

## Segunda ley Kepler

### COMPROBACIÓN DE LA LEY DE LAS ÁREAS PARA LOS MOVIMIENTOS DE FUERZA CENTRAL (SEGUNDA LEY DE KEPLER).

- Registro de la oscilación elíptica de un péndulo por medio del método de las marcas de polvo.
- Comparación de las velocidades de la masa del péndulo con distancia máxima y mínima con respecto a la posición de reposo.
- Determinación de la superficie barrida por la masa del péndulo con una distancia máxima y una mínima con respecto a la posición de reposo.

UE1030700

03/16 JS

### FUNDAMENTOS GENERALES

**Durante el movimiento de un planeta alrededor del sol, el momento angular permanece constante, porque la fuerza que actúa sobre el planeta está siempre orientada hacia el centro del movimiento. A partir de ello se puede deducir que la órbita del planeta debe permanecer en un plano fijo. Además también se puede deducir la conocida segunda ley de Kepler, según la cual el radio de conexión del sol hacia el planeta barre la misma superficie en intervalos de tiempos iguales**

Para la validez de la ley de superficies no juega ningún papel la dependencia exacta de la fuerza central con respecto al centro del movimiento. Ésta sólo determina la forma de la órbita alrededor del centro de la fuerza. Por lo tanto, la ley de las superficies también vale para las oscilaciones elípticas de un péndulo alrededor de la posición de reposo, siempre y cuando las desviaciones del péndulo no sean muy grandes. La masa del péndulo se mueve en una superficie casi horizontal (ver Fig. 1) y en cada punto de la órbita  $r$  se experimenta una fuerza de restitución

$$F = -\frac{m \cdot g}{d} \cdot r, \quad (1)$$

$g$ : Aceleración de caída,  $d$ : Longitud del péndulo,  $m$ : Masa del péndulo

la cual está orientada hacia la posición de reposo del péndulo. Esta fuerza deja que el momento angular

$$L = m \cdot r(t) \times \frac{\Delta r(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

de la masa del péndulo permanezca constante. Por lo tanto la superficie barrida por el vector del radio  $r(t)$  en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  permanece constante (ver fig. 2)

$$\Delta A = \frac{1}{2} \cdot |r(t) \times \Delta r(t)| = \frac{1}{2} \cdot r(t) \cdot \Delta r(t) \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

En el experimento se registra el movimiento de la masa del péndulo de acuerdo con el método de las marcas de polvo.

Para ello el electrodo de registro de la masa del péndulo se desliza sobre una placa de marcas aislada, la cual está recubierta con un polvo fino de azufre. Una tensión entre el electrodo de registro y la placa de marcas que alterna con la frecuencia de la tensión de la red, hace que dependiendo de la polaridad se origine una atracción o una repulsión del polvo de azufre. Se registra una traza de marcas de tiempo, a partir de las distancias entre ellas se puede leer inmediatamente la velocidad de la masa pendular.

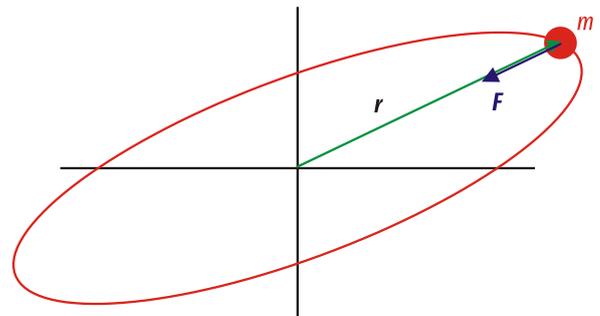


Fig. 1: Oscilación elíptica de la masa del péndulo observada desde arriba

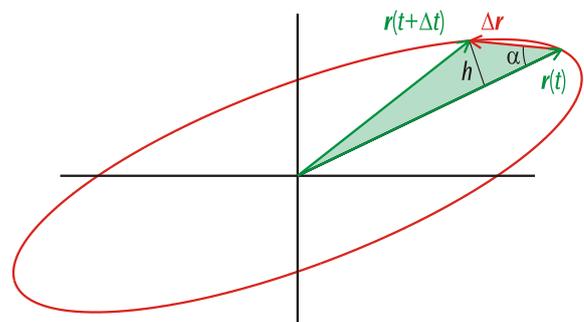


Fig. 2: Superficie barrida por el vector del radio en el intervalo de tiempo  $\Delta t$

