

PRACTICA DE LABORATORIO III-2

COLISIONES EN DOS DIMENSIONES

OBJETIVO

Estudio del movimiento en dos (2) dimensiones para comprobar:

- 1.- Conservación de la energía y del momento lineal en choques elásticos, parcialmente elásticos e inelásticos.
- 2.- Medición del coeficiente de restitución en los 3 casos.
- 3.- Conservación del momento angular en choques inelásticos.

MATERIALES

- Mesa de aire con su compresor
- Discos de diferentes tamaños, masas y con o sin imanes.
- Discos con cierre mágico para colisión inelástica.
- Una balanza
- Un estroboscopio
- Una cámara digital con abertura temporal variable.

ACTIVIDADES PRELIMINARES

- 1.- Demuestre que, en una colisión elástica entre dos cuerpos el ángulo entre las direcciones de propagación después del choque es 90° .
- 2.- Deduzca la expresión para el coeficiente de restitución ϵ en una colisión, en el sistema de laboratorio (inercial).

$$\epsilon = - \frac{|v'_1 - v'_2|}{|v_1 - v_2|}$$

Sugerencia: Demuestre primero que la energía cinética en el centro de masa T' es igual a:

$$T' = \frac{1}{2} \mu |\dot{\mathbf{r}}_1 - \dot{\mathbf{r}}_2|^2$$

4.- De la expresión para $\mathcal{E}$ deduzca la expresión equivalente en el centro de masa.

3.- Calcule el momento de inercia alrededor del centro de masa, de dos discos unidos en un punto tangente. Los discos rotan alrededor de un eje perpendicular a la superficie que los contiene.

FUNDAMENTOS TEORICOS*

Los estudios de las colisiones son de gran importancia en la física, particularmente en física atómica, nuclear y de altas energías. Mucho de lo que conocemos de las partículas elementales se deriva de colisiones especialmente preparadas para el descubrimiento o comprobación de modelos teóricos existentes. A continuación se destacan los resultados más relevantes para esta práctica. **La notación utilizada se especifica al final de la guía.**

Durante una colisión no siempre tenemos una relación que describe en forma analítica la fuerza involucrada –no podemos usar la 2da Ley de Newton- por tanto tenemos que hacer uso de principios de conservación para el análisis.

Si no existen fuerzas externas al sistema de las dos partículas, y sólo actúan fuerzas internas durante el instante de la colisión, la relación de conservación del momento lineal total se cumple y se expresa

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}'_1 + m_2 \mathbf{v}'_2 \quad (1)$$

Dado que la energía en la colisión es puramente cinética, su conservación en su forma más general se puede expresar de la siguiente forma: _____

*Seguidamente se tocan brevemente algunos aspectos de la física involucrada en una colisión. Usted debe investigar otras fuentes que desarrollan el tema con más profundidad. En el aula virtual se colocó un apéndice que tiene algunos resultados adicionales sin desarrollar la teoría en detalle.

$$\frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2'^2 + Q, (2)$$

donde cantidad Q en la ecuación (2), representa la pérdida de energía como resultado del choque. Cuando la colisión es perfectamente elástica, - si las fuerzas internas en el instante de la colisión son conservativas- no hay cambio en la energía cinética total, por lo tanto $Q=0$.

Si no conocemos la forma analítica de la fuerza involucrada en la colisión, las relaciones de conservación no son suficientes para describir teóricamente el sistema a partir de las masas y velocidades iniciales, excepto en 1^{na} dimensión. En 2 dimensiones, necesitamos 4 cantidades para describir las velocidades de los dos cuerpos –después del choque-, y solo contamos con la relación de conservación de la energía y las dos relaciones para $\hat{X}$ y $\hat{Y}$, de la conservación del momento. El problema sólo se resuelve midiendo algún dato adicional. En la práctica se puede medir lo que se denomina el coeficiente de restitución ϵ , que se define como el cociente de la diferencia entre las velocidades después y antes del choque, en el sistema de laboratorio (inercial).

$$\epsilon = - \frac{|v_1' - v_2'|}{|v_1 - v_2|} \quad (3)$$

De tal manera que :

$\epsilon = 1$	Colisión elástica ($Q=0$)
$\epsilon < 1$	Colisión parcialmente elástica ($Q \neq 0$)
$\epsilon = 0$	Colisión inelástica ($ v_1' = v_2' $)

-CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

El momento angular $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$ de un disco que rota y se desplaza en línea recta se puede separar en dos contribuciones.

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_{inercial} + \mathbf{L}_{CM}$$

En el término $\mathbf{L}_{CM}$, se trata de concentrar todas aquellas contribuciones debidas a que los distintos puntos del cuerpo, con sus respectivas velocidades de rotación, con respecto al centro de masa.

