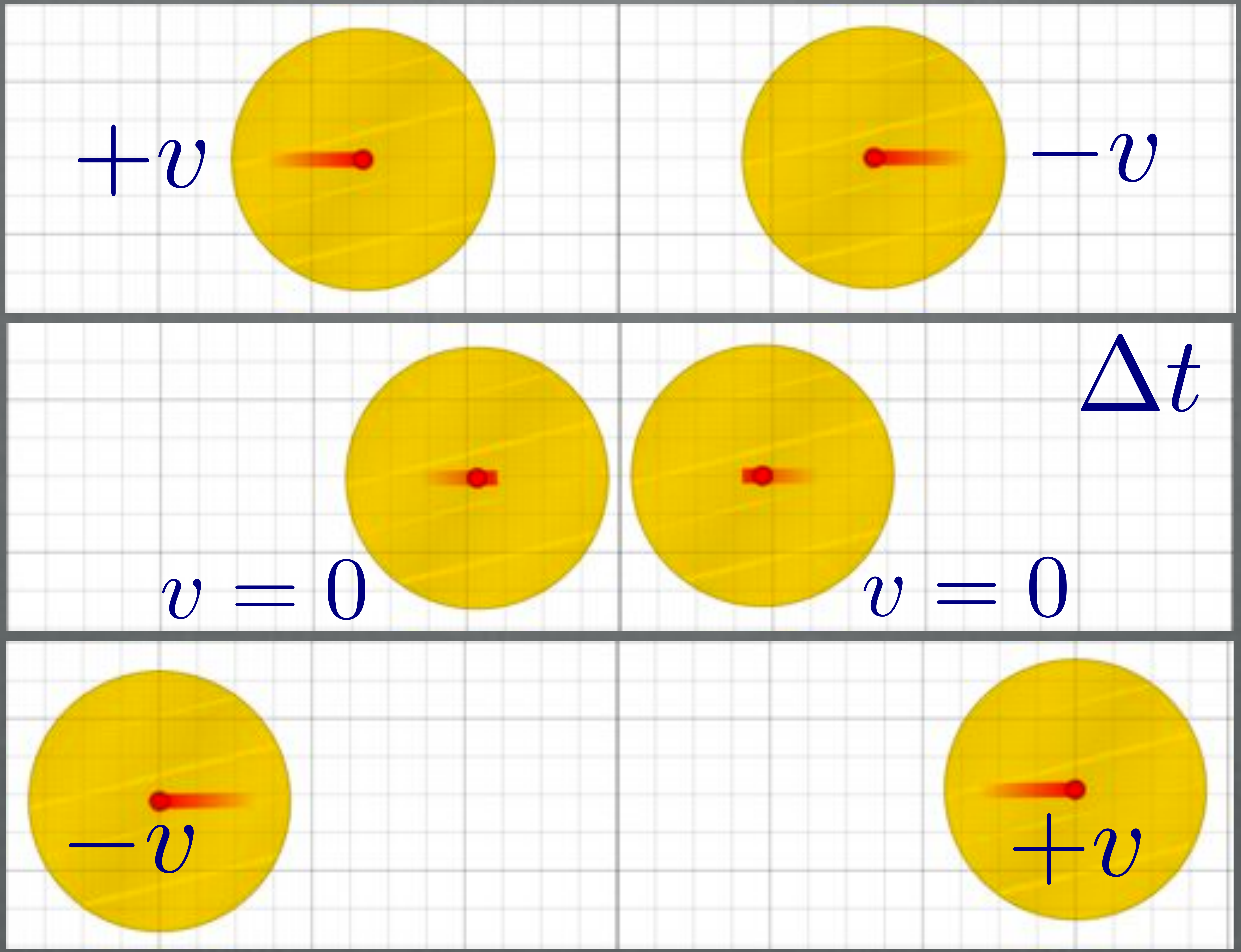
Se conserva el momento lineal, pero se destruye energía cinética, energía mecánica.