### LISTA DE EQUIPOS

- 1 Juego de aparatos para el registro con marcas de polvo 1000739 (U8400870)
- 1 Péndulo con electrodo de registro 1000780 (U8405640)
- 2 Pie soporte, 3 patas, 150 mm 1002835 (U13270)
- 2 Varilla de soporte, 1000 mm 10002936 (U15004)
- 1 Varilla de soporte, 750 mm 1002935 (U15003)
- 3 Nuez universal 1002830 (U13255)

### MONTAJE



Fig. 3: Montaje de medición

- Se fijan en pies soportes verticalmente las varillas soportes largas y en el extremo superior se monta horizontalmente entre ellas la varilla soporte corta (ver Fig. 3).
- Con el pincel se esparce sobre toda la superficie de la placa de trazas una capa delgada de azufre de granulación fina.
- Para colgar el péndulo se fija en la tercera nuez universal la espiga de metal que se encuentra en el extremo superior de la cadena del péndulo.
- Se coloca la placa de trazas entre los dos pies soportes y se orienta el péndulo sobre el centro de la placa de trazas.
- Se suelta el enclavamiento del electrodo de escritura.
- Desplazando la varilla transversal y girando la nuez universal se ajusta la altura del péndulo así que el electrodo de escritura esté siempre en contacto con la placa de trazas aun cuando el péndulo se encuentre desplazado de la vertical.

### EJECUCIÓN

- Se conecta el transformador a la red.
- Un enchufe se inserta en el casquillo de la placa de trazas y un segundo enchufe se fija con pinza en el pie soporte de forma que tenga contacto eléctrico.
- Se impulsa el péndulo para que realice una oscilación elíptica, en la cual los dos semiejes se diferencien claramente.
- Después de haber dibujado una o como máximo dos elipses se detiene el registro de la oscilación.

### EJEMPLO DE MEDICIÓN

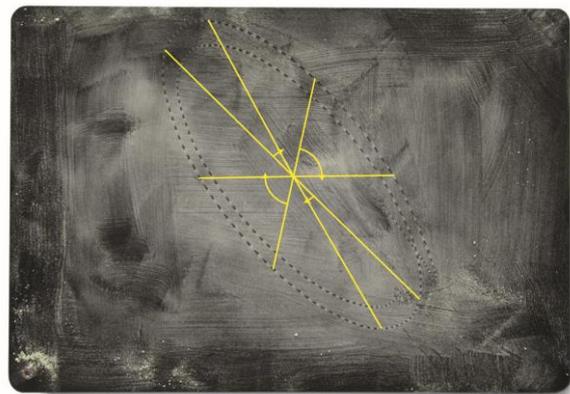


Fig. 4: Trazas del cuerpo del péndulo con el ritmo de la frecuencia de la red (dibujo en amarillo: Área barrida por el vector del radio en períodos de 10 oscilaciones para las distancias mínima y máxima desde el centro)

### EVALUACIÓN

Primero se determina gráficamente el centro de la traza registrada y los puntos de la curva de la órbita en los cuales la distancia al centro es máxima o mínima (ver fig. 4).

Para estos puntos de la órbita se determina la superficie barrida por el vector del radio en 10 períodos de oscilación de la tensión alterna (ver fig. 4), y para hacerlo más sencillo se consideran como triángulo. En esta aproximación se desprecia la curvatura de la órbita. El resto, en una segunda aproximación, se puede considerar nuevamente como triángulo con la misma base  $g$  (ver Tab. 1).

La suma  $F$  de ambas áreas de triángulo de la 1. y la 2. aproximación se hace cada vez menor a lo largo del movimiento del péndulo (ver Tab. 1) porque el momento angular del cuerpo del péndulo se hace cada vez menor debido a la fricción

Tab. 1: Determinación del área  $F$  barrida por el vector radial en 10 períodos de oscilación

g / mm	1. Aproximación		2. Aproximación		Suma
	$h_1$ / mm	$F_1$ / mm <sup>2</sup>	$h_2$ / mm	$F_2$ / mm <sup>2</sup>	
37	125	2310	7	130	2440
87	53	2310	3	130	2440
34	122	2070	7	120	2190
82	51	2090	2	80	2170