En el término $\mathbf{L}_{inercial}$ concentramos la contribución debida al desplazamiento del centro de masa a lo largo de una trayectoria. Para el caso de un disco moviéndose en un plano:

$$\mathbf{L} = m \mathbf{r}_{cm} \times \mathbf{v}_{cm} + I_C \boldsymbol{\omega} \quad (4).$$

Donde I_C es el momento de inercia del disco.

La evaluación experimental del momento angular en una colisión, entre dos cuerpos, trae consigo algunas preguntas interesantes. Por ejemplo:

- El disco que inicialmente se mueve en línea recta, sin rotar sobre si mismo, ¿tiene momento angular $\mathbf{L}_1 \neq \mathbf{0}$?.
- ¿Se conserva en momento lineal en una colisión entre dos discos, cuando uno o los dos están rotando?

A pesar de que el movimiento aparente entre dos discos que entran en colisión (como se muestra en la siguiente figura), parece ser descrito por una línea recta que une los centros de ambos, esta observación no es correcta. Mirando detenidamente al vector $\mathbf{r}_1$, del centro del disco en reposo al centro del disco en movimiento (disco 1), no es paralelo a $\mathbf{v}_1$ (velocidad del disco 1).

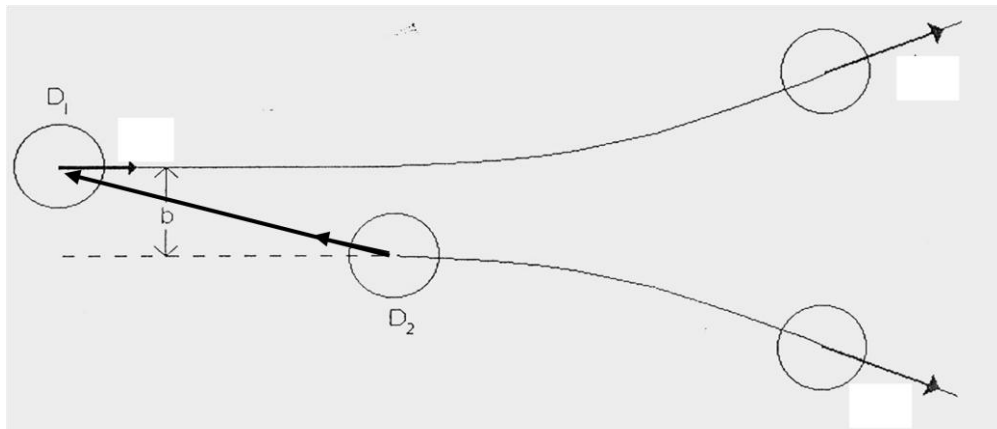


Figura3: Esquema de una colisión

Esto implica que si evaluamos antes de la colisión el momento angular L_1 del disco 1, tenemos:

$$|L_1| = m_1 r_1 \times v_1 = m_1 \cdot |v_1| \cdot b \neq 0$$

La relación anterior da una respuesta afirmativa a la pregunta 1. Sin embargo la magnitud de L_1 depende del origen desde donde se evalúa. Si colocamos el origen de medición en cualquier lugar a lo largo de la trayectoria entonces $L_1 = 0$.

La conservación del momentum angular en una colisión está supeditada a una versión restringida de la 3^{ra} ley de Newton, pues se requiere que las fuerzas de interacción se presenten en pares, opuestos y alineados a lo largo de la dirección que une los centros de masa de los discos al momento de la colisión. Sin embargo debe quedar claro que la conservación de L , antes y después de la colisión, es totalmente independiente del origen.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para comenzar el experimento se debe limpiar la mesa de aire con una toalla de tela suave, quitando todo el polvo y sucio que tenga la superficie de ésta, y luego debe hacer lo mismo con la parte inferior de los discos, de manera que no haya partículas que originen roce entre las superficies en contacto. Verifique que los orificios por donde sale el aire no estén tapados (para esto lance un disco suavemente y pruebe las distintas zonas de la mesa). Recuerde cubrir la mesa, al concluir sus experimentos.

Seguidamente debe nivelar la mesa, ajustando el tornillo nivelador de manera que al colocar un disco en el centro de la mesa y encender la bomba, dicho disco no se desplace hacia los bordes de la mesa, o por lo menos que el disco se mantenga en el centro el tiempo suficiente para la colisión. Debe evitar mover discos sobre la mesa cuando la bomba esté apagada para que las superficies, disco y mesa, no se rayen.

Familiarícese con la cámara digital, consiga el procedimiento para control temporal de la exposición. Ajuste la cámara en la base para tomar fotos, de manera que la mesa de aire salga completa en la fotografía, sin distorsiones y bien enfocada.

