P1 MECÁNICA

P1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN 3

P1.2 FUERZAS 6

P1.3 MOVIMIENTOS DE TRASLACIÓN DE UNA MASA PUNTUAL 12

P1.4 MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN DEL CUERPO RÍGIDO 21

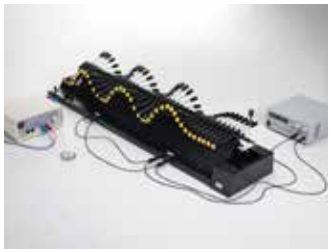
P1.5 OSCILACIONES 27

P1.6 ONDAS MECÁNICAS 34

P1.7 ACÚSTICA 39

P1.8 AERODINÁMICA E HIDRODINÁMICA 49

P1 MECÁNICA



P1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN
P1.1.1 Medición de longitud 3
P1.1.2 Determinación de volúmenes y densidades 4
P1.1.3 Determinación de la constante de gravitación 5

P1.2 FUERZAS
P1.2.1 Acción estática de las fuerzas 6
P1.2.2 La fuerza como vector 7
P1.2.3 Palanca 8
P1.2.4 Polipasto 9
P1.2.5 Plano inclinado 10
P1.2.6 Fricción 11

P1.3 MOVIMIENTOS DE TRASLACIÓN DE UNA MASA PUNTUAL
P1.3.2 Movimiento unidimensional sobre el carril de Fletcher 12-13
P1.3.3 Movimiento unidimensional sobre el carril de cojín de aire 14
P1.3.4 Conservación de la cantidad de movimiento 15-17
P1.3.5 Caída libre 18-19
P1.3.6 Lanzamiento oblicuo 20

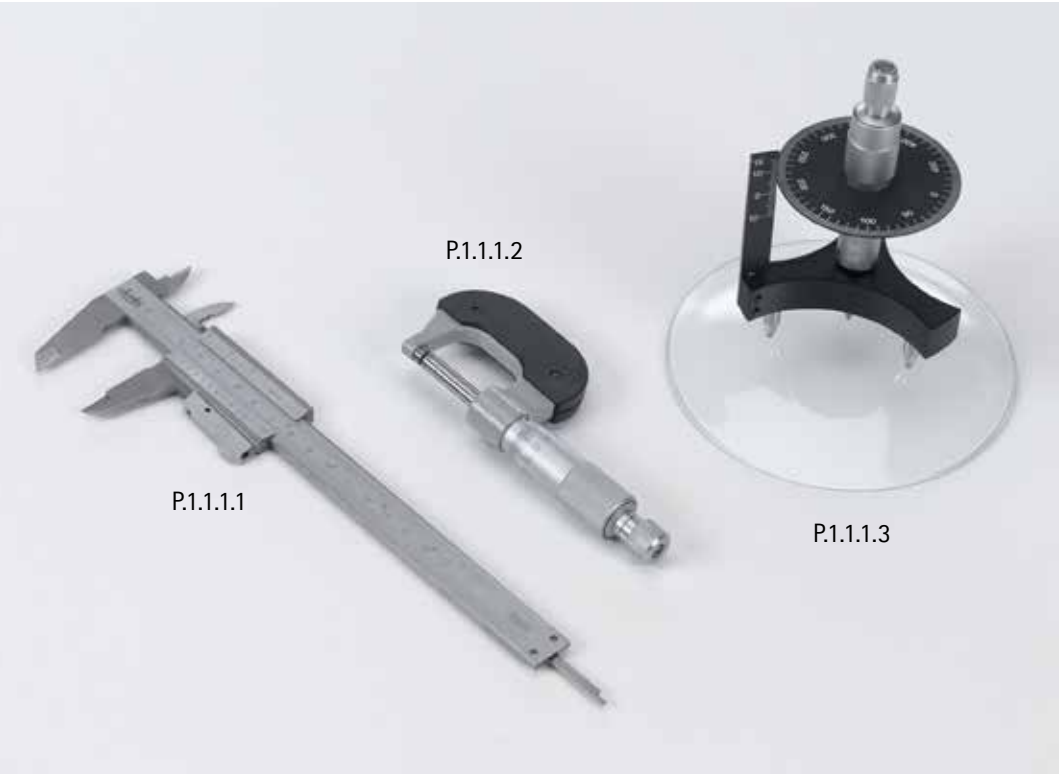
P1.4 MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN DEL CUERPO RÍGIDO
P1.4.1 Movimiento de rotación 21
P1.4.2 Conservación del momento angular 22
P1.4.3 Fuerza centrífuga 23
P1.4.4 Movimientos del giroscopio 24
P1.4.5 Momento de inercia 25
P1.4.6 Conservación de la energía 36

P1.5 OSCILACIONES
P1.5.1 Péndulo matemático y péndulo físico 27-28
P1.5.2 Oscilaciones armónicas 29
P1.5.3 Péndulo de torsión de Pohl 30-31
P1.5.4 Acoplamiento de oscilaciones 32-33

P1.6 ONDAS MECÁNICAS
P1.6.1 Ondas transversales y longitudinales 34
P1.6.2 Máquina de ondas 35
P1.6.3 Ondas circularmente polarizadas de una cuerda 36
P1.6.4 Propagación de ondas superficiales en agua 37
P1.6.5 Interferencia con ondas superficiales en agua 38

P1.7 ACÚSTICA
P1.7.1 Ondas sonoras 39
P1.7.2 Vibraciones de cuerdas 40
P1.7.3 Longitud de onda y velocidad del sonido 41-43
P1.7.4 Reflexión de ondas ultrasónicas 44
P1.7.5 Interferencia de ondas ultrasónicas 45
P1.7.6 Efecto Doppler acústico 46
P1.7.7 Análisis de Fourier 47
P1.7.8 Ultrasonido en medios 48

P1.8 AERODINÁMICA E HIDRODINÁMICA
P1.8.2 Empuje hidrostático 49
P1.8.3 Viscosidad 50-52
P1.8.4 Tensión superficial 53
P1.8.5 Introducción a la aerodinámica 54
P1.8.6 Medición de la resistencia del aire 55
P1.8.7 Mediciones en el túnel aerodinámico 56



Uso de un esferómetro para determinar radios de flexión (P1.1.1.3)

MEDICIÓN DE LONGITUD

P1.1.1.1
Uso de un pie de rey con vernier

P1.1.1.2
Uso de un micrómetro

P1.1.1.3
Uso de un esferómetro para determinar radios de flexión

N° de cat.	Descripción	P1.1.1.1	P1.1.1.2	P1.1.1.3
311 54	Vernier de precisión	1		
311 83	Micrómetro de precisión		1	
550 35	Alambre de cobre, 0,2 mm Ø		1	
550 39	Alambre de latón, 0,5 mm Ø		1	
311 86	Esferómetro			1
460 291	Espejo plano, 11,5 cm x 10 cm			1
662 092	Cubre objetos, 22 x 22 mm			1
664 154	Vidrio de reloj 80 mm Ø			1
664 157	Vidrio de reloj 125 mm Ø			1

Con el pie de rey, el micrómetro y el esferómetro se disponen de instrumentos de medición de precisión cuyo manejo es puesto en práctica en tareas de medición.

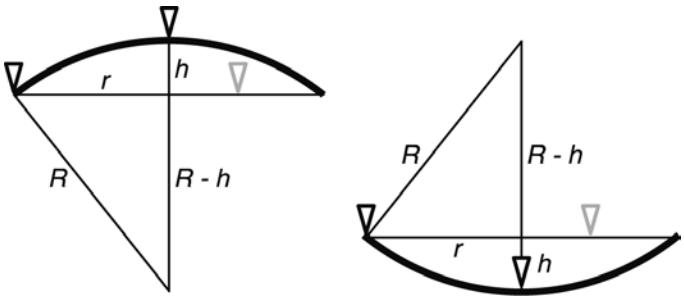
En el experimento P1.1.1.1 los estudiantes miden las dimensiones internas y externas de un cuerpo de prueba utilizando un pie de rey. La escala vernier del pie de rey incrementa la precisión de lectura en 1/20 mm.

En el experimento P1.1.1.2 los alumnos miden diferentes grosores de alambres. Aquí se resalta una álgida dificultad en las mediciones, es decir, los objetos a medir cambian sus dimensiones durante el proceso de medición. Especialmente en alambres blandos la medición resulta ser más pequeña porque el alambre se deforma durante la medición.

En el experimento P1.1.1.3 se determina el radio de curvatura R de vidrios reloj mediante un esferómetro. Este valor resulta de la expresión

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

en donde h es la altura para una determinada distancia r entre las puntas de la base del esferómetro.



Corte vertical esquemático a través del montaje del ensayo con un esferómetro.
A la izquierda: objeto de medición con superficie convexa.
A la derecha: objeto de medición con superficie cóncava. (P1.1.1.3)

DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES Y DENSIDADES

P1.1.2.1
Determinación de volúmenes y densidades de sólidos

P1.1.2.2
Determinación de la densidad de líquidos con el cuerpo de inmersión

P1.1.2.3
Determinación de la densidad de líquidos con el picnómetro de Gay- Lussac

P1.1.2.4
Determinación de la densidad del aire

Determinación de la densidad del aire (P1.1.2.4)

N° de cat.	Descripción	P1.1.2.1	P1.1.2.2	P1.1.2.3	P1.1.2.4
362 04	Recipiente rebose	1			
590 08	Cilindro de medición SAN 100 ml	1			
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1			
309 48	Sedal	1			
311 54	Vernier de precisión	1			
315 05	Balanza escolares y de laboratorio 311	1		1	1
352 52	Conjunto de 6 bolas de acero	1			
361 63	Juego de 2 dados con bola	1			
590 33	Juego de 2 cuerpos par mediciónes	1			
309 42	Polvos colorantes, solubles en agua	1			
362 025	Cuerpo de inmersión		1		
315 011	Balanza hidrostática		1		
315 31	Juego de pesas de 10 mg a 200 g		1		
382 21	Termómetro agitador -10...+110 °C		1	1	
665 754	Cilindro graduado 100 ml, con base de plástico		2	2	
671 9720	Etanol - solvente, 1 l		1	1	
666 145	Picnómetro de Gay-Lussac, 50 ml			1	
379 07	Balón con 2 llaves				1
667 072	Anillo de soporte				1
375 58	Bomba manual de vacío				1

Según el estado de agregación de una sustancia homogénea, se aplican diferentes métodos para la determinación de su densidad

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m: masa, V: volumen

Para la determinación de la densidad en sólidos se vincula una pesada con una medición de masa. Los volúmenes de cuerpos se determinan a partir del volumen del líquido que los cuerpos desalojan de un recipiente de rebose. En el experimento P1.1.2.1 el procedimiento se prueba inicialmente con cuerpos homogéneos cuyos volúmenes se pueden calcular de sus masas lineales.

En el experimento P1.1.2.2 se dispone de un cuerpo de inmersión para la determinación de densidades en líquidos. La tarea de medición es la determinación de densidad de mezclas de etanol con agua. Con el cuerpo de inmersión se determina la densidad a partir del empuje que un cuerpo de volumen conocido experimenta en la densidad a estudiar.

En el experimento P1.1.2.3 para la determinación de densidades en líquidos se dispone del picnómetro de Gay-Lussac. La tarea de medición es la determinación de densidad de mezclas de etanol con agua. El picnómetro es una botella pequeña en forma de pera, en la que se pesa el líquido a estudiar. El contenido volumétrico del picnómetro se obtiene a partir de la pesada con un líquido de densidad conocida (por ejemplo: agua).

En el experimento P1.1.2.4 se determina la densidad del aire en una esfera dotada con dos grifos, y cuyo volumen es conocido. La masa del aire encerrado se determina mediante la medición de la diferencia entre el peso total de la esfera llena de aire y el peso de la esfera vacía, evacuada de aire.

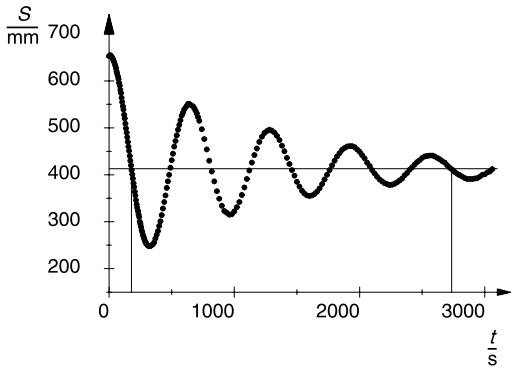
Determinación de la constante de gravitación con la balanza de torsión de Cavendish - Medición de las desviaciones con indicador luminoso (P1.1.3.1)

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE GRAVITACIÓN

P1.1.3.1
Determinación de la constante de gravitación con la balanza de torsión de Cavendish - Medición de las desviaciones con indicador luminoso

P1.1.3.2
Determinación de la constante de gravitación con la balanza de torsión de Cavendish
- Registro de las desviaciones y evaluación con el detector de posición IR y una PC

N° de cat.	Descripción	P1.1.3.1	P1.1.3.2
332 101	Balanza de gravitación	1	1
471 791	Diodo láser, 635 nm, 1 mW	1	
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	
301 03	Mordaza giratoria	1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	
332 11	Detector de posición IR (IRPD)		1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m		1
460 373	Jinetillo 60/50		1
460 374	Jinetillo 90/50		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1



Oscilaciones de la balanza de gravitación alrededor de la posición de equilibrio final SII (P1.1.3.1)

El componente básico de la balanza de torsión de Cavendish es una barra transversal liviana horizontal que cuelga de un hilo de torsión delgado y que en sus extremos soporta esferas pequeñas de plomo con masa m_2 = 15 g. Estas esferas se atraen por dos esferas grandes de plomo de masa m_1 = 1.5 kg. A pesar de que la fuerza de atracción

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

r: distancia entre los puntos medios de las esferas

es menor que 10^{-9} N, esta fuerza se puede detectar mediante una balanza de torsión extremadamente sensible. Aquí se observa el movimiento de las pequeñas esferas de plomo y se le mide mediante un indicador luminoso. A partir del comportamiento temporal del movimiento, la masa m_1 y la geometría del montaje se determina la constante de gravitación G según el método de la desviación final o según el método de la aceleración.

Con el método de la desviación final se puede alcanzar un error en la medición por debajo del 5% en experimentos realizados con meticulosidad. La fuerza de gravitación se calcula a partir de la posición de reposo de las esferas de plomo pequeñas colgadas elásticamente en el campo de gravitación de las esferas grandes y a partir del momento de reposición del hilo de torsión.

El momento de reposición es determinado dinámicamente a partir de la duración de las oscilaciones del péndulo de torsión. El método de la aceleración requiere sólo cerca de 1 minuto de observación. Aquí se mide la aceleración de las esferas pequeñas debido a la fuerza de gravitación de las esferas grandes. Para ello se registra la posición de las esferas en función del tiempo.

En el experimento P1.1.3.1 se utiliza un rayo láser como indicador luminoso, el cual se refleja en el espejo cóncavo del péndulo de torsión para incidir sobre una escala. La posición de la indicación sobre la escala se registra en función del tiempo punto a punto a mano.

Con el detector de posición infrarrojo (IRPD) se puede seguir automáticamente el movimiento de las esferas de plomo en la balanza de torsión. Cuatro diodos IR del IRPD emiten un rayo infrarrojo el cual se refleja en el espejo cóncavo del péndulo de torsión y cuya imagen se forma sobre una línea de detección conformada por 32 fototransistores alineados en fila. Un microcontrolador conmuta los cuatro diodos infrarrojos una tras otro y localiza el fototransistor iluminado. A partir de cuatro mediciones individuales se calcula el centro de gravedad S de la iluminación. El IRPD es provisto completamente con la versión demo de CASSY Lab, para una medición directa y la evaluación del experimento P1.1.3.2 usando una computadora con Windows XP o versiones Windows mas avanzadas. El sistema ofrece la elección del método de desviación o aceleración para fines de medición y evaluación.

