

**Lugar:** Se realiza en el laboratorio de física (planta baja).

**Días:** 3 y 5 de NOVIEMBRE

**Tiempo estimado :** 1.30 horas

**Contenido: A) Fuerzas centrales: 2ª Ley de Kepler**

Utilizamos un péndulo esférico para producir trayectorias elípticas ( se trata de una aproximación) y contrastar en ellas la segunda ley de Kepler como si de órbitas planetarias se tratara. **B) 3ª ley de Newton: principio de acción reacción**

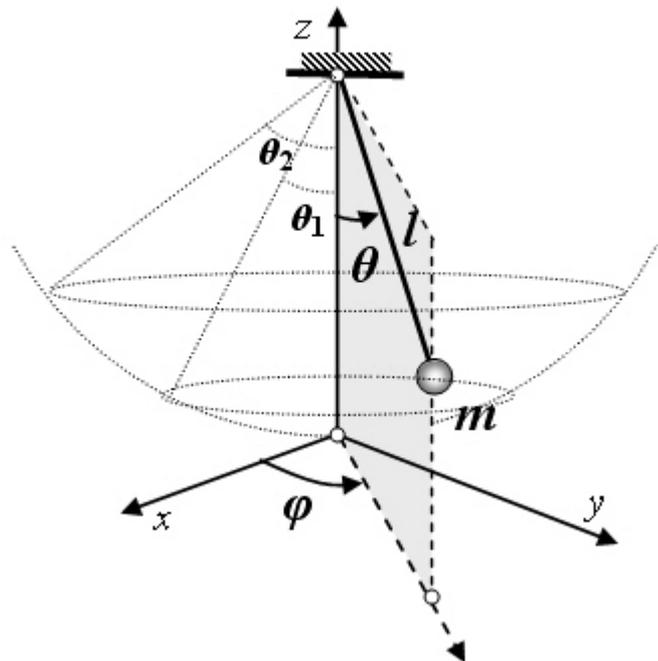
Se chequea experimentalmente el principio de acción-reacción entre los carros 1 y 2 que forman parte del dispositivo experimental, cuyo esquema se muestra en la figura 1.

**C) Rozamiento.**

La aplicación de la 2ª ley de Newton, permite determinar fuerzas de rozamiento. En base a la relación empírica que relaciona la fuerza normal y el rozamiento, se determinan coeficientes de fricción dinámicos de diferentes superficies de contacto.

**A) Fuerzas centrales: 2ª Ley de Kepler**

El **péndulo esférico** es un péndulo simple que no se mueve en un plano, como lo hace un péndulo simple, sino en el espacio. Entendidos como un objeto ideal, el péndulo simple y el péndulo esférico son el mismo objeto, el cual está compuesto por una masa puntual  $m$  suspendida de un punto fijo  $O$  mediante un hilo inextensible y sin masa. El péndulo está sometido a una única fuerza directamente aplicada que es el peso. Cuando la velocidad inicial de la masa es un vector contenido en el plano determinado por la vertical y la posición inicial del hilo, entonces todo el movimiento se desarrolla en dicho plano y se habla de péndulo simple. Cuando la velocidad inicial no cumple la condición antedicha el movimiento tiene lugar en el espacio y se habla de péndulo esférico.



Puesto que la longitud del hilo es constante, el movimiento de la masa del péndulo simple tiene lugar en un arco de circunferencia simétrico con respecto a la vertical.

Por la misma razón, en el péndulo esférico la posición de la masa está determinada por los dos ángulos  $\theta$  y  $\varphi$  de la figura adjunta, por lo que el movimiento tiene lugar en una superficie esférica y es un sistema con dos grados de libertad. Más aún, el movimiento de la masa está confinado a la porción de superficie esférica entre dos planos perpendiculares a la vertical. Es decir,  $\theta$  varía entre  $\theta_1$  y  $\theta_2$ . En nuestro caso, los ángulos varían entre 2 y 5 grados y la separación entre los dos planos es muy pequeña frente a la longitud del hilo del péndulo radio de los círculos que delimitan en su intersección con la esfera (unos tres milímetros frente a un metro). Por esta razón consideramos que el movimiento del péndulo se produce aproximadamente en un plano.