Choque elástico. Energía interna



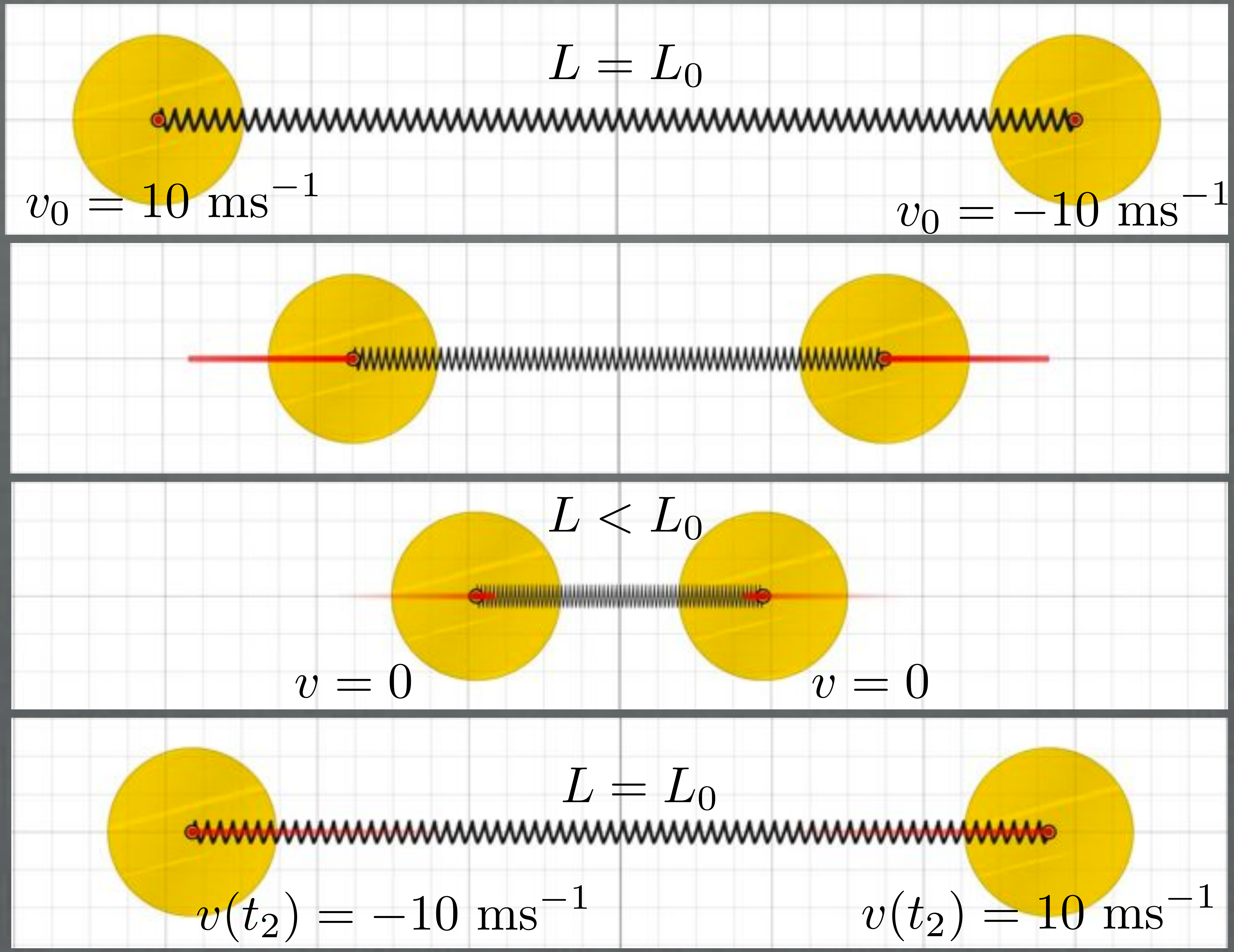
Durante el choque elástico de dos bolas, la energía cinética disminuye y por un instante, desaparece.