ACCIÓN ESTÁTICA DE LAS FUERZAS

P1.2.1.1
Elongación de un muelle helicoidal

P1.2.1.2
Flexión de una hoja de muelle

Elongación de un muelle helicoidal (P1.2.1.1)

N° de cat.	Descripción	P1.2.1.1	P1.2.1.2
352 07	Resorte helicoidal 10 N/m	1	
352 08	Resorte helicoidal 25 N/m	1	
340 85	Juego de 6 pesas, c/u de 50 g	1	1
301 21	Base de soporte MF	2	2
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	2	2
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	1	1
301 25	Bloque de soporte MF	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
301 29	Par de manecillas	1	1
340 811	Eje enchufable	1	
352 051	Resorte de lámina, longitud 435 mm		1
666 615	Nuez universal		1
686 50	Placa de presión		1
309 48	Sedal		1

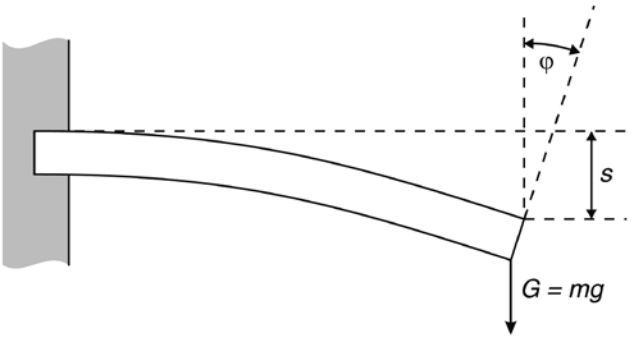
Las fuerzas se reconocen por su efecto. Así, por ejemplo, las fuerzas estáticas deforman un cuerpo. Se deduce que la deformación es proporcional a la fuerza que actúa, siempre que la fuerza no sea demasiado grande.

El experimento P1.2.1.1 muestra que la elongación s de un resorte helicoidal es directamente proporcional a la fuerza F_s. Aquí se cumple la ley de Hook:

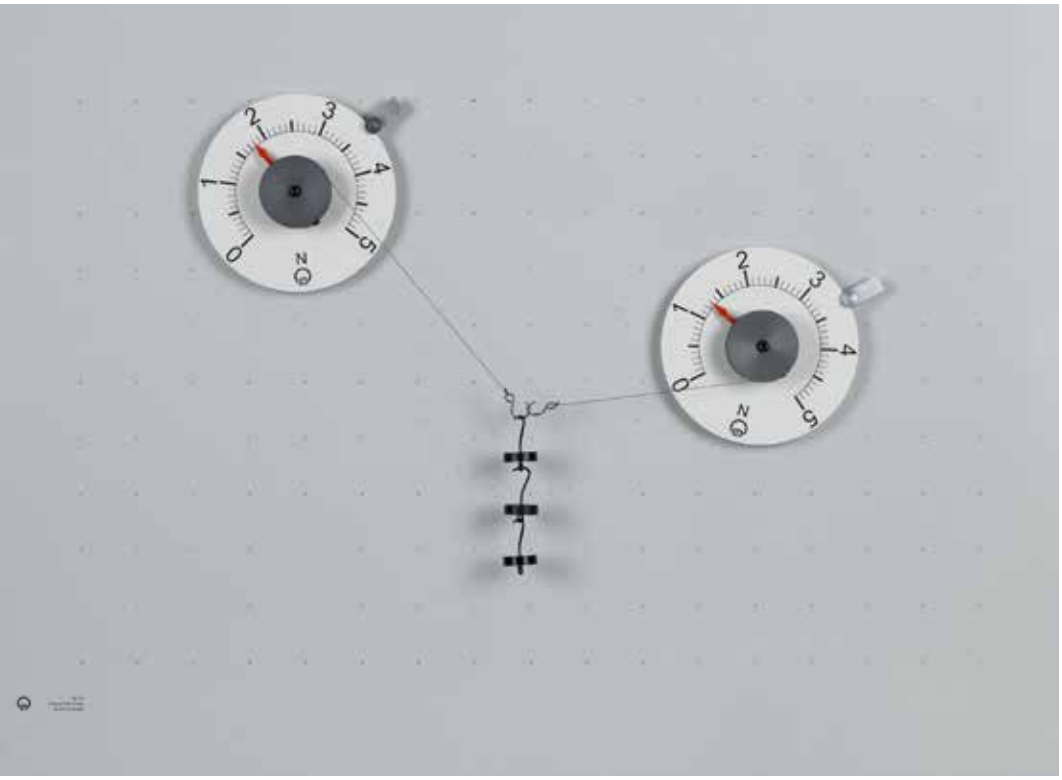
$$F_s = -D \cdot s$$

D: constante del resorte

En el experimento P1.2.1.2 se estudia la flexión de un muelle de hoja tensado por un lado bajo la acción de una fuerza causada por pesas que cuelgan. Del mismo modo, en este caso la desviación es proporcional a la fuerza actuante.



Esquema de flexión de una hoja de muelle (P1.2.1.2)



Composición y descomposición de fuerzas (P1.2.2.1)

LA FUERZA COMO VECTOR

P1.2.2.1
Composición y descomposición de fuerzas

N° de cat.	Descripción	P1.2.2.1
301 301	Tablero magnético	1
314 215	Dinamómetro redondo 5 N, con pie magnéti	2
301 331	Base magnética con gancho	1
352 08	Resorte helicoidal 25 N/m	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
342 63	Pesa 50 g	5
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	4
686 50	Placa de presión	4
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	2
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	2

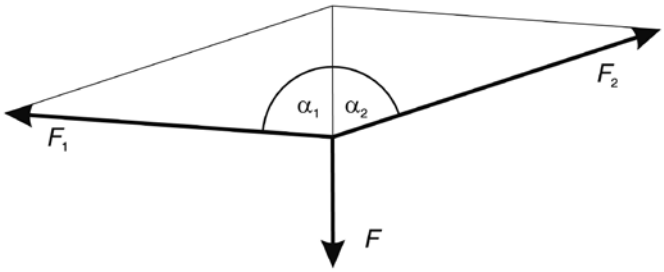
En el tablero de adhesión magnética se puede verificar experimentalmente de una manera simple y clara que la fuerza es una magnitud vectorial. El punto de aplicación de todas las fuerzas se coloca en el centro de la escala angular, sobre el tablero de adhesión magnética, y se mide todas las fuerzas individuales y el ángulo entre ellas. Para explicar la adición vectorial, sobre el tablero magnético se representa gráficamente el paralelogramo de fuerzas formado.

En el experimento P1.2.2.1 se hace la compensación de una fuerza cualesquiera F por medio de la fuerza de un muelle de dos dinamómetros que bajo los ángulos α_1 and α_2 asignados a F. Las fuerzas parciales F_1 y F_2 se determinan en función de los ángulos α_1 yα_2. Se verifica la relación:

$$F = F_1 \cdot \cos\alpha_1 + F_2 \cdot \cos\alpha_2$$

y

$$0 = F_1 \cdot \sin\alpha_1 + F_2 \cdot \sin\alpha_2$$



Paralelogramo de fuerzas (P1.2.2.1)

PALANCA

P1.2.3.1
Palanca de uno y dos brazos

P1.2.3.2
Rueda corrugada como palanca de brazos diferentes

Rueda corrugada como palanca de brazos diferentes (P1.2.3.2)

N° de cat.	Descripción	P1.2.3.1	P1.2.3.2
342 60	Palanca, 1 m	1	
342 63	Pesa 50 g	12	8
314 45	Dinamómetro 2 N	1	1
314 46	Dinamómetro 5 N	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1
342 75	Rueda de metal y eje		1

La ley de la palanca constituye la base física de todo tipo de transmisiones de fuerzas. Esta se puede explicar a partir del concepto más general del equilibrio de momentos de rotación.

En el experimento P1.2.3.1 se comprueba la ley de la palanca

$$F_1 \cdot x_1 = F_2 \cdot x_2$$

para palancas de uno y dos brazos. A tal efecto se determina la fuerza F_1 que mantiene a la palanca en equilibrio en función de la carga F_2, del brazo de la carga x_2 y del brazo de potencia x_1.

En el experimento P1.2.3.2 se ilustra el equilibrio de momentos de rotación en una rueda corrugada. Aquí se comprueba experimentalmente los conceptos de fuerza, brazo de fuerza y línea de acción de las fuerzas. Se verifica explícitamente que el valor absoluto del momento de rotación sólo depende la fuerza y de la distancia de la línea de acción al eje de rotación.

Palanca de una y dos caras (P1.2.3.1)

Polea fija, polea suelta y polipasto como máquinas simples (P1.2.4.1)

POLIPASTO

P1.2.4.1
Polea fija, polea suelta y polipasto como máquinas simples

N° de cat.	Descripción	P1.2.4.1
340 911	Polea 50 mm Ø, enchufable	2
340 921	Polea 100 mm Ø, enchufable	2
340 930	Puente de polea	2
340 811	Eje enchufable	1
340 851	Peso de 50 g	4
340 87	Gancho para polea	1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm	1
314 04	Asa de soporte, fijable	2
314 01	Dinamómetro de tensión y compresión 1,5 N	1
314 02	Dinamómetro de tensión y compresión 3 N	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
301 29	Par de manecillas	1
686 51	Cordón	1
667 017	Tijera 125 mm, redonda	1
301 21	Base de soporte MF	2
301 25	Bloque de soporte MF	2
666 615	Nuez universal	1
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	1
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	2

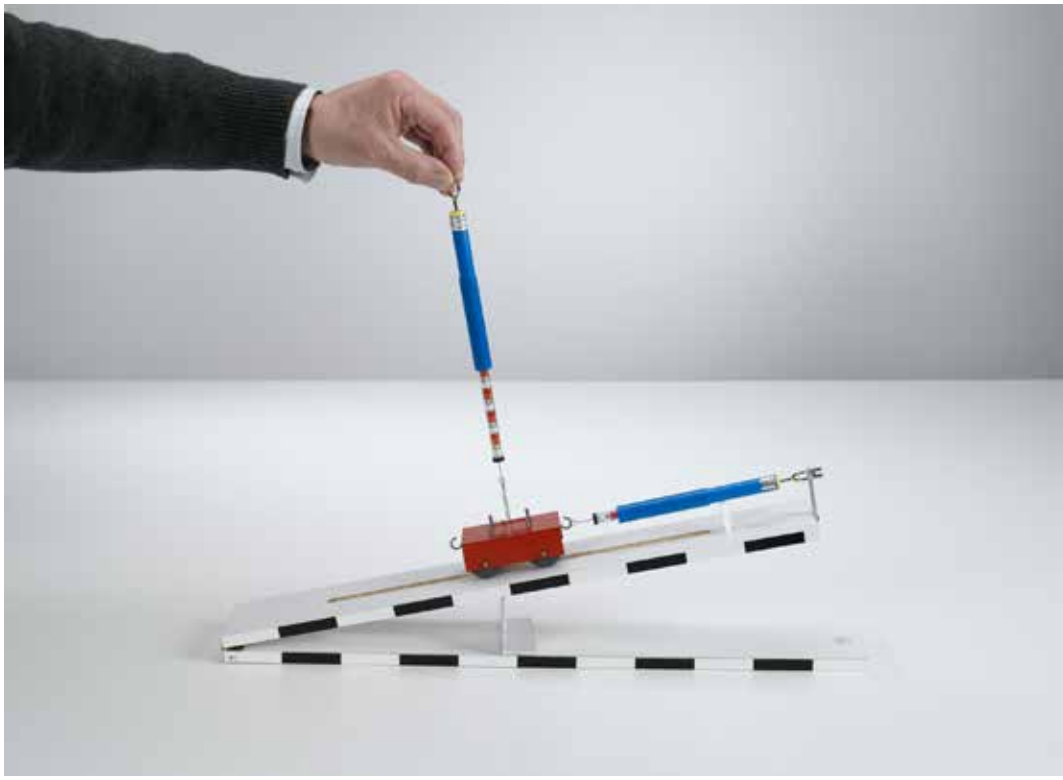
Polea fija, polea suelta y polipasto son ejemplos clásicos de una máquina simple. Los experimentos con estas máquinas conforman la más simple introducción al concepto de trabajo en mecánica.

En el experimento P1.2.4.1, los experimentos como el polipasto con base de soporte MF se montar sobre una mesa. Los rodillos no tienen fricción en los rodamientos.

PLANO INCLINADO

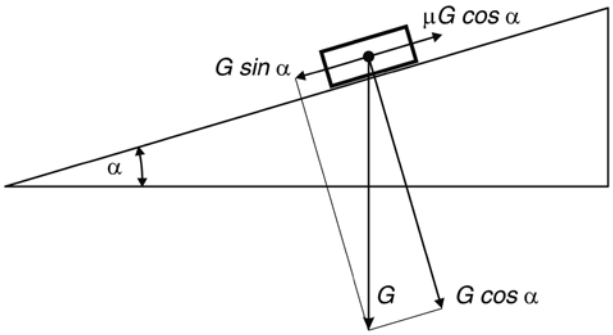
P1.2.5.1
Fuerza de descenso inclinada y fuerza normal sobre el plano inclinado

P1.2.5.2
Determinación del coeficiente de fricción estática con el plano inclinado



Fuerza de descenso inclinada y fuerza normal sobre el plano inclinado (P1.2.5.1)

N° de cat.	Descripción	P1.2.5.1	P1.2.5.2
341 21	Plano inclinado, completo	1	1
314 141	Dinamómetro de precisión 1,0 N	1	
342 10	Par de tacos de madera		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1



Esquema para la determinación del coeficiente de fricción estática (P1.2.5.2)

El movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado se puede describir muy fácilmente si la fuerza del peso G se descompone vectorialmente sobre el cuerpo en una fuerza de descenso inclinada F_1 y una fuerza normal F_2. La fuerza de descenso actúa paralela al plano inclinado y la fuerza normal perpendicular al mismo inclinado en un ángulo α. Aquí se cumplen las siguientes relaciones para los valores absolutos:

$$F_1 = G \cdot \sin\alpha \quad \text{y} \quad F_2 = G \cdot \cos\alpha$$

Esta descomposición se verifica experimentalmente en el experimento P1.2.5.1. Con tal propósito se miden ambas fuerzas F_1 yF_2 para diferentes ángulos de inclinación α con dinamómetros de precisión.

En el experimento P1.2.5.2 se utiliza la dependencia de la fuerza normal respecto al ángulo de inclinación para determinar cuantitativamente el coeficiente de fricción estática &tmicro de un cuerpo. La inclinación del plano inclinado es incrementada hasta que el cuerpo pierde su adhesión y empieza a deslizarse. A partir del equilibrio entre la fuerza de descenso y la fuerza de fricción estática se tiene:

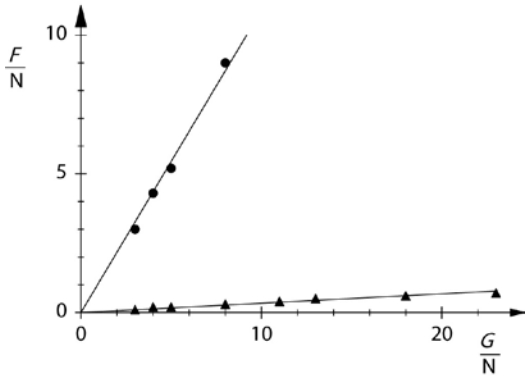
$$F_1 = \mu \cdot F_2 \quad \text{de aquí se obtiene} \quad \mu = \tan\alpha$$

FRICCIÓN

P1.2.6.1
Fricción estática, de deslizamiento y de rodadura

Fricción estática, de deslizamiento y de rodadura (P1.2.6.1)

N° de cat.	Descripción	P1.2.6.1
315 36	Juego 7 pesas de 0,1 - 2 kg	1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø	6
314 47	Dinamómetro 10 N	1
342 10	Par de tacos de madera	1



Comparación entre deslizamiento (punto) y fricción de rodadura (triangulo)

En la fricción entre dos cuerpos se diferencian las fricciones de estática, de deslizamiento y de rodadura. Como fuerza de fricción estática se denomina a la fuerza mínima necesaria para poner en movimiento a un cuerpo en reposo sobre una base. Asimismo, la fuerza de deslizamiento es la fuerza que es necesaria para conservar el movimiento uniforme del cuerpo. Mediante la fuerza de rodadura se conserva el movimiento uniforme de un cuerpo que rueda sobre otro.