### Operaciones

Se utiliza el dispositivo mostrado en la figura 2. Registro de la trayectoria elíptica de un péndulo por medio del método de las marcas de polvo.

Se discute la fuerza de carácter aproximadamente central que actúa en el plano horizontal sobre el péndulo, la cual es responsable de la trayectoria elíptica que describe (Fig.1). Se estiman y comparan las velocidades de la masa del péndulo cuando la distancia de ésta al centro de fuerzas (punto O de reposo del péndulo) es máxima y es mínima. Se chequea la ley de conservación de la velocidad areolar del vector de posición del péndulo respecto de O (2ª Ley de Kepler).

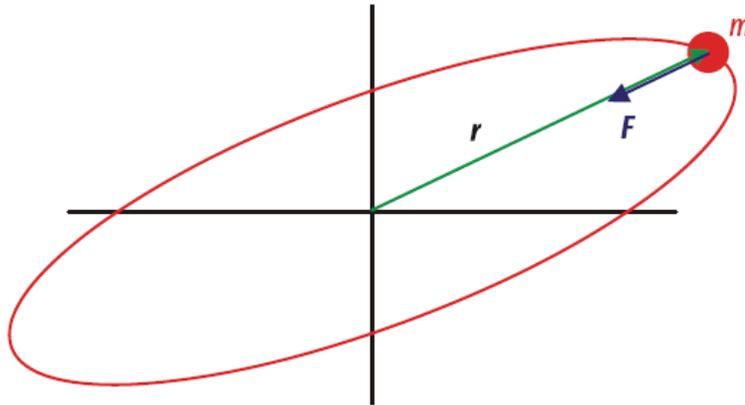


Fig. 1: Oscilación elíptica de la masa del péndulo observada desde arriba

0

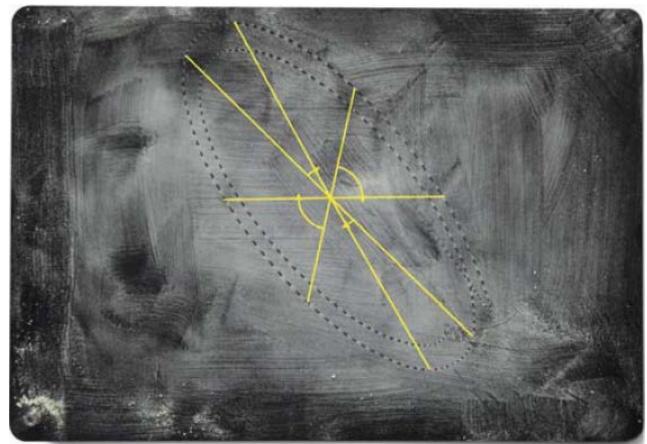


Fig.2: Dispositivo experimental y registro de la trayectoria elíptica.

**B) 3ª ley de Newton: principio de acción reacción y**

**C) Rozamiento.**

El dispositivo experimental se muestra en la figura 3

Ordenador con Data estudio, interface 500 (figura 5)

Dos sensores de fuerza(figura 4)

Un carro 1 con pilas y velocidad variable

Un carro 2 de arrastre con tres superficies: plástico pulido, corcho y fieltro (figura 6).

Una plataforma sobre la que desliza el carro 2 arrastrado por el carro 1.

Una cuerda fina

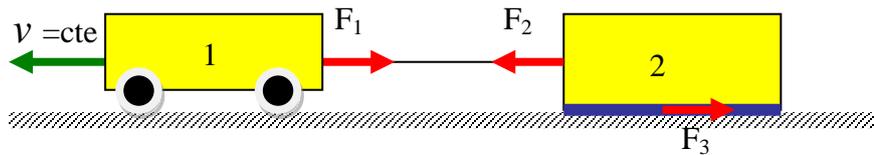


Figura 1. Se tira del carro 1 hacia la izquierda con velocidad constante y se miden las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$ . Supuesta la cuerda sin masa, las dos fuerzas son de igual magnitud (acción-reacción). El diagrama de cuerpo libre del carro 2 indica que la fuerza  $F_2$  es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento que el suelo ejerce sobre el carro 2. Se utilizan tres superficies distintas.