Choque elástico. Energía interna

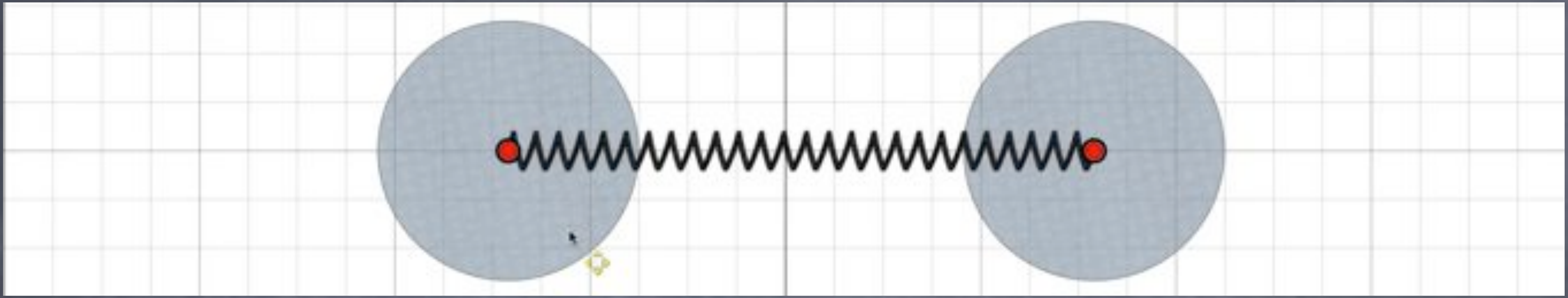


Durante el choque elástico de dos bolas, la energía cinética disminuye y por un instante, desaparece.

Choque elástico. Energía interna



Dos cuerpos unidos por un muelle

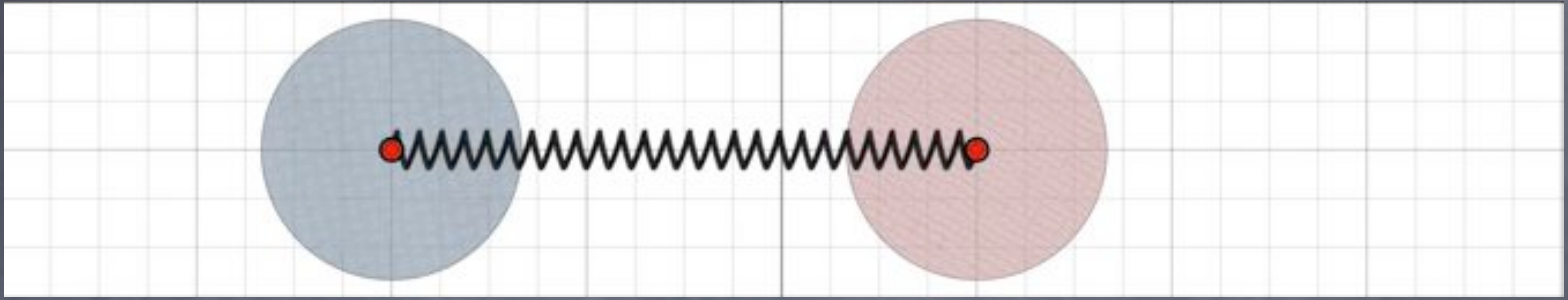


$$0 = m_{\rm c}\bar{v}_{\rm c} + m_{\rm p}\bar{v}_{\rm p}$$

$$0 \neq \frac{1}{2}m_{\rm c}\bar{v}_{\rm c}^2 + \frac{1}{2}m_{\rm p}\bar{v}_{\rm p}^2$$