En el experimento P1.2.6.1 se compruebaprimero que la fuerza de fricción estática F_H y la fuerza de fricción de deslizamiento F_G son independientes del tamaño de la superficie de apoyo y proporcional a la fuerza de apoyo G que actúan sobre la base del bloque. Aquí se tiene:

$$F_H = \mu_H \cdot G \quad \text{y} \quad F_G = \mu_G \cdot G$$

Los coeficientes μ_H y μ_G son dependientes del material de las superficies de fricción. Siempre se cumple que

$$\mu_H > \mu_G$$

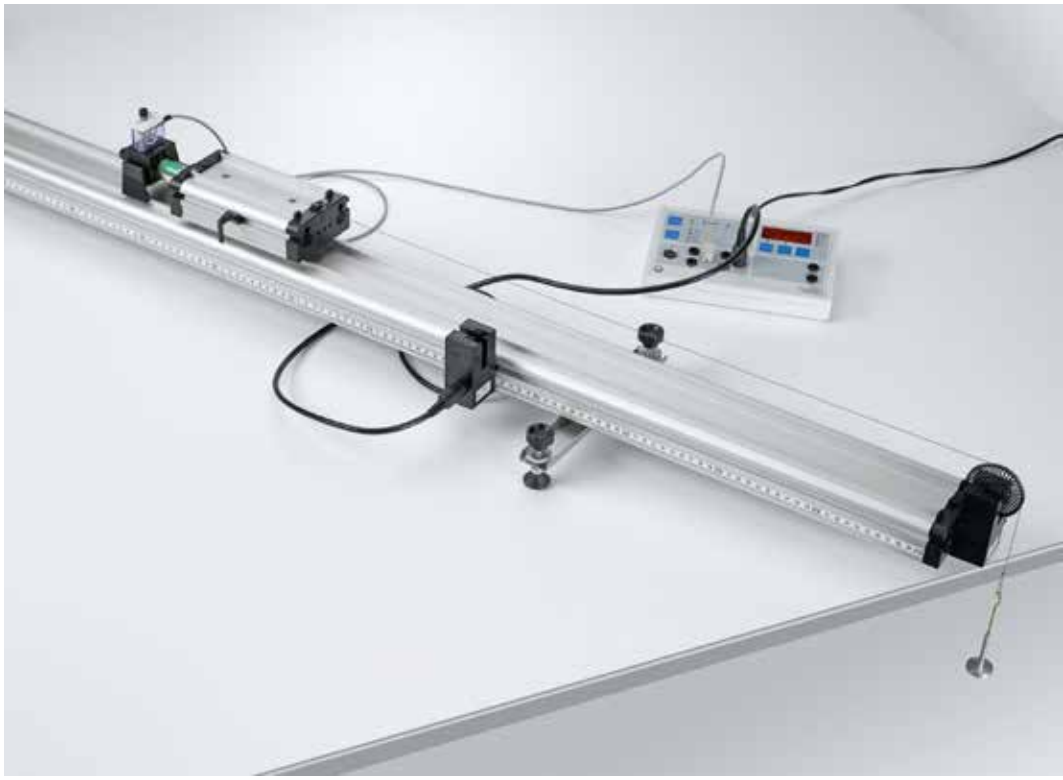
Para diferenciar entre fricción de deslizamiento y fricción de rodadura, se coloca al bloque sobre una serie de varillas de soporte en paralelo. Como fuerza de fricción de rodadura F_R se mide la fuerza que se requiere para que el movimiento del bloque sobre las varillas rodantes sea uniforme. Para comparar nuevamente se mide la fuerza de fricción de deslizamiento F_G, en donde, esta vez el bloque se jala teniendo como base a las varillas redondas (dirección de jalón = dirección de los ejes de los cilindros). El experimento muestra que

$$F_G > F_R$$

MOVIMIENTO UNIDIMENSIONAL SOBRE EL CARRIL DE FLETCHER

P1.3.2.1
Registro del diagrama del recorrido de tiempo de movimientos rectilíneos - Registro del tiempo mediante contador

P1.3.2.2
Registro del diagrama del recorrido de tiempo de movimientos rectilíneos - Registro y evaluación con CASSY



Registro del diagrama del recorrido de tiempo de movimientos rectilíneos - Registro del tiempo mediante contador (P1.3.2.1)

N° de cat.	Descripción	P1.3.2.1	P1.3.2.2
337 130	Carril 1,5 m	1	1
337 110	Carro de medición	1	1
337 114	Masas adicionales, par	1*	1*
315 411	Portapesas 10 g	1	1
315 417	Pesa ranurada 10 g	4	4
309 48	Sedal	1	1
337 462	Barrera luminosa multiuso	1	1
337 463	Soporte de cojinete para rueda de radios multiuso	1	
337 464	Rueda de radios multiuso	1	1
683 41	Imán de retención por carril	1	1
336 25	Adaptador para imán de retención con disparador	1	
575 471	Contador S	1	
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 074	Timer S		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

* se requiere adicionalmente

El dispositivo clásico para estudiar movimientos de traslación lineales es el carril de Fletcher. Sobre un carril de rodadura redondo hecho de acero inoxidable se desplaza un móvil con dos ruedas casi exentas de fricción. Una pieza adicional portadora fija al móvil sirve para la recepción de pesas. La fricción se compensa con una leve inclinación del carril.

Con accesorios muy simples en el experimento P1.3.2.1 se tiende un puente didáctico directo apropiado para definir la velocidad v como cociente de la diferencia de recorridos Δs y la diferencia de tiempos Δt respectiva. La diferencia de recorridos Δs se lee de una regla situada directamente al lado del carril. El inicio y la parada de la medición electrónica de la diferencia de tiempo seactiva, según el equipamiento elegido, mediante un pulsador y una barrera luminosa. Para estudiar movimientos uniformemente acelerados, al carrito se le ata un hilo que pasa a través de una rueda en el que se cuelgan diferentes pesitas.

En el experimento P1.3.2.2 se estudian movimientos sobre el carril que se pueden transmitir a una rueda de radios multiuso por medio de un hilo delgado. La rueda de radios multiuso sirve como polea de desviación de movimiento suave. Las señales de la barrera luminosa multiuso se registran por el sistema de adquisición de datos CASSY y convertidas en un diagrama recorrido vs. tiempo. Como este diagrama es construido simultáneamente en el transcurso del experimento, en la práctica se ilustra la vinculación entre el movimiento y el diagrama.

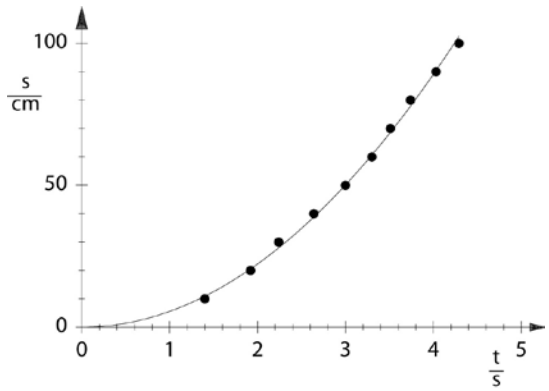
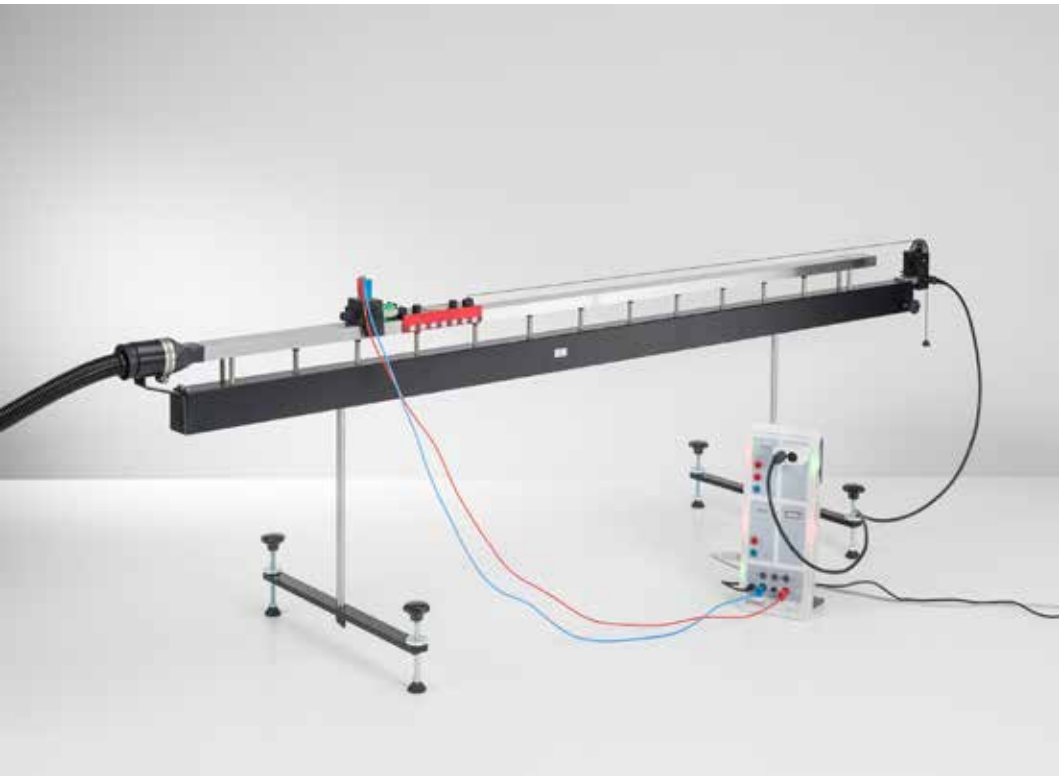


Diagrama del recorrido de tiempo del movimiento uniformemente acelerado (P1.3.2.1)



Registro del diagramas de recorrido-tiempo y velocidad-tiempo de movimientos rectilíneos - Registro y evaluación con CASSY (P1.3.3.4)

MOVIMIENTO UNIDIMENSIONAL SOBRE EL CARRIL DE COJÍN DE AIRE

P1.3.3.4
Registro del diagramas de recorrido-tiempo y velocidad-tiempo de movimientos rectilíneos - Registro y evaluación con CASSY

P1.3.3.5
Movimiento uniformemente acelerado con inversión de la dirección - Registro y evaluación con CASSY

P1.3.3.6
Energía cinética de una masa uniformemente acelerada - Registro y evaluación con CASSY

N° de cat.	Descripción	P1.3.3.4	P1.3.3.5	P1.3.3.6
337 501	Carril cojín de aire	1	1	1
337 53	Alimentación neumática	1	1	1
337 462	Barrera luminosa multiuso	1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1
524 074	Timer S	1	1	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

En el estudio de movimientos de traslación lineal sobre el carril con cojín de aire no existen variables perturbadoras como la fuerza de fricción y los momentos de inercia de ruedas.

Para el registro del tiempo transcurrido *t*, recorrido *s*, velocidad *v* y aceleración *a* de un deslizador sobre el carril con cojín de aire es sumamente apropiado el sistema de adquisición de datos CASSY. El movimiento lineal del deslizador es transmitido al transductor de movimiento a través de un hilo levemente tenso, cuyas señales se adaptan a las entradas de medición de CASSY mediante la unidad Timer S.

El objetivo del experimento P1.3.3.4 es estudia el movimiento uniforme y el movimiento uniformemente acelerado en una vía aérea alineada horizontalmente.

En el experimento P1.3.3.5 se registra la distancia, velocidad y aceleración de un objeto deslizante. Este objeto primero se mueve cuesta arriba en un plano inclinado, luego se detiene, para luego deslizarse hacia abajo y rebotar elásticamente en el punto mas bajo, moviéndose oscilatoriamente hacia arriba y abajo varias veces.

En el experimento P1.3.3.6 se registra la energía cinética en función del tiempo

$$E = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

de un carrito acelerado uniformemente de masa *m* y se compara con el trabajo

$$W = F \cdot s$$

que la fuerza *F* realizó. Aquí se verifica la relación

$$E(t) = W(t)$$

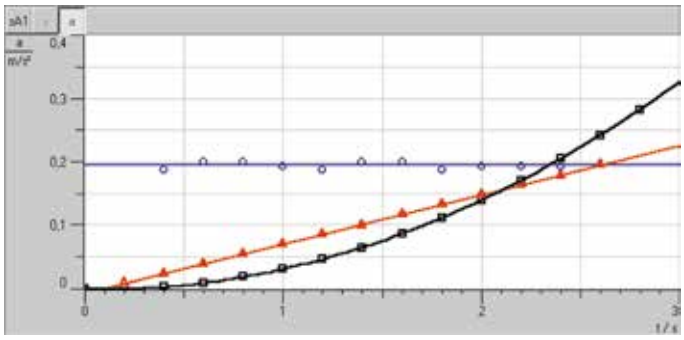


Diagrama trayectoria-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo (P1.3.3.4)

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

P1.3.4.1
Energía y cantidad de movimiento rectilíneo en un choque elástico e inelástico sobre el carril de Fletcher - Medición con dos barreras luminosas y CASSY

P1.3.4.6
Energía y cantidad de movimiento rectilíneo en un choque elástico y inelástico sobre el carril de Fletcher - Medición con dos barreras luminosas y contador

Energía y cantidad de movimiento rectilíneo en un choque elástico e inelástico sobre el carril de Fletcher - Medición con dos barreras luminosas y CASSY (P1.3.4.1)

N° de cat.	Descripción	P1.3.4.1	P1.3.4.6
337 130	Carril 1,5 m	1	1
337 110	Carro de medición	2	2
337 114	Masas adicionales, par	1	1
337 112	Muelle de choque para carril	1	1
337 462	Barrera luminosa multiuso	2	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 074	Timer S	1	
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	2	2
575 451	Aparato de contador P		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		

En la verificación experimental de la cantidad de movimiento la implementación del carril y del carril con cojín de aire permite obtener muy buenos resultados.

En el experimento P1.3.4.1 se miden los tiempos de oscurecimiento Δt_i de dos barreras luminosas, causadas, por ejemplo, por dos deslizadores desplazándose en el carril, antes y después del choque, elástico o inelástico, según sea el caso. Se estudia el choque entre un deslizador en movimiento y otro en reposo y también entre dos deslizadores en movimiento. Se pueden calcular y comparar las velocidades si uno lo desea.

$$v_i = \frac{d}{\Delta t_i}$$

d: ancho de la bandera de interrupción

la cantidad de movimiento

$$p_i = m_i \cdot v_i$$

m_i: masas de los deslizadores

y las energías

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2$$

de los deslizadores antes y después del choque.

En el experimento P1.3.4.6 se miden los tiempos de oscurecimiento Δt_i de dos barreras luminosas, causados, por ejemplo, por dos deslizadores desplazándose en el carril, antes y después del choque, elástico o inelástico, según sea el caso. Se estudia el choque entre un deslizador en movimiento y otro en reposo y también entre dos deslizadores en movimiento. Se pueden calcular y comparar las velocidades si uno lo desea.

$$v_i = \frac{d}{\Delta t_i}$$

d: ancho de la bandera de interrupción

la cantidad de movimiento

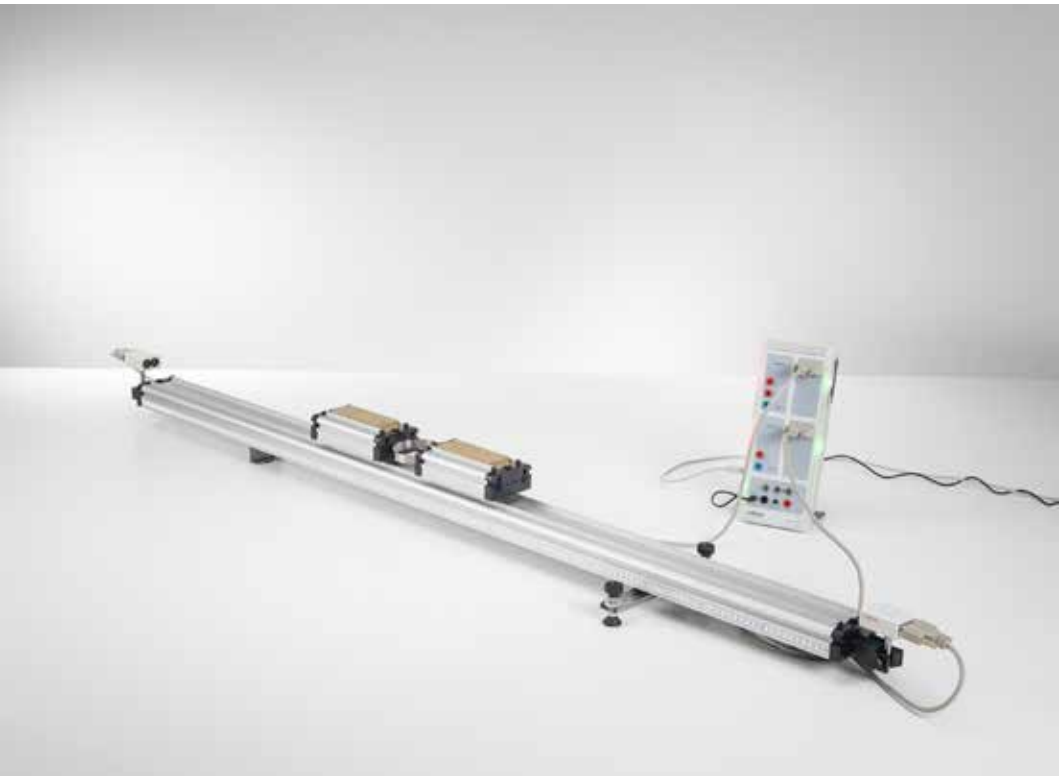
$$p_i = m_i \cdot v_i$$

m_i: masas de los deslizadores

y las energías

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2$$

de los deslizadores antes y después del choque.



CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

P1.3.4.5
Tercer axioma de Newton y leyes de choques - Registro y evaluación con dos sensores de ultrasonido y CASSY

Tercer axioma de Newton y leyes de choques - Registro y evaluación con dos sensores de ultrasonido y CASSY (P1.3.4.5)

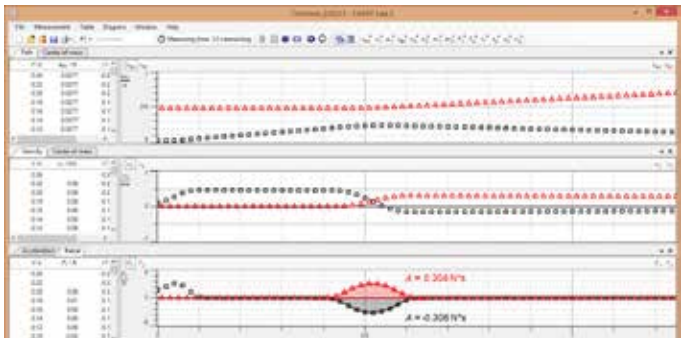
N° de cat.	Descripción	P1.3.4.5
337 130	Carril 1,5 m	1
337 110	Carro de medición	2
337 114	Masas adicionales, par	1
337 473	Muelle de choque grande	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 0701	Sensor de ultrasonido S	2
501 11	Cable de extensión, 15 polos	2
301 25	Bloque de soporte MF	2
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm	4
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

En el experimento P1.3.4.5 se estudia la manera en la que se mide la colisión elástico o inelástico de los dos carritos mediante sensores ultrasónicos. *v(t)* y *a(t)*. Los diagramas se obtienen mediante el sensor CASSY. Las fuerzas $F_1(t)$ y $F_2(t)$ se pueden calcular a partir de las aceleraciones $a_1(t)$ y $a_2(t)$ y las masas m_1 y m_2 de los carritos. Con esto se confirma que $F_1(t) = -F_2(t)$ se aplica durante la colisión. Sigue la conservación del impulso durante todo el proceso de colisión:

$$\Delta p_1 + \Delta p_2 = \int F_1(t)dt + \int F_2(t)dt = \int (F_1(t) + F_2(t))dt = 0$$

Además, el centro de movimiento de masas $s_3(t)$ y se puede demostrar que la velocidad $v_3(t)$ del centro de gravedad durante todo el proceso de colisión es constante. Esto muestra una alternativa de conservación del impulso durante todo el proceso de colisión:

$$v_3 = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{p}{m_1 + m_2} = const.$$



Trayectoria, velocidad y transferencia de momento durante la colisión (P1.3.4.5)

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

P1.3.4.8
Energía y cantidad de movimiento en un choque elástico y inelástico sobre el carril de cojín de aire - Medición con dos barreras luminosas y CASSY

P1.3.4.10
Principio del cohete: Conservación de la cantidad de movimiento y retroceso

Energía y cantidad de movimiento en un choque elástico y inelástico sobre el carril de cojín de aire - Medición con dos barreras luminosas y CASSY (P1.3.4.8)

N° de cat.	Descripción	P1.3.4.8	P1.3.4.10
337 501	Carril cojín de aire	1	1
337 53	Alimentación neumática	1	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	2	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 074	Timer S	1	
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	2	
337 56	Aerodeslizador a reacción con 3 toberas		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N		1
309 48	Sedal		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

En la verificación experimental de la cantidad de movimiento la implementación del carril y del carril con cojín de aire permite obtener muy buenos resultados.

En el experimento P1.3.4.8 se miden los tiempos de oscurecimiento Δt_i de dos barreras luminosas, causados, por ejemplo, por dos deslizadores desplazándose en el carril, antes y después del choque, elástico o inelástico, según sea el caso. Se estudia el choque entre un deslizador en movimiento y otro en reposo y también entre dos deslizadores en movimiento. El programa de evaluación calcula y compara las velocidades si uno lo desea.

$$v_i = \frac{d}{\Delta t_i}$$

d: ancho de la bandera de interrupción

la cantidad de movimiento

$$p_i = m_i \cdot v_i$$

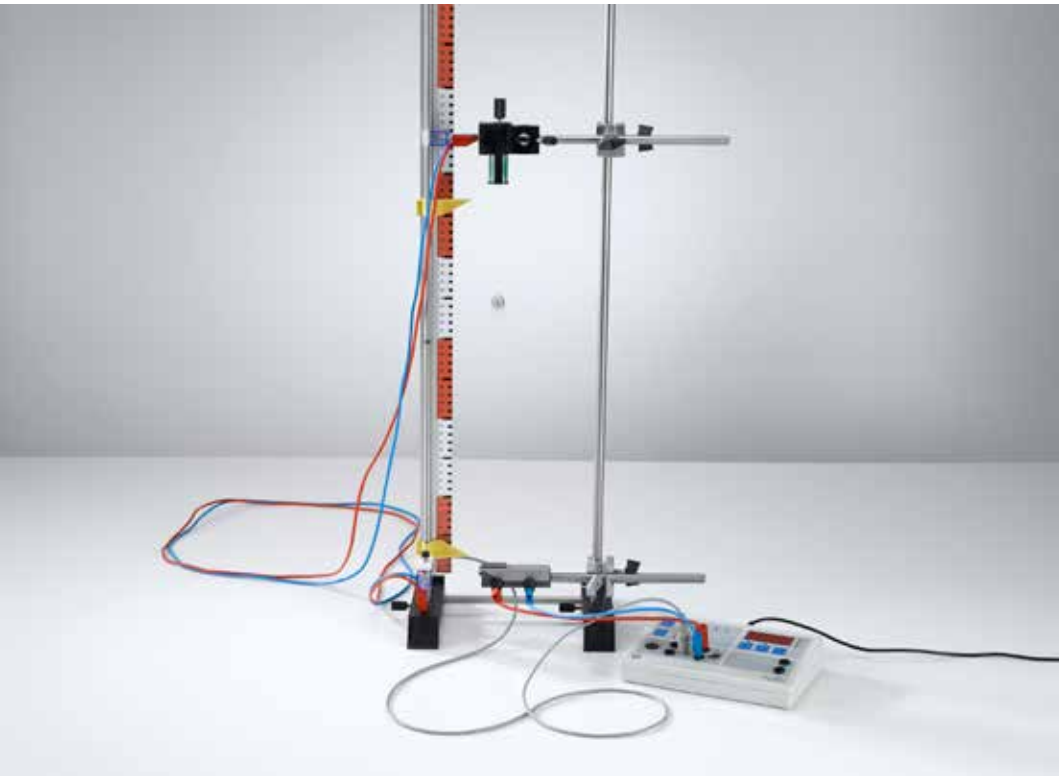
m_i: masas de los deslizadores

y las energías

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2$$

de los deslizadores antes y después del choque.

En el experimento P1.3.4.10, para estudiar la relación entre la reacción y la conservación de la cantidad de movimiento, se mide la fuerza de retroceso sobre un aerodeslizador para diferentes secciones transversales de tobera con un sensor de fuerza.



CAÍDA LIBRE

P1.3.5.1
Caída libre: Medición del tiempo con placa de contacto y el contador S

Caída libre: Medición del tiempo con placa de contacto y el contador S (P1.3.5.1)

N° de cat.	Descripción	P1.3.5.1
336 23	Placa grande de contacto	1
336 21	Imán de retención con manguito	1
336 25	Adaptador para imán de retención con disparador	1
575 471	Contador S	1
301 21	Base de soporte MF	2
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	3
300 46	Varilla de soporte, 150 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
311 23	Regla con manecillas	1
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1
501 35	Cable de experimentación, 200 cm, rojo	1
501 36	Cable de experimentación, 200 cm, azul	1

Para estudiar la caída libre una esfera de acero es suspendida a un electroimán. La esfera cae por la fuerza de su peso

$$F = m \cdot g$$

m: masa de la bola, g: aceleración de la gravedad

con una aceleración uniforme tan pronto se desconecta el electroimán. La fricción del aire se puede desestimar, siempre que el trayecto de caída libre y con ello la velocidad final no sea grande. Es decir, la esfera cae libremente.

En el registro punto a punto en la medición de los datos para obtener el diagrama recorrido – tiempo de caída libre, el estudio del resultado se puede realizar en función de parámetros del experimento como son la velocidad inicial o la altura de caída para lo cual se necesitaría mucho tiempo. Ese estudio es mucho más simple si toda la serie de mediciones de un diagrama de recorrido – tiempo se registra en un proceso de medición con el ordenador.

En el experimento P1.3.5.1 se inicia la medición electrónica del tiempo tan pronto como la esfera es liberada al interrumpir la corriente del imán. Después de caer una altura h la esfera cae sobre una placa de contacto y detiene la medición en el tiempo t. Las mediciones para diferentes alturas se grafican como pares de valores en un diagrama recorrido – tiempo. Como la esfera al inicio de la medición se encuentra en reposo, g se puede determinar a partir de la ecuación:

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

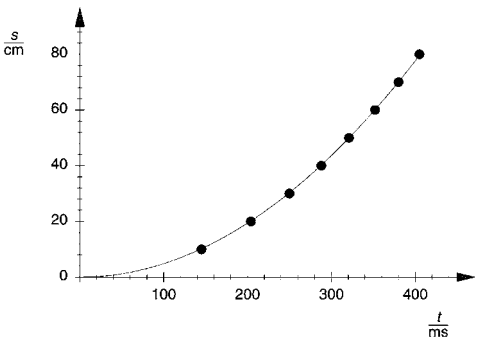


Diagrama trayectoria-tiempo de la caída libre de la pelota (P1.3.5.1)

CAÍDA LIBRE

P1.3.5.3
Caída libre: Medición múltiple del tiempo con la escalerilla g

Caída libre: Medición múltiple del tiempo con la escalerilla g (P1.3.5.3)

N° de cat.	Descripción	P1.3.5.3
529 034	Escalerilla g	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 074	Timer S	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

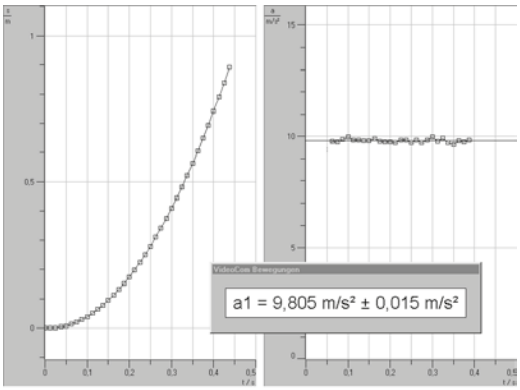
En el registro punto a punto en la medición de los datos para obtener el diagrama recorrido – tiempo de caída libre, el estudio del resultado se puede realizar en función de parámetros del experimento como son la velocidad inicial o la altura de caída para lo cual se necesitaría mucho tiempo. Ese estudio es mucho más simple si toda la serie de mediciones de un diagrama de recorrido – tiempo se registra en un proceso de medición con el ordenador.

En el experimento P1.3.5.3, una escalerilla con varios peldaños cae através de una barrera luminosa conectada a la interface CASSY para medir los tiempos de oscurecimiento. La medición es equivalente a una medición en la que un cuerpo cae por varias barreras luminosas equidistantes. La altura de caída del cuerpo corresponde al ancho de los peldaños. Los datos de la medición se registran y evalúan mediante el CASSY Lab. A partir de los tiempos de cierre y el ancho de los peldaños se calculan las velocidades instantáneas y se representan en un diagrama velocidad – tiempo $v(t)$. Los puntos de la medición pueden ser descritos mediante la recta

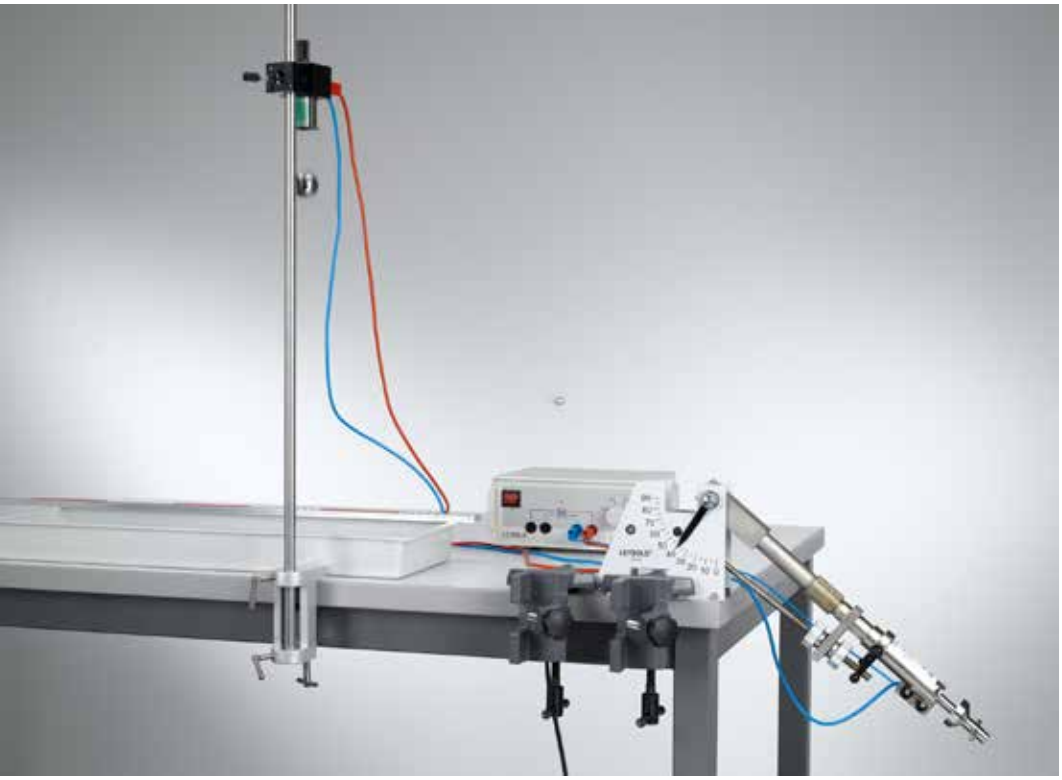
$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$

g: aceleración de la caída libre

en donde v_0 es la velocidad inicial que tiene el primer escalón de la escalerilla al pasar por la barrera luminosa.



Path-time and acceleration-time diagrams of the falling body (P1.3.5.3)



Principio de superposición: Comparación entre lanzamiento oblicuo y caída libre (P1.3.6.2)

LANZAMIENTO OBLICUO

P1.3.6.1
Registro punto a punto de la trayectoria parabólica en función de la velocidad y el ángulo de lanzamiento

P1.3.6.2
Principio de superposición: Comparación entre lanzamiento oblicuo y caída libre

N° de cat.	Descripción	P1.3.6.1	P1.3.6.2
336 56	Máquina lanzadora rande	1	1
301 06	Mordaza de mesa	2	2
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
300 76	Soporte elevador II, 16 x 13 cm	1	
311 22	Regla vertical, l = 1 m	1	
300 11	Zócalo	1	
649 42	Bandeja 6 x 2 RE	1	1
688 108	Arena de cuarzo, 1 kg	1	1
336 21	Imán de retención con manguito		1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V		1
311 02	Regla de metal, l = 1 m		1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø		1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla		1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul		1
501 35	Cable de experimentación, 200 cm, rojo		1
501 36	Cable de experimentación, 200 cm, azul		1

Por el principio de superposición se puede construir la curva de la trayectoria de una bola que ha sido lanzada con un ángulo de lanzamiento α con velocidad de lanzamiento v_0. El movimiento está compuesto de un movimiento con velocidad horizontal constante en el sentido del lanzamiento y un movimiento decaída vertical hacia abajo. De esta superposición resulta una parábola, cuya altura y ancho depende del ángulo de lanzamiento y de la velocidad de lanzamiento.