Antes de comenzar a fotografiar debe medir el tiempo que dura cada colisión para saber aproximadamente en cuanto tiene que ajustar la frecuencia del estroboscopio. Se recomiendan unos 8 eventos o pulsos del estroboscopio en cada choque. El estroboscopio debe iluminar correctamente la mesa y se debe fijar bien en un banco para evitar que se caiga al suelo.

Para realizar los choques debe seguir la siguiente rutina:

1. Escoja los discos correspondientes, mida sus masas con la balanza y anótelas.
2. Encienda la bomba de aire y el estroboscopio.
3. Coloque los discos sobre la mesa.
4. Apague la luz y cierre la puerta del laboratorio.
5. Debe solicitar ayuda para que alguien presione el obturador mientras usted efectúa el experimento.
6. Realice unas tres tomas de cada colisión.

7. Encienda la luz del laboratorio, apague la bomba y el estroboscopio y ajuste todo para el siguiente tipo de colisión.
8. Una vez finalizados los choques, desmonte la cámara y proceda a salvar sus archivos para su posterior análisis.
9. Para el análisis algunos estudiantes han utilizado la aplicación de software libre **Mb-Ruler**.

I-) Choque Elástico:

Use dos discos magnéticos que se repelen. Deje uno inmóvil en el centro de la mesa y lance el otro para que “colisionen”. **Asegurese de que los discos interactúan pero no entran en contacto.**

1.- Llene la siguiente tabla

V1x	V2x	V1y	V2y	V'1x	V'2x	V'1y	V'2y

2.-...

- Verifique la conservación del momento lineal del sistema.
- Verifique la conservación de la energía cinética del sistema.
- Calcule el coeficiente de restitución ϵ .

3.-Dibuje las coordenadas de los discos y del centro de masa, antes y después del choque. Use el sistema laboratorio y el sistema CM. Para ello llene la siguiente tabla y haga los gráficos en Excel.

	X1	X2	Y1	Y2	Xcm	Ycm	X1cm	X2cm	Y1cm	Y2cm
t1										
t2										
t3										
	X'1	X'2	Y'1	Y'2	X'cm	Y'cm	X'1cm	X'2cm	Y'1cm	Y'2cm
t'1										
t'2										

t'3											
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- Mida el ángulo obtenido entre las direcciones de los discos después del choque, en el laboratorio y el CM. Verifique la relación (ver apéndice):

$$\tan \varphi_1 = \frac{\sin \theta}{\gamma + \cos \theta}$$

- Repita su cálculo de ε , ahora en el centro de masa.

II-) Choque Parcialmente Elástico:

Use dos discos de plástico duro. Deje uno inmóvil en el centro de la mesa y lance el otro para que choquen. Repita los mismos pasos de análisis indicados en la parte anterior.

III-) Choque Inelástico:

Utilice los dos discos que están rodeados por la cinta que permite que ambos permanezcan unidos después de la colisión (cierre mágico). Deje uno inmóvil en el centro de la mesa y lance el otro para que choquen.

1.- Llene la siguiente tabla

	X1	X2	Y1	Y2	X _{cm}	Y _{cm}	X1 _{cm}	X2 _{cm}	Y1 _{cm}	Y2 _{cm}	
t1											
t2											
t3											
	X'1	X'2	Y'1	Y'2	X' _{cm}	Y' _{cm}	X'1 _{cm}	X'2 _{cm}	Y'1 _{cm}	Y'2 _{cm}	Θ'
t'1											
t'2											
t'3											

Donde θ es el ángulo de rotación de la línea que une el centro los dos discos, alrededor del centro de masa (después de la colisión).

2.-Determine el parámetro impacto (antes de la colisión) y calcule el momento angular antes del choque.

3.-Mida y analice

- La conservación del momento angular
- La conservación del momento lineal
- La conservación de la energía
-

NOTACIÓN:

En esta guía de laboratorio se empleara la siguiente notación:

- V para los valores respecto al sistema de laboratorio.
- $\bar{V}$ para los valores respecto al sistema centro de masa.
- Los valores sin primas V son valores antes del choque y los términos primados V' son después del choque.

BIBLIOGRAFIA

1.-/fisica.ciencias.uchile.cl/~rferrer/cursos/06.pdf

2.-C. Williamson, R. O. Torres-Isea, and C. A. Kletzing, **Analyzing Linear and Angular Momentum Conservation in Digital Movies of Puck Collisions**, American Journal of Physics -- September 2000 -- Volume 68, Issue 9, pp. 841-847 .

3.-*Introducción a la Mecánica*, Cayetano Di Bartolo, 2010.