Se conserva el momento lineal, y se produce energía cinética

Dos cuerpos unidos por un muelle

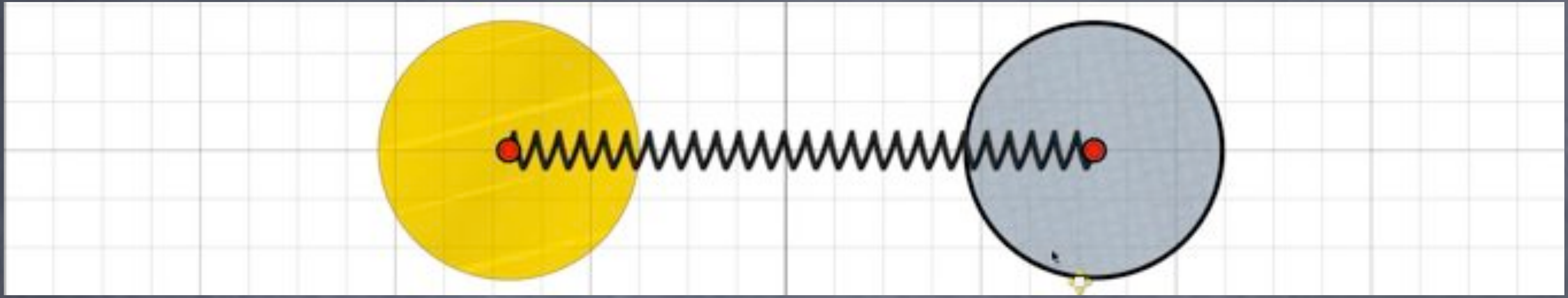


$$0 = m_{\mathrm{c}}\bar{v}_{\mathrm{c}} + m_{\mathrm{p}}\bar{v}_{\mathrm{p}}$$

$$0 \neq \frac{1}{2}m_{\mathrm{c}}\bar{v}_{\mathrm{c}}^{2} + \frac{1}{2}m_{\mathrm{p}}\bar{v}_{\mathrm{p}}^{2}$$

Se conserva el momento lineal, y se produce energía cinética

Lanzamiento de un proyectil por un cañón



$$0 = m_{\mathrm{c}}\bar{v}_{\mathrm{c}} + m_{\mathrm{p}}\bar{v}_{\mathrm{p}}$$

$$0 \neq \frac{1}{2}m_{\mathrm{c}}\bar{v}_{\mathrm{c}}^2 + \frac{1}{2}m_{\mathrm{p}}\bar{v}_{\mathrm{p}}^2$$