En el experimento P1.3.6.1 se mide punto a punto la curva del vuelo de la esfera de acero mediante una regla vertical. Para ello la regla vertical, situada a una distancia dada del punto de disparo, se ajusta de tal manera que ambos indicadores de la misma se encuentran en una posición en la que la esfera pase entre ambos. La trayectoria del vuelo corresponde en buena aproximación a una parábola. La desviación de la forma de parábola que se observa se debe a la fricción del aire.

En el experimento P1.3.6.2 se suspende una segunda esfera mediante un imán de retención de tal manera que esta, en reposo, sería impactada por la primera si es que esta se moviese con velocidad constante en dirección del lanzamiento. Luego simultáneamente con el disparo de la primera esfera se deja caer la segunda bola en caída libre. Se observa que ambas esferas colisionan independientemente de la velocidad de disparo v_0 de la primera bola obteniéndose de esta manera la verificación del principio de superposición.

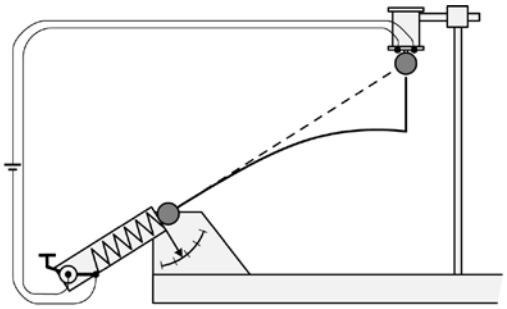


Diagrama esquemático que compara la proyección angular y la caída libre (P1.3.6.2)

MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

P1.4.1.1
Diagramas del recorrido de tiempo de movimientos giratorios - Medición del tiempo con el contador

P1.4.1.2
Diagramas del recorrido de tiempo de movimientos giratorios - Registro y evaluación con CASSY

Diagramas del recorrido de tiempo de movimientos giratorios - Medición del tiempo con el contador (P1.4.1.1)

N° de cat.	Descripción	P1.4.1.1	P1.4.1.2
347 23	Sistema de rotación	1	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1	
575 471	Contador S	1	
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1
300 76	Soporte elevador II, 16 x 13 cm	1	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1	1
337 462	Barrera luminosa multiuso		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 074	Timer S		1
336 21	Imán de retención con manguito		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
300 11	Zócalo		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

Con el propósito de estudiar cuantitativamente el movimiento de rotación, un disco de plexiglás de fricción mínima se desplaza para obtener un movimiento constante o un movimiento uniformemente acelerado. Para determinar la velocidad angular se utiliza una barrera luminosa, cuyo rayo de luz es interrumpido por una bandera de 10° del disco de rotación. Con dos barreras luminosas es posible iniciar y detener la medición del tiempo t para un ángulo φ(opcional posible). Aquí se calcula la velocidad

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

Si solo se dispone de una barrera luminosa, entonces solo se mide el tiempo de oscurecimiento Δt con el cual se calcula la velocidad angular instantánea

$$\omega = \frac{10°}{\Delta t}$$

El uso del sistema de medición computarizado CASSY facilita el estudio del movimiento rotatorio uniforme y el movimiento rotatorio uniformemente acelerado. Un hilo estirado sobre la superficie del modelo rotatorio transmite el movimiento rotatorio al sensor de movimiento, cuyas señales están adaptadas a las entradas del CASSY a través de una caja.

En el experimento P1.4.1.1 se introducen los conceptos de velocidad angular ω y aceleración angular en analogía a los conceptos de velocidad y aceleración en los movimientos de traslación. Además se estudian los movimientos de rotación uniformes y uniformemente acelerados. Los resultados se grafican en un diagrama de velocidad – tiempo $\omega(t)$. En el caso de un movimiento uniformemente acelerado de un disco giratorio con velocidad inicial cero la aceleración angular se obtiene de la relación lineal siguiente:

$$\omega = \alpha \cdot t$$

El tema del experimento P1.4.1.2 es el movimiento de rotación acelerado homogéneo y constante que se estudia en analogía con los movimientos de traslación acelerados homogéneos y contantes.

Conservación del momento angular en un choque giratorio elástico e inelástico (P1.4.2.1)

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

P1.4.2.1
Conservación del momento angular en un choque giratorio elástico e inelástico

N° de cat.	Descripción	P1.4.2.1
347 23	Sistema de rotación	1
524 431	Barrera de luz M	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1

En analogía a los choques entre cuerpos con movimientos de traslación también es posible describir choques giratorios entre cuerpos que giran, si los ejes de rotación de los cuerpos son paralelos entre sí y permanecen sin cambiar durante el choque. Con el sistema de rotación de estos experimentosse cumple con esta condición. El momento angular tiene la forma

$$L = I \cdot \omega$$

I: momento de inercia, ω: velocidad angular

El principio de la conservación del momento angular dice que en un choque giratorio de dos cuerpos que giran el parámetro

$$L = I_1 \cdot \omega_1 + I_2 \cdot \omega_2$$

permanece constante antes y después del choque.

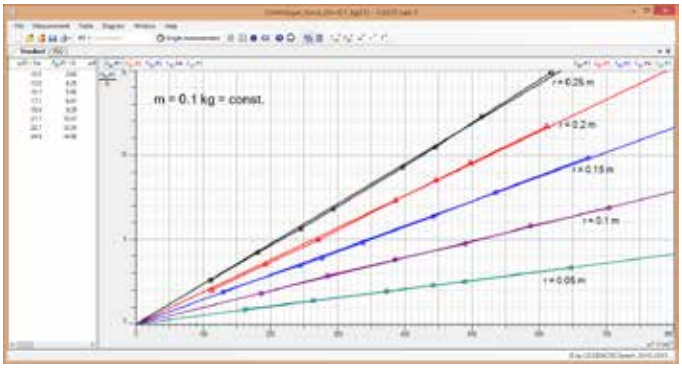
En experimento P1.4.2.1 se estudian choques giratorios elásticos e inelásticos. Con dos barreras luminosas y el sistema de adquisición de datos CASSY se miden los tiempos de oscurecimiento de dos banderas de interrupción como medida de las velocidades angulares antes y después del choque giratorio.

FUERZA CENTRÍFUGA

P1.4.3.3
Fuerza centrífuga sobre un cuerpo en movimiento de rotación - Medición con el aparato de fuerza centrífuga y CASSY

Fuerza centrífuga sobre un cuerpo en movimiento de rotación - Medición con el aparato de fuerza centrífuga y CASSY (P1.4.3.3)

N° de cat.	Descripción	P1.4.3.3
524 068	Aparato para fuerza centrífuga S	1
521 491	Unidad de alimentación CA/CC 0...12 V/3 A	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 074	Timer S	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1
301 06	Mordaza de mesa	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1



Precesión del giroscopio(P1.4.3.3)

El dispositivo de fuerza centrífuga S permite la investigación experimental de la fuerza centrífuga *F* en función de la masa en rotación *m*, la distancia *r* entre la masa y el eje de rotación; y la velocidad angular ω. De esta manera, la ecuación de la fuerza centrífuga

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

r: radio de la trayectoria, ω: velocidad angular

es confirmada.

En el dispositivo de fuerza centrífuga S, la fuerza centrífuga *F* que actúa sobre la masa *m* se transmite mediante una palanca con rótula integrada y un alfiler en el eje de rotación hacia una ballesta, cuya desviación se mide eléctricamente a través de un calibrador de tensión conectado en puente. En el rango de medición relevante para el experimento, la deformación de la ballesta es elástica y proporcional a la fuerza *F*.

En el experimento P1.4.3.3, la relación

$$F \propto \omega^2$$

se deriva directamente de la forma parabólica de la curva *F*(ω). Para verificar las proporcionalidades

$$F \propto r, \quad F \propto m$$

se graban y analizan las curvas en función a diferentes radios *r* y diferentes masas *m*.

Precesión y nutación del giroscopio (P1.4.4.3)

MOVIMIENTOS DEL GIROSCOPIO

P1.4.4.3
Precesión y nutación del giroscopio

N° de cat.	Descripción	P1.4.4.3
348 20	Giroscopio	1
342 63	Pesa 50 g	2
524 082	Sensor de giro S	1
337 468	Barrera luminosa de reflexión	1
590 021	Pinza doble elástica	1
524 074	Timer S	1
524 220	CASSY Lab 2	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

En general los giroscopios tienen movimientos muy complicados, ya que el eje de rotación sólo se apoya en un punto origen y su dirección cambian constantemente. Uno debe diferenciar entre precesión y nutación de un giroscopio.

El objetivo del experimento P1.4.4.3 es investigar la precesión de un giroscopio. La frecuencia de precesión f_P es medida a través de un sensor de movimiento rotatorio S, y la frecuencia f del disco del giroscopio se mide a través de una barrera de luz, cada una de ellas en combinación con CASSY. La dependencia entre la frecuencia de precesión f_P y la fuerza aplicada (el torque M) y la frecuencia de rotación f, se determinan cuantitativamente. La relación

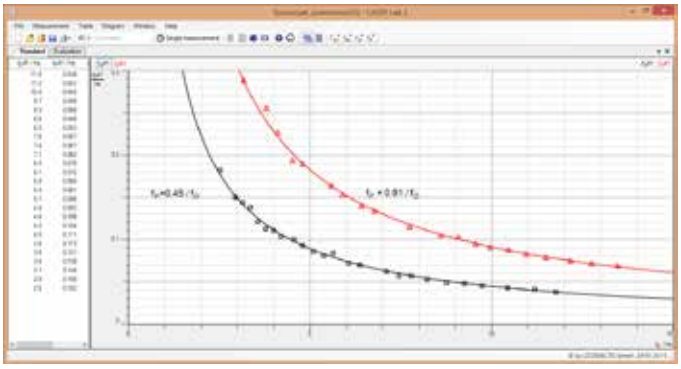
$$\omega_P = \frac{M}{I} \cdot \frac{1}{\omega}$$

es válida para las frecuencias angulares ω_P y ω en caso que el momento de inercia I del giroscopio alrededor de su eje de simetría sea un valor conocido.

La nutación de un giroscopio libre de fuerzas se investiga. La frecuencia de nutación f_N se mide a través de un sensor de movimiento rotatorio S, y la frecuencia f del disco del giroscopio se mide a través de una barrera de luz, cada una de ellas en combinación con CASSY. La dependencia entre la frecuencia de nutación y la frecuencia de rotación se determina cuantitativamente. La relación

$$\omega_N = \frac{I \cdot \omega}{I_\perp}$$

es válida para las frecuencias angulares ω_N and ω en caso que el momento de inercia I del giroscopio alrededor de su eje de simetría (eje de rotación del disco del giroscopio) y el momento de inercia $I_\perp$ con respecto al punto de apoyo, sean valores conocidos.



Precession of the gyroscope (P1.4.4.3)

MOMENTO DE INERCIA

P1.4.5.1
Definición del momento de inercia

P1.4.5.2
El momento de inercia y la forma de un cuerpo

P1.4.5.3
Comprobación del teorema de Steiner

Definición del momento de inercia (P1.4.5.1)

N° de cat.	Descripción	P1.4.5.1	P1.4.5.2	P1.4.5.3
347 801	Eje de torsión	1	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1	1
347 81	Juego de cilindros para eje de torsión		1	
347 82	Esfera para el eje de torsión		1	
347 83	Disco circular para el eje de torsión			1

Confirmación del teorema de Steiner (P1.4.5.3)

En un cuerpo rígido cualquiera, cuyas masas elementales m_i tienen distancias r_i al eje de rotación, el momento de inercia es

$$I = \sum_i m_i \cdot r_i^2$$

Para una masa puntal m que gira en una trayectoria circular con radio r se cumple que

$$I = m \cdot r^2$$

El momento de inercia queda determinado a partir del periodo de oscilación de un eje de torsión, en el que se ha insertado el cuerpo de prueba y que está unido con el soporte mediante un resorte de voluta elástico. El sistema es excitado para obtener oscilaciones armónicas. A partir del periodo de oscilación T y con el factor direccional angular D se calcula el momento de inercia del cuerpo de prueba según

$$I = D \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

En el experimento P1.4.5.1 se determina el momento de inercia de una «masa puntual» en función de la distancia r al eje de rotación. Para ello se inserta una varilla con dos masas iguales en dirección transversal al eje de torsión. Los centros de gravedad de ambas masas tiene las mismas distancias r al eje de rotación, de tal manera que el sistema oscila sin desequilibrarse.

En el experimento P1.4.5.2 se compara los momentos de inercia del cilindro hueco, con el cilindro macizo y la esfera maciza. A tal fin, el equipo contiene dos cilindros macizos de la misma masa pero con diferentes radios. Además, se dispone de un cilindro hueco que tiene la misma masa y radio que uno de los cilindros macizos y de una bola maciza cuyo momento de inercia concuerda con uno de los cilindros macizos.

En el experimento P1.4.5.3 se realiza la verificación experimental del teorema de Steiner tomando como ejemplo un disco circular plano. Con tal propósito se miden los momentos de inercia I_A del disco circular para diferentes distancias a del eje de rotación respecto al centro de gravedad y se compara con el momento de inercia I_S alrededor del eje del centro de gravedad. De esta manera, se verifica la relación:

$$I_A - I_S = M \cdot a^2$$

Rueda de Maxwell (P1.4.6.1)

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

P1.4.6.1
Rueda de Maxwell

P1.4.6.2
Rueda de Maxwell - Registro y evaluación con sensor de ultrasonido

N° de cat.	Descripción	P1.4.6.1	P1.4.6.2
331 22	Rueda de Maxwell	1	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1	
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	
575 471	Contador S	1	
336 25	Adaptador para imán de retención con disparador	1	
311 23	Regla con manecillas	1	1
300 11	Zócalo	1	1
301 25	Bloque de soporte MF	1	
301 21	Base de soporte MF	2	2
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	2	3
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	2	2
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	4	7
524 0701	Sensor de ultrasonido S		1
501 11	Cable de extensión, 15 polos		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

El principio de la conservación de la energía dice que la suma de toda la energía en un sistema cerrado se debe mantener constante en el tiempo. La energía dentro de este sistema puede transformarse entre distintos tipos, por ejemplo, el potencial en energía cinética.

Sin embargo, la experiencia práctica muestra que la energía sí se pierde. La causa de esto son procesos de transformación en formas de energía que no podemos percibir fácilmente, por ejemplo, en energía de fricción.

En el experimento P1.4.6.1 se estudia la conservación de la energía en la rueda de Maxwell. Durante el experimento, la energía potencial E_{pot} se transforma en energía cinética E_{kin}, así como en un movimiento lineal E_{trans} y en movimiento rotacional E_{rot}. Se miden tiempos y velocidades para distintas alturas. Con los datos recogidos se puede definir el momento de inercia de la rueda de Maxwell. Conocido el momento de inercia, se puede calcular la aceleración gravitacional.

En el experimento P1.4.6.2 se estudia la conservación de la energía en la rueda de Maxwell. Un sensor de ultrasonido mide la posición y la velocidad de la rueda y, por lo tanto, la energía cinética se calculan.

PÉNDULO MATEMÁTICO Y PÉNDULO FÍSICO

P1.5.1.1
Determinación de la aceleración de la gravedad con un péndulo matemático

P1.5.1.7
Determinación de la aceleración de la gravedad con un péndulo matemático - Medición con barrera luminosa

Determinación de la aceleración de la gravedad con un péndulo matemático - Medición con barrera luminosa (P1.5.1.7)

N° de cat.	Descripción	P1.5.1.1	P1.5.1.7
340 851	Peso de 50 g	3	3
686 51	Cordón	1	1
314 04	Asa de soporte, fijable	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
LDS 00001	Cronómetro, digital	1	
301 21	Base de soporte MF	2	2
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	1	1
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	1	1
301 25	Bloque de soporte MF	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
524 431	Barrera de luz M		1
688 808	Varilla de suporte, 10 x 223 mm, con rosca M6		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1

En el caso de un péndulo físico, se considera la distribución de la masa de un cuerpo rígido. El cálculo del período de oscilación T se basa en el momento de inercia J alrededor del punto de suspensión, la masa m y la distancia s del punto de suspensión desde el centro de masa.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{mgs}}$$

La longitud del péndulo reducido l_R es la longitud de un péndulo matemático del mismo período de oscilación.