Tabla 1. Resultados experimentales de las fuerzas  $F_1$  (aplicada al carro motor) y  $F_2$  (aplicada al carro arrastrado), obtenidos a partir de un gran número de medidas, para diferentes superficies de contacto. Para que comience el movimiento se necesita aplicar una fuerza mayor ( $F_{max}$ ) que como límite inferior toma el valor que se muestra. Se muestran las desviaciones estándar  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  de las fuerzas.  $F_1$  y  $F_2$ .

Material superf. contacto	$(F_1 \pm \sigma_1) / N$	$(F_2 \pm \sigma_2) / N$	$F_{max} / N$ (carro1/carro2)	Nº medidas	observación
Corcho	1.39±0.19	1.33±0.16	2.41/2.23	210	
“	1.41±0.17	1.37±0.15	2.17/2.20	236	
“	1.03±0.19	1.02±0.18	-/-	240	
“	1.39±0.15	1.36±0.13	-/-	243	
Plástico pulido	0.42±0.08	0.45±0.10	1.40/-	228	
“	0.53±0.10	0.53±0.12	1.07/1.65	236	
“	1.89±0.17	1.92±0.19		174	
“	2.03±0.26	2.02±0.24	3.05/3.05	309	(precisión x1Low)
Fieltro	1.00±0.12	1.00±0.10	-/-	233	
“	1.03±0.04	0.991±0.03		40	arrastre manual; x10 Med

material	masa $\pm 0.2 / 10^{-3}$ kg	$\mu = F/N = F/mg$	$\Delta\mu$
Corcho	420.3	$\approx 0.33$	
Plástico pulido	424.9	$\approx 0.12$	
“	1420.7	$\approx 0.145$	
Fieltro	414.5	$\approx 0.246$	

Tabla 2. Coeficientes de rozamiento cinético de los diferentes materiales obtenidos a partir de los resultados de la tabla 1.

Dispositivo experimental en fotos.

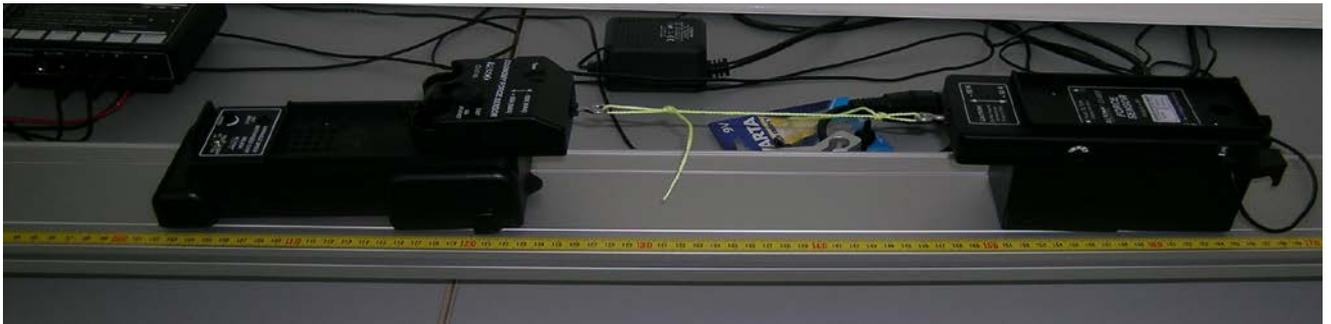


Figura 3. Carro 1 con motor que arrastra otro carro 2 con velocidad constante.



Figura 4. Carro 2 con sensor de fuerza arrastrado a velocidad constante. La superficie inferior roza contra la superficie de la plataforma.



Figura 5. Interface 500.



Figura 6. Distintas superficies de contacto.