Se conserva el momento lineal, y se produce energía cinética

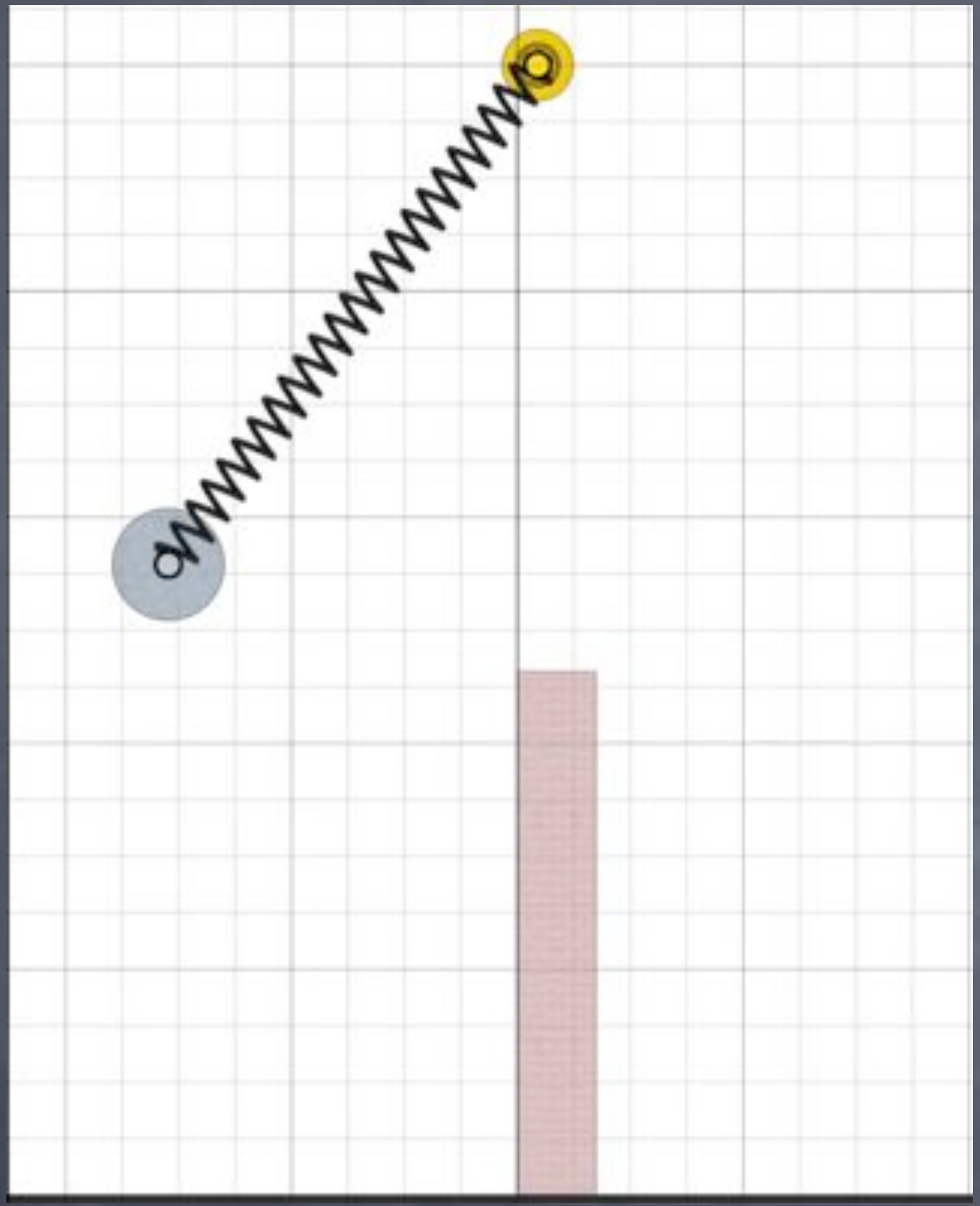
Cuando uno de los cuerpos que intervienen en la colisión tiene masa infinita,