A menudo la longitud reducida del péndulo no puede ser determinada con la precisión deseada porque la determinación exacta del momento de inercia o del centro de gravedad es difícil. En el caso del péndulo de reversión, la distribución de la masa se modifica de manera que los períodos de oscilación de los dos ejes de rotación son los mismos. Como resultado, es evidente que la longitud reducida del péndulo l_R corresponde a la distancia entre los dos ejes de rotación y, por lo tanto, se conoce con gran precisión.

En el experimento P1.5.1.1 se utiliza un peso en un sedal para determinar la aceleración de la gravedad. Como la masa del peso es mucho mayor que la masa del sedal, en la cual el peso cuelga, a este péndulo se le puede considerar como una buena aproximación de un péndulo matemático. Para mejorar la precisión de la medición se toman en cuenta varias oscilaciones. El error encontrado para la aceleración de la gravedad depende esencialmente de la precisión en la medición de la longitud del péndulo.

En el experimento P1.5.1.7 se utiliza un peso en un sedal para determinar la aceleración de la gravedad. Como la masa del peso es mucho mayor que la masa del sedal, en la cual el peso cuelga, a este péndulo se le puede considerar como una buena aproximación de un péndulo matemático. La medición se realiza con una barrera de luz y CASSY. El error encontrado para la aceleración de la gravedad depende esencialmente de la precisión en la medición de la longitud del péndulo.

Oscilaciones de un péndulo rígido y determinación de la aceleración de la gravedad - Medición con sensor de giro (P1.5.1.3)

PÉNDULO MATEMÁTICO Y PÉNDULO FÍSICO

P1.5.1.3
Oscilaciones de un péndulo rígido y determinación de la aceleración de la gravedad - Medición con sensor de giro

P1.5.1.6
Péndulo con aceleración de la gravedad g variable

N° de cat.	Descripción	P1.5.1.3	P1.5.1.6
346 20	Péndulo físico	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	
524 082	Sensor de giro S	1	1
301 21	Base de soporte MF	2	2
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	1	2
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

En el experimento P1.5.1.3, la oscilación de un péndulo físico simple es investigada. Usando el sensor de movimiento rotatorio S, la oscilación del péndulo se registra en función al tiempo. El ángulo $\alpha(t)$, la velocidad $\omega(t)$ y la aceleración $\alpha(t)$ se comparan. Además, la longitud efectiva del péndulo se determina a partir del periodo de oscilación T.

Se investiga la dependencia entre el periodo T y la amplitud A de una oscilación. Teniendo en cuenta amplitudes de desviación moderadas, la oscilación del péndulo es aproximadamente harmónica y el periodo es independiente de la amplitud. Si la amplitud de desviación es alta, esta aproximación ya no es valida: cuanta más alta sea la amplitud mas largo será el periodo.

El péndulo simple se usa como un péndulo reversible. El valor de aceleración de la gravedad es determinado. El péndulo se instala usando dos puntos de apoyo localizados en extremos opuestos de la varilla. La posición de dos pesos deslizantes modifica el periodo. Si el péndulo se ajusta correctamente, debe oscilar en ambos extremos con el mismo periodo T. La longitud efectiva l_r del péndulo corresponde a la distancia d entre los dos puntos de apoyo. La aceleración de la gravedad se calcula a partir de la longitud efectiva l_r del péndulo y el periodo T.

En el experimento P1.5.1.6, un péndulo con aceleración gravitatoria variable (variable g, péndulo) se instala y se estudia. El plano donde se lleva a cabo la oscilación es inclinado, por lo que la aceleración de la gravedad es reducida. Esto lleva a la obtención de diferentes periodos de oscilación dependiendo de la inclinación. En este experimento, la relación entre el periodo y el ángulo de inclinación es determinada. Además, la aceleración gravitatoria de diferentes cuerpos es simulada.

OSCILACIONES ARMÓNICAS

P1.5.2.1
Oscilaciones de un péndulo de resorte y determinación del periodo de un péndulo de resorte en función de la masa oscilante - Medición con CASSY

Oscilaciones de un péndulo de resorte y determinación del periodo de un péndulo de resorte en función de la masa oscilante - Medición con CASSY (P1.5.2.1.)

N° de cat.	Descripción	P1.5.2.1
352 10	Resorte helicoidal 3 N/m	1
342 63	Pesa 50 g	5
336 21	Imán de retención con manguito	1
337 462	Barrera luminosa multiuso	1
337 464	Rueda de radios multiuso	1
524 074	Timer S	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 46	Varilla de soporte, 150 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
301 08	Mordaza con gancho	1
309 48	Sedal	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Cuando un sistema es colocado fuera de su posición de equilibrio estable pueden surgir oscilaciones. La oscilación es denominada armónica si la fuerza de reposición F es proporcional a la desviación x respecto a la posición de equilibrio:

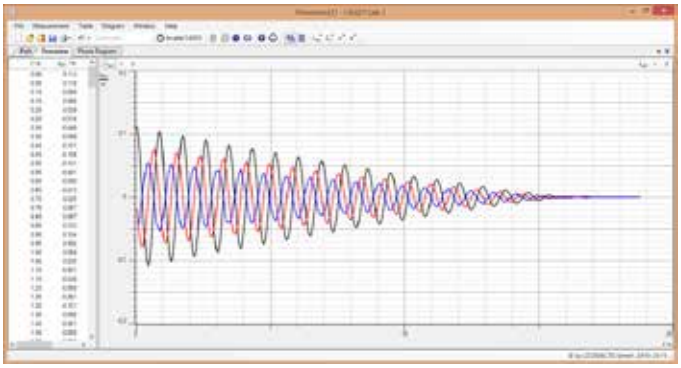
$$F = D \cdot x$$

D: constante direcctional

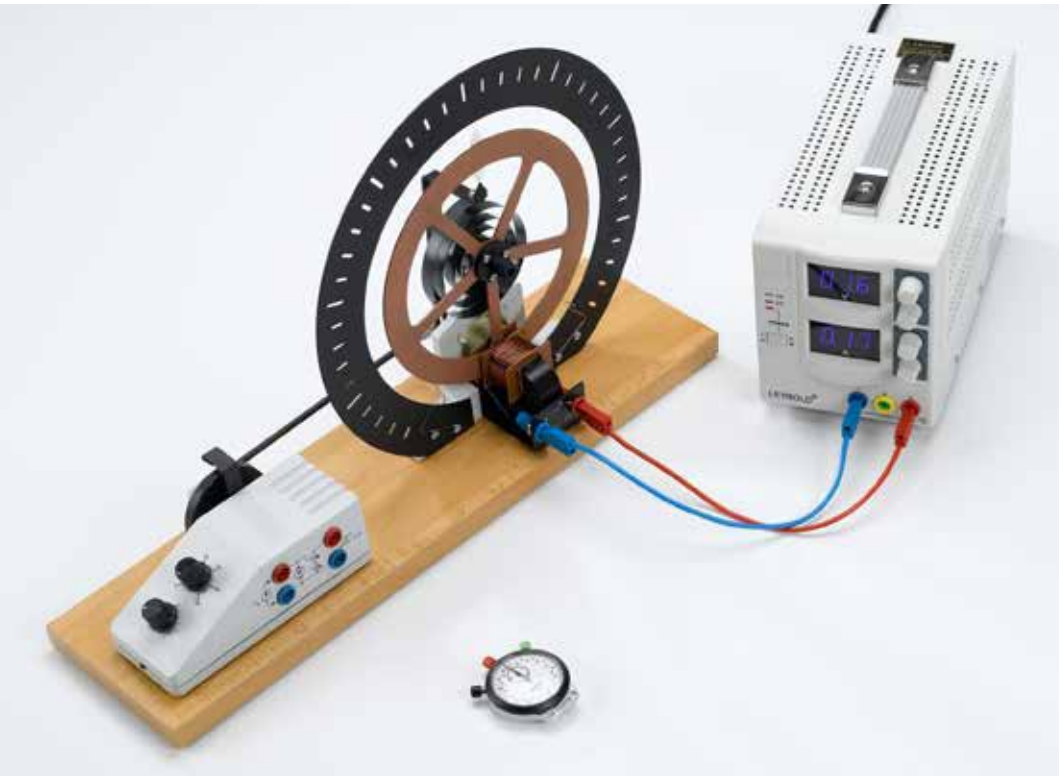
Un ejemplo clásico muy frecuente son las oscilaciones de un péndulo de resorte.

En el experimento P1.5.2.1 se registran las oscilaciones armónicas de un péndulo de resorte en función del tiempo por medio de un transductor de movimiento y del sistema de adquisición de datos CASSY. Para la evaluación, en la pantalla del ordenador el experimentador debe comparar los parámetros oscilatorios: recorrido x, velocidad v y aceleración a. Estas pueden ser representadas como funciones del tiempo t o en forma de una diagrama de fases. En el experimento se registran y evalúan las oscilaciones de un péndulo de resorte para diferentes masas colgantes m. Para el periodo se verifica la relación:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}$$



Trayectoria, velocidad y aceleración en el péndulo (P1.5.2.1)



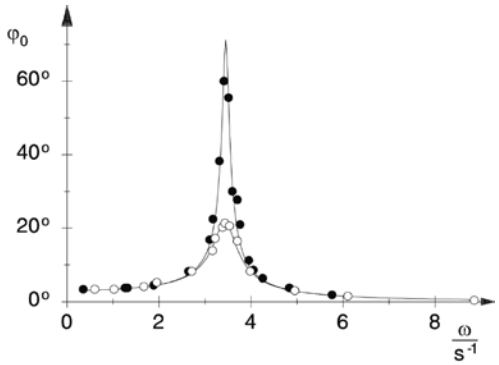
Oscilaciones torsionales libres - Medición mediante un cronómetro (P1.5.3.1)

PÉNDULO DE TORSIÓN DE POHL

P1.5.3.1
Oscilaciones torsionales libres - Medición mediante un cronómetro

P1.5.3.2
Oscilaciones torsionales forzadas - Medición mediante un cronómetro

N° de cat.	Descripción	P1.5.3.1	P1.5.3.2
346 00	Péndulo de torsión según Pohl	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	2
562 793	Adaptador de alimentación para péndulo d		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1



Curvas de resonancia para dos constantes de amortiguación diferentes (P1.5.3.2)

Para el registro y evaluación de las oscilaciones del péndulo de torsión es sumamente apropiado el sistema de adquisición de datos CASSY. Las múltiples posibilidades de evaluación permiten una amplia comparación entre la teoría y la práctica. Así, por ejemplo, se pueden representar los datos registrados como diagramas de recorrido-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo o como diagramas de fase (diagramas de recorrido-velocidad).

El objeto de estudio del experimento P1.5.3.1 son las oscilaciones armónicas libres de la forma

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cdot \cos\omega t \cdot e^{-\delta \cdot t} \text{ con } \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

ω_0: frequencia propia del péndulo de torsión

Para diferenciar entre las condiciones de oscilación y las defluencia se varía la constante de amortiguación Δ y se busca la corriente I_0 del caso límite aperiódico. En el caso oscilatorio se determina la frecuencia angular ω para diferentes amortiguaciones a partir del periodo de oscilación T y se determina la constante de amortiguación Δ utilizando la relación

$$\left|\frac{\varphi_{n+1}}{\varphi_n}\right| = e^{-\delta \cdot \frac{T}{2}}$$

entre dos amplitudes consecutivas. De la relación

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$$

se determina la frecuencia propia ω_0 .

En el experimento P1.5.3.2 el péndulo de torsión es excitado con la frecuencia ω con el propósito de hacerlo oscilar por medio de un momento de rotación armónico variable. En la representación de la resonancia se grafican las amplitudes de las oscilaciones, determinadas para diferentes amortiguaciones, en función de ω^2 y se comparan estos resultados con la curva teórica

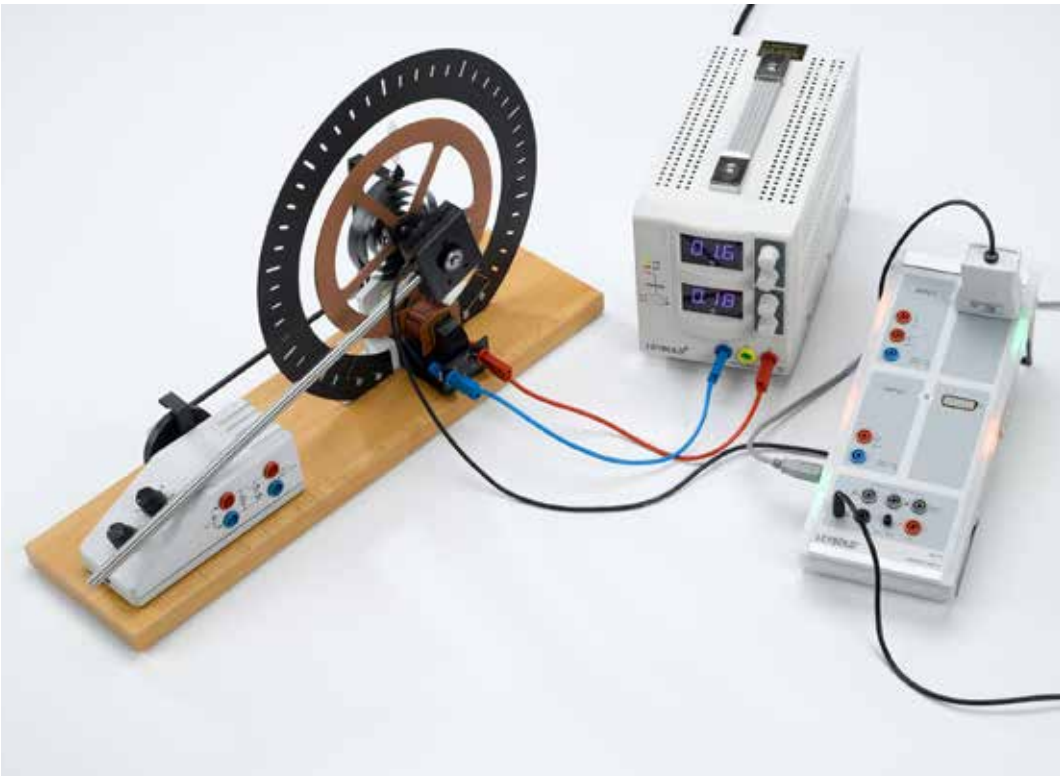
$$\varphi_0 = \frac{M_0}{I} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\omega^2 - \omega_0^2\right)^2 + \delta^2 \cdot \omega^2}}$$

I: momento de inercia del péndulo de torsión

PÉNDULO DE TORSIÓN DE POHL

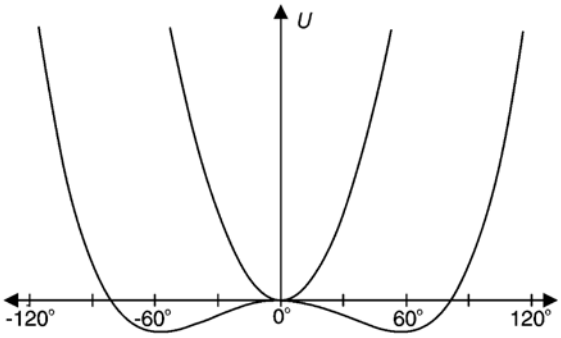
P1.5.3.3
Oscilaciones torsionales libres - Registro con CASSY

P1.5.3.4
Oscilaciones torsionales armónicas forzadas y oscilaciones torsionales caóticas - Registro con CASSY



Oscilaciones torsionales libres - Registro con CASSY (P1.5.3.3)

N° de cat.	Descripción	P1.5.3.3	P1.5.3.4
346 00	Péndulo de torsión según Pohl	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 082	Sensor de giro S	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	2
562 793	Adaptador de alimentación para péndulo d		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1



Energía potencial del péndulo doble con y sin masa adicional (P1.5.3.4)

El péndulo de torsión de Pohl sirve para estudiar oscilaciones torsionales armónicas libres o forzadas. Un freno de corrientes parásitas electromagnético amortigua estas oscilaciones con una mayor o menor intensidad según la corriente suministrada. Para las oscilaciones forzadas el péndulo de torsión se excita con una varilla excéntrica accionada por un motor.

Para el registro y evaluación de las oscilaciones del péndulo de torsión es sumamente apropiado el sistema de adquisición de datos CASSY. Las múltiples posibilidades de evaluación permiten una amplia comparación entre la teoría y la práctica. Así, por ejemplo, se pueden representar los datos registrados como diagramas de recorrido-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo o como diagramas de fase (diagramas de recorrido-velocidad).

El objeto de estudio del experimento P1.5.3.3 son las oscilaciones torsionales armónicas libres de la forma

$$\varphi(t) = (\varphi(0)\cdot\cos\omega t + \dot{\varphi}(0)\cdot\sin\omega t)\cdot e^{-\delta t}$$

con $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

con ω_0: frecuencia propia del péndulo de torsión

Aquí se estudia la dependencia de la desviación inicial $\vartheta(0)$ y la velocidad inicial $\omega(0)$. Para encontrar la corriente I_0 del caso límite aperiódico se varía la constante de amortiguación Δ.

Para estudiar el paso de las oscilaciones armónicas a las oscilaciones caóticas en el experimento P1.5.3.4 se coloca una masa adicional con el objeto de variar el momento de reposición lineal sobre el péndulo de torsión. El momento de reposición corresponderá entonces a un potencial con dos mínimos, es decir, con dos posiciones de equilibrio. Si el péndulo se excita con una frecuencia constante, entonces podrá oscilar alrededor del mínimo izquierdo, o alrededor del mínimo derecho, o entre ambos mínimos. Para una frecuencia dada no se puede predecir cuando el péndulo pasa de un mínimo a otro. El péndulo oscila de forma caótica.

Péndulo acoplado - Medición con cronómetro (P1.5.4.1)

ACOPLAMIENTO DE OSCILACIONES

P1.5.4.1
Péndulo acoplado - Medición con cronómetro

N° de cat.	Descripción	P1.5.4.1
346 45	Péndulo doble	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	2
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	2
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	4
460 97	Escala metálica, 0,5 m	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1

Dos péndulos acoplados oscilan en fase con la frecuencia angular ω_+, siempre que estos hayan sido desviados de su posición de reposo la misma distancia. Si el segundo péndulo es desviado en dirección contraria, los péndulos oscilan en contrafase con la frecuencia ω_-. Si solo se desvía a uno de los péndulos, entonces se produce una oscilación acoplada con la frecuencia angular dada por

$$\omega = \frac{\omega_+ + \omega_-}{2}$$

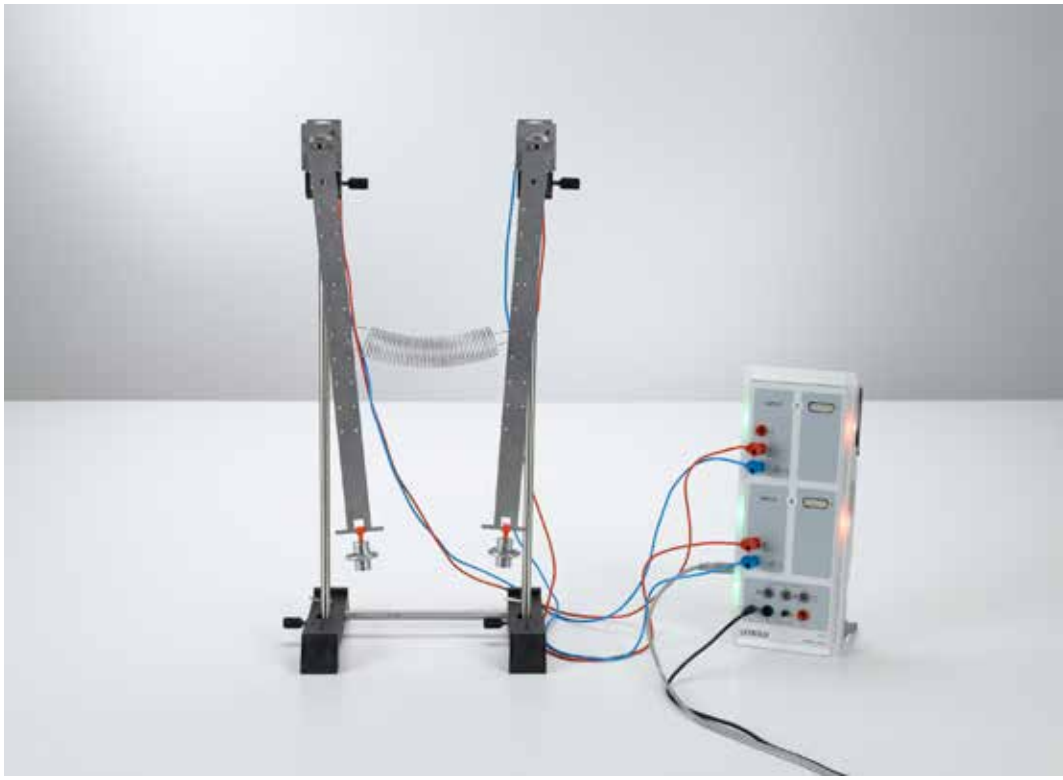
en la que la energía de la oscilación entre ambos péndulos es transmitida de una lado a otro. El primer péndulo deviene al estado de reposo después de un tiempo dado, mientras que el segundo péndulo alcanza al mismo tiempo su mayor amplitud. Luego se repite el proceso pero en sentido inverso. El tiempo entre un estado de reposo al siguiente se le denomina periodo de batidos T_S. Para la frecuencia de batido respectiva se cumple que:

$$\omega_s = \omega_+ - \omega_-$$

El objetivo del experimento P1.5.4.1.es la observación de las oscilaciones en fase, en contrafase y acopladas. Las frecuencias angulares ω_+, ω_-, ω_S y ω se calculan a partir de los periodos T_+, T_-, T_S y T medidos con el cronómetro y se las comparan entre sí.

ACOPLAMIENTO DE OSCILACIONES

P1.5.4.4
Péndulo acoplado - Registro y evaluación con CASSY



Péndulo acoplado - Registro y evaluación con CASSY (P1.5.4.4)

N° de cat.	Descripción	P1.5.4.4
346 03	Péndulo barra, 40 cm, 2 piezas	1
340 85	Juego de 6 pesas, c/u de 50 g	1
314 04	Asa de soporte, fijable	2
352 10	Resorte helicoidal 3 N/m	1
579 43	Motor de c.c y generador tacométrico	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
301 25	Bloque de soporte MF	2
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	1
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	2
301 21	Base de soporte MF	2
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Dos péndulos acoplados oscilan en fase con la frecuencia angular ω_+, siempre que estos hayan sido desviados de su posición de reposo la misma distancia. Si el segundo péndulo es desviado en dirección contraria, los péndulos oscilan en contrafase con la frecuencia ω_-. Si solo se desvía a uno de los péndulos, entonces se produce una oscilación acoplada con la frecuencia angular dada por

$$\omega = \frac{\omega_+ + \omega_-}{2}$$

en la que la energía de la oscilación entre ambos péndulos es transmitida de una lado a otro. El primer péndulo deviene al estado de reposo después de un tiempo dado, mientras que el segundo péndulo alcanza al mismo tiempo su mayor amplitud. Luego se repite el proceso pero en sentido inverso. El tiempo entre un estado de reposo al siguiente se le denomina periodo de batidos T_S. Para la frecuencia de batido respectiva se cumple que:

$$\omega_s = \omega_+ - \omega_-$$

Dos péndulos acoplados (P1.5.4.4) oscilan con la misma fase con la frecuencia f_1, cuando estos son desviados la misma distancia a partir de la posición en reposo. Si el segundo péndulo es desviado en dirección opuesta, el péndulo oscila en contrafase con la frecuencia f_2. Si se desvía sólo un péndulo, se genera una oscilación acoplada con la frecuencia

$$f_n = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

en la cual la energía de oscilación entre ambos péndulos es transferida de uno al otro. El primer péndulo deviene en reposo después de un determinado tiempo, mientras que el otro alcanza simultáneamente su mayor amplitud. El tiempo entre el reposo instantáneo de un péndulo al próximo se denota T_s. Para la frecuencia de batido respectiva se cumple

$$f_s = |f_1 - f_2|$$

Generación de ondas estacionarias en un resorte helicoidal y determinación de la longitud de onda (P1.6.1.5)

ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

P1.6.1.3
Estudio de vibraciones de resonancia en el modelo de resorte de lámina y determinación de la longitud de onda

P1.6.1.4
Generación de ondas estacionarias en una cuerda y determinación de la longitud de onda

P1.6.1.5
Generación de ondas estacionarias en un resorte helicoidal y determinación de la longitud de onda

N° de cat.	Descripción	P1.6.1.3	P1.6.1.4	P1.6.1.5
346 54	Modelo de resonancia de hoja de muelle	1		
587 09	Generador de vibraciones	1	1	1
522 561	Generador de funciones P	1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1	
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro	2	2	2
309 50	Hilo para demostraciones, l = 20 m		1	
340 921	Polea 100 mm Ø, enchufable		1	
683 10	Pesa con gancho 0,1 kg		1	
683 11	Pesa con gancho 0,2 kg		1	
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		2	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø		2	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2	2
301 25	Bloque de soporte MF		1	
352 11	Muelle helicoidal, 2,7 N / m			1
311 22	Regla vertical, l = 1 m			1
300 11	Zócalo			1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø			1

Una onda surge cuando un sistema acoplado capaz de oscilar, puede producir oscilaciones iguales una tras otra. Por ejemplo este puede ser excitado como ondas transversales sobre una cuerda elástica o como ondas longitudinales en un resorte helicoidal. La velocidad de propagación de un estado oscilante - la velocidad de fase v - está relacionada con la frecuencia de oscilación f y la longitud de onda λ mediante la relación:

$$v = \lambda \cdot f$$

Si la cuerda o el resorte helicoidal están fijos en ambos extremos, entonces en ambos extremos se presentan reflexiones. Esto origina una superposición de ondas que viajan y se reflejan. Dependiendo de la longitud ;s de la cuerda hay determinadas frecuencias, en las que la superposición de las ondas forman patrones estacionarios, esto es, ondas estacionarias. La distancia entre dos nudos o dos vientres de oscilación de una onda estacionaria corresponden a las mitades de las longitudes de onda. Los extremos fijos corresponden a los nudos de oscilación. Para una onda estacionaria con n vientres de oscilación se cumple que

$$s = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$$

Esta es excitada con una frecuencia

$$f_n = n \cdot \frac{v}{2s}$$

En el experimento P1.6.1.3 el modelo de la hoja de primavera se estimula con diferentes frecuencias f y luego se examina para resonancias. Por eso, se puede identificar la longitud de onda λ de las vibraciones.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c: velocidad de propagación.

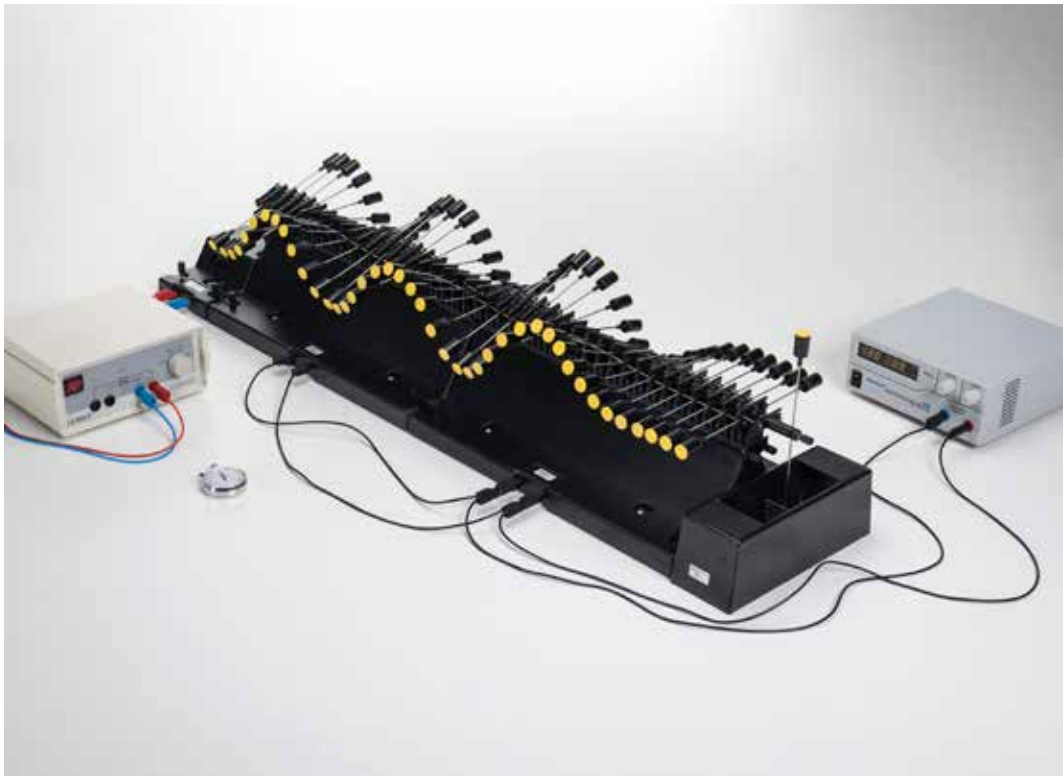
En el experimento P1.6.1.4 se genera una onda transversal. Al mover un extremo hacia arriba y hacia abajo y manteniendo fijo al otro extremo, se crea una onda. La onda se reflejará allí y regresará en la cuerda. Para frecuencias definidas, determinados puntos se fijarán (nodal) mientras que otros (antinodos) oscilan con gran amplitud.

En el experimento P1.6.1.5 se observa una onda longitudinal en el muelle helicoidal. Al mover un extremo hacia arriba y hacia abajo y al otro extremo, se fija; la onda se reflejará allí y regresará. De esta manera, para frecuencias definidas, ciertos puntos del resorte permanecen en reposo mientras que otros oscilan.

MÁQUINA DE ONDAS

P1.6.2.1
Longitud de onda, frecuencia y velocidad de fase en ondas viajeras

P1.6.2.2
Longitud de onda y frecuencia en ondas estacionarias



Longitud de onda, frecuencia y velocidad de fase en ondas viajeras (P1.6.2.1)

N° de cat.	Descripción	P1.6.2.1	P1.6.2.2
401 20	Máquina de ondas,módulo básico 1	2	2
401 22	Módulo motriz para máquina de ondas	1	1
401 23	Módulo amortiguador para máquina de onda	1	
401 24	Freno incorporable para máquina de ondas	2	2
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
501 451	Par de cables 50 cm, negro	1	1
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	1

El sistema de aparatos «Máquina de ondas modular» permite el montaje de una máquina de ondas de torsión, horizontal, en donde el tamaño y el equipo pueden ser elegidos del conjunto del sistema. Los módulos están compuestos de 21 cuerpos pendulares pivotantes sobre cuñas de apoyo situadas sobre un mismo eje. Estas se acoplan elásticamente en ambos lados del eje de torsión y por esta razón la elongación de un péndulo se propaga en forma de ondas como una perturbación a lo largo de la máquina.

En el experimento P1.6.2.1 se verifica explícitamente la relación

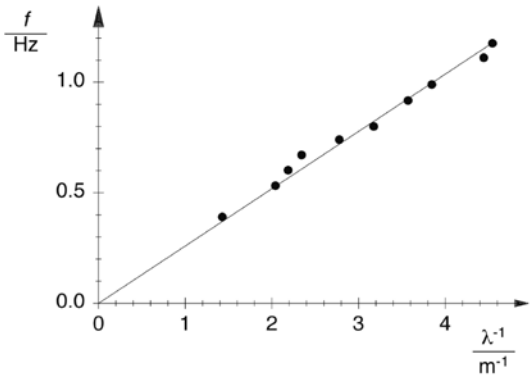
$$v = \lambda \cdot f$$

entre la longitud de onda λ, la frecuencia f y la velocidad de fase v. Con tal propósito, con un cronómetro se mide el tiempo t para diferentes longitudes de onda; tiempo en el que una fase cualquiera de la onda se propaga a través de un determinado recorrido s y a partir de aquí se calcula la velocidad de fase

$$v = \frac{s}{t}$$

Por último, para medir la longitud de onda "frozen" se «congela» la onda con un freno integrado de la máquina. La frecuencia se obtiene de la medición de un periodo de oscilación utilizando un cronómetro.