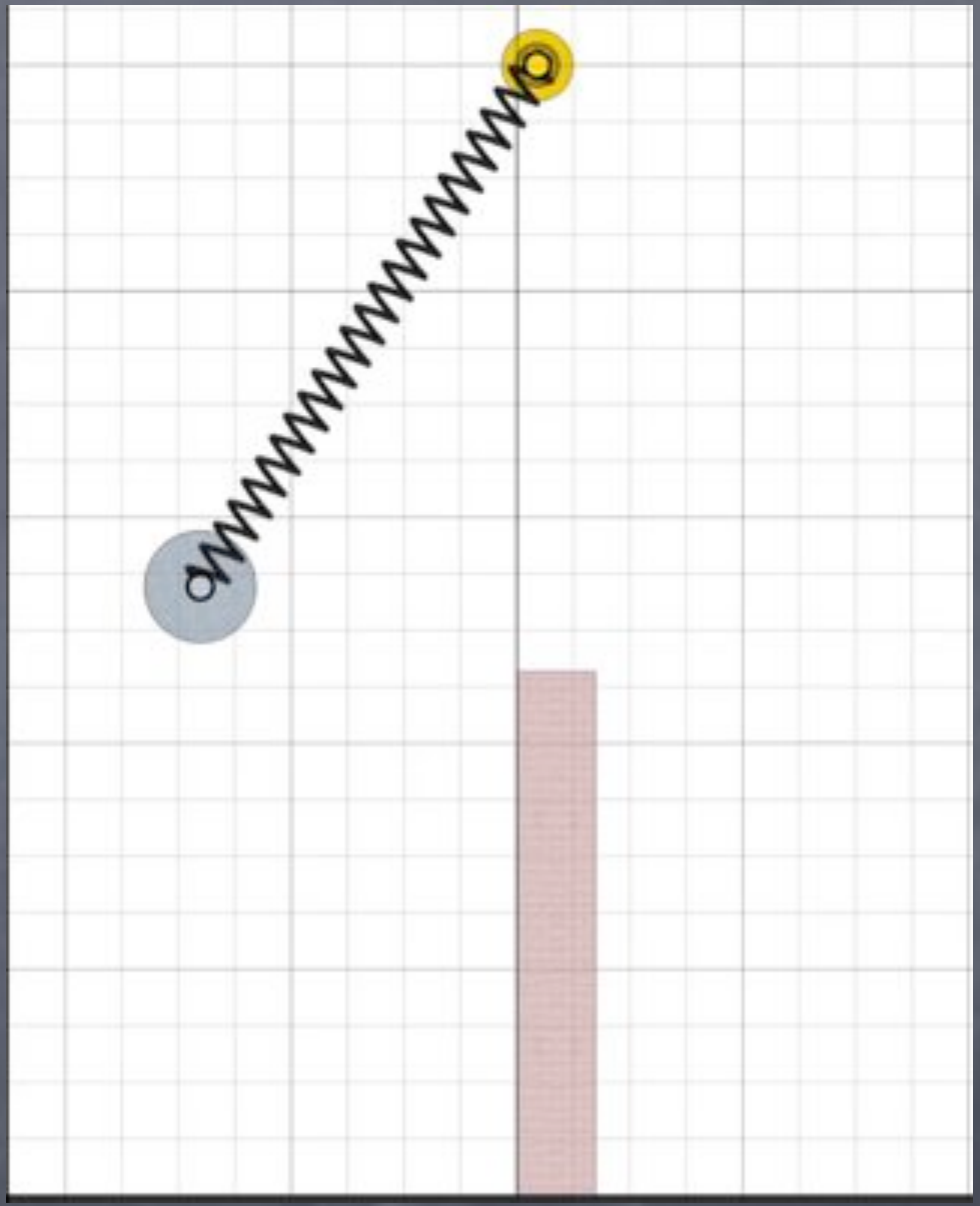
$$\lim_{m_2\to\infty,\bar{v}_2\to 0} m_2\bar{v}_2 = -F\Delta t$$

$$\lim_{m_2\to\infty,\bar{v}_2\to 0} \frac{1}{2}m_2\bar{v}_2^2 = 0$$

$$\Delta\vec{p}_1 = \vec{F}\Delta t$$

Choques y leyes de Newton





En un choque elástico el impulso ejercido es el doble que en el mismo choque inelástico. La variación del momento lineal de cada cuerpo es el doble que en un choque inelástico

Conclusiones

El principio de conservación del momento lineal permite explicar los choques elásticos e inelásticos.

Para explicar los choques elásticos es necesario introducir el principio de conservación de la energía cinética.

La segunda ley de Newton, que introduce los conceptos de fuerza e impulso, permite explicar los choques entre objetos de masa finita y cuerpos de masa infinita.

Conclusiones

En los choques inelásticos no se cumple el principio de conservación de la energía cinética.

En procesos en los que intervienen muelles, se puede producir energía cinética, por lo que no se cumple el principio de conservación de la energía cinética.

Conclusiones

El momento lineal es un concepto mecánico.
Sólo hay un tipo de momento lineal.
El momento lineal no se camufla en modos microscópicos.
Principio de conservación del momento lineal

Hay muchos tipos de energías, mecánicas y no mecánicas.
La energía mecánica macroscópica se puede camuflar en modos microscópicos.
Principio de conservación de la energía (pero no de la energía mecánica)

Colisiones
Principios de conservación
Experimentos

FIN

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Master en Educación.
Santander, enero 2019