Con el experimento P1.6.2.2 se pueden demostrar todos los fenómenos más importantes de la propagación lineal de ondas transversales. Entre estos fenómenos tenemos por ejemplo la excitación de ondas estacionarias por reflexión en extremos fijos o sueltos.



Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda en propagación (P1.6.2.1)

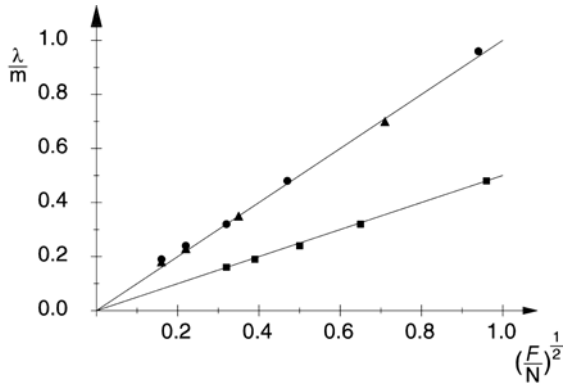
Estudio de las ondas circularmente polarizadas de una cuerda en el montaje experimental de Melde (P1.6.3.1)

ONDAS CIRCULARMENTE POLARIZADAS DE UNA CUERDA

P1.6.3.1
Estudio de las ondas circularmente polarizadas de una cuerda en el montaje experimental de Melde

P1.6.3.2
Determinación de la velocidad de fase de las ondas de una cuerda circularmente polarizadas en el montaje experimental de Melde

N° de cat.	Descripción	P1.6.3.1	P1.6.3.2
401 03	Aparato de vibración de cuerda	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
451 281	Estroboscopio		1
315 05	Balanza escolares y de laboratorio 311		1



Longitud de onda λ e las ondas de la cuerda en función de la fuerza de tensión *F*, la longitud de la cuerda *s* y la densidad de la cuerda *m** (P1.6.3.1)

En el montaje experimental de Melde se generan ondas circularmente polarizadas por medio de una excéntrica accionada por motor en una cuerda de longitud conocida *s*. La fuerza de tensión *F* de la cuerda es variada hasta que aparezcan ondas estacionaras de longitud de onda

$$\lambda_n = \frac{2s}{n}$$

n: número de nudos de la oscilación

En el experimento P1.6.3.1 se determina, para una frecuencia de excitación fija, las longitudes de onda λ_n de ondas estacionarias para diferentes longitudes de cuerda *s* y diferentes masas de cuerda *m* y se grafican en función de la fuerza de tensión F_m. La evaluación confirma la relación

$$\lambda \propto \sqrt{\frac{F}{m^*}}$$

en donde

$$m^* = \frac{m}{s}$$

m: masa de la cuerda, *s*: longitud de la cuerda

En el experimento P1.6.3.2, al mismo programa de mediciones, se le implementa un estroboscopio. Este sirve por un lado para determinar la frecuencia de excitación *f* del motor. Por otro lado sirve para observar la polarización circular de las ondas de manera impresionante cuando las ondas estacionarias son iluminadas por los destellos cuya frecuencia se acerca a la frecuencia de excitación. La determinación de la frecuencia *f* permite el cálculo de la velocidad de fase *c* de las ondas según

$$c = \lambda \cdot f$$

y la confirmación cuantitativa de la relación

$$c = \sqrt{\frac{F}{m^*}}$$

PROPAGACIÓN DE ONDAS SUPERFICIALES EN AGUA

P1.6.4.1
Excitación de ondas superficiales circulares y rectilíneas en agua

P1.6.4.2
El principio de Huygens con ondas superficiales en agua

P1.6.4.3
Propagación de ondas superficiales en agua en dos profundidades diferentes

P1.6.4.4
Refracción de ondas superficiales en agua

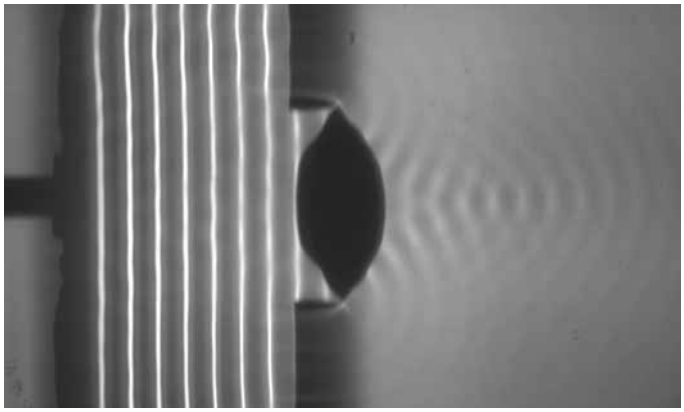
P1.6.4.5
Efecto Doppler con ondas superficiales en agua

P1.6.4.6
Reflexión de ondas superficiales en un obstáculo recto

P1.6.4.7
Reflexión de ondas superficiales en obstáculos curvados

Excitación de ondas superficiales circulares y rectilíneas en agua (P1.6.4.1)

N° de cat.	Descripción	P1.6.4.1	P1.6.4.2	P1.6.4.3	P1.6.4.4–7
401 501	Cubeta de ondas con motor estroboscópico	1	1	1	1
LDS 00001	Cronómetro, digital	1			
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1		1	



Trayectoria del haz convergente detrás de una lente biconvexa (P1.6.4.4)

Con las ondas superficiales del agua es posible hacer la introducción de conceptos fundamentales acerca de la propagación de ondas, ya que la propagación se puede observar directamente por los alumnos.

En el experimento P1.6.4.1 se estudian las ondas superficiales circulares y rectilíneas en agua. La longitud de onda λ se mide en función de la frecuencia de excitación f y de aquí se calcula la velocidad de las ondas:

$$v = f \cdot \lambda$$

El objetivo del experimento P1.6.4.2 es la verificación del principio de Huygens. A tal fin, las ondas rectilíneas son obstaculizadas por un borde, una ranura delgada y una rejilla. Aquí se observa la variación de la dirección de propagación, el surgimiento de ondas circulares y la superposición de ondas circulares a las ondas rectilíneas.

En los experimentos P1.6.4.3 y P1.6.4.4 se estudia la propagación de ondas superficiales a diferentes profundidades. Una profundidad mayor corresponde a un medio óptico delgado con un índice de refracción pequeño *n*. Al pasar de un «medio» a otro se cumple la ley de la refracción:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

α_1, α_2: ángulo respecto a la normal en la región 1 ó 2

λ_1, λ_2: longitud de onda en la región 1 ó 2

Como aplicación práctica se estudia un prisma, una lente biconvexa y una lente bicóncava para ondas superficiales.

En el experimento P1.6.4.5 se observa el efecto Doppler en ondas superficiales circulares para diferentes velocidades *u* del excitador de ondas.

En los experimentos P1.6.4.6 y P1.6.4.7 se estudia la reflexión de ondas superficiales. En la reflexión de ondas rectilíneas y ondas circulares en una pared plana los haces de ondas siguen la ley de la reflexión. En la reflexión de ondas rectilíneas en obstáculos curvados los haces de ondas originalmente paralelos divergen o convergen según la curvatura del obstáculo. Se observa la convergencia de los rayos en el foco o la dispersión desde un foco aparente tal como sucede en óptica.

Interferencia entre dos ondas superficiales (P1.6.5.1)

INTERFERENCIA CON ONDAS SUPERFICIALES EN AGUA

P1.6.5.1
Interferencia entre dos ondas superficiales

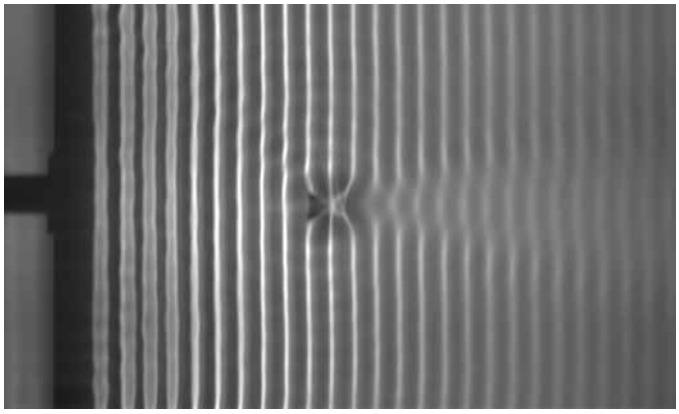
P1.6.5.2
Experimento de Lloyd en ondas superficiales

P1.6.5.3
Difracción de ondas superficiales en una rendija y en un obstáculo

P1.6.5.4
Difracción de ondas superficiales en una rendija múltiple

P1.6.5.5
Ondas superficiales estacionarias delante de una pared de reflexión

N° de cat.	Descripción	P1.6.5.1–4	P1.6.5.5
401 501	Cubeta de ondas con motor estroboscópico	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1



Difracción de las ondas de agua en un obstáculo estrecho (P1.6.5.3)

Con ondas superficiales de agua pueden realizarse experimentos muy ilustrativos relativos a la interferencia de ondas, ya que los objetos de difracción se pueden reconocer a simple vista y la propagación de las ondas difractadas también puede ser seguida a simple vista.

En el experimento P1.6.5.1 se compara la interferencia entre dos ondas circulares coherentes con la difracción de ondas rectilíneas en una ranura doble. Ambas configuraciones experimentales generan el mismo patrón de interferencia.

En el experimento P1.6.5.2 se realiza el experimento de Lloyd para generar la interferencia de dos rayos. Mediante la reflexiónen un obstáculo recto se genera de la primera una segunda fuente coherente. Aquí surge un patrón de interferencias que corresponde a la interferencia con excitadores individuales coherentes.

En el experimento P1.6.5.3 un frente de ondas recto incide sobre una ranura o sobre diferentes obstáculos de diferente ancho. Una ranura, cuyo ancho es menor que la longitud de onda, actúa como un excitador puntual de ondas circulares. Si el ancho de ranura es mucho mayor que la longitud de onda, las ondas rectilíneas se propagan a través de la ranura casi sin ser perturbadas. Únicamente en el espacio detrás de los bordes se propagan débiles ondas de forma circular. Si los anchos de ranura son del orden de la longitud de onda se forma una patrón de difracción bien acentuado, con un máximo principal y máximos secundarios. Al incidir las ondas sobre un obstáculo, ambos bordes del obstáculo actúan como centros de excitación de ondas circulares. El patrón de difracción que surge depende fuertemente del ancho del obstáculo.

En el experimento P1.6.5.4 se estudia la difracción de ondas superficiales en ranuras dobles, triples y múltiples con distancia entre ranuras fijas *d*. Aquí se muestra que los máximos de la difracción son más acentuados cuando el número de ranuras *n* aumenta. Por el contrario, los ángulos, bajo los cuales se encuentran los máximos de difracción, permanecen inalterados.

El experimento P1.6.5.5 muestra la generación de ondas estacionarias por reflexión de ondas superficiales en una pared paralela al excitador de ondas. Las ondas estacionarias a distancias constantes presentan lugares en los que las crestas y los valles de las ondas individuales que avanzan y de las que se reflejan siempre se extinguen. En la mitad entre dos de tales valles la oscilación es siempre máxima.

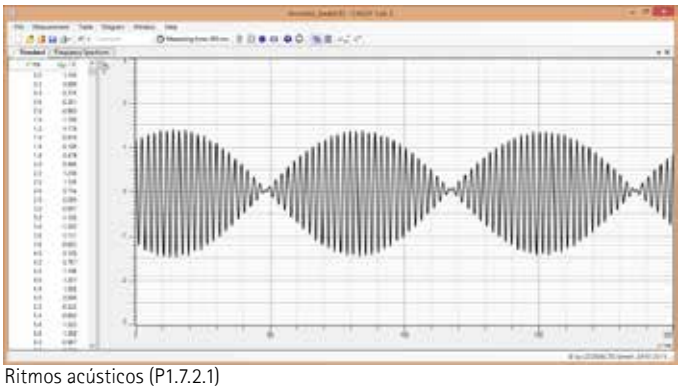
ONDAS SONORAS

P1.7.1.2
Pulsaciones acústicas - Representación en el osciloscopio

P1.7.1.3
Pulsaciones acústicas - Registro con CASSY

Pulsaciones acústicas - Registro con CASSY (P1.7.1.3)

N° de cat.	Descripción	P1.7.1.2	P1.7.1.3
414 72	Par de diapasones de resonancia	1	1
586 26	Micrófono universal	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	
575 35	Adaptador BNC/clavijero de 4 mm, 2 polos	1	
300 11	Zócalo	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1



Ritmos acústicos (P1.7.2.1)

En la acústica se estudian los fenómenos sonoros. Esta describe la generación y la propagación de ondas sonoras.

El experimento P1.7.1.2 sirve para demostrar la naturaleza ondulatoria del sonido. A tal efecto se estudian batidos acústicos como la superposición de ondas sonoras generadas por diapasones, cuyas frecuencias f_1 y f_2 se diferencian muy poco. La señal de batido se recibe por medio de un micrófono y se representa en el osciloscopio. Mediante un tornillo de apriete se puede conseguir una desintonización mayor de uno de los diapasones obteniéndose una mayor frecuencia de batido

$$f_s = f_2 - f_1$$

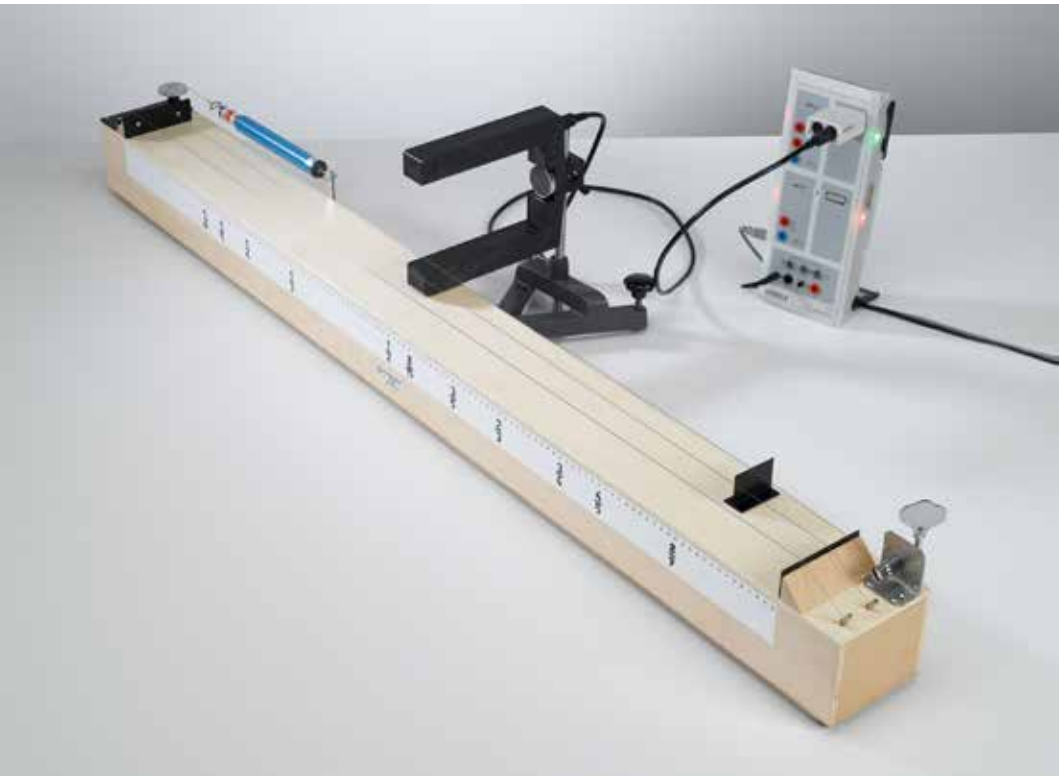
reduciendo así el periodo de batido (es decir, la distancia entre dos nodos de la señal de batido)

$$T_S = \frac{1}{f_S}$$

En el experimento P1.7.1.3 se registran y evalúan las oscilaciones acústicas mediante la interfaz CASSY y un ordenador. Las frecuencias individuales f_1 y f_2, la frecuencia propia f y la frecuencia de batido f_S se determinan automáticamente y se comparan con los valores calculados con

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$f_s = f_2 - f_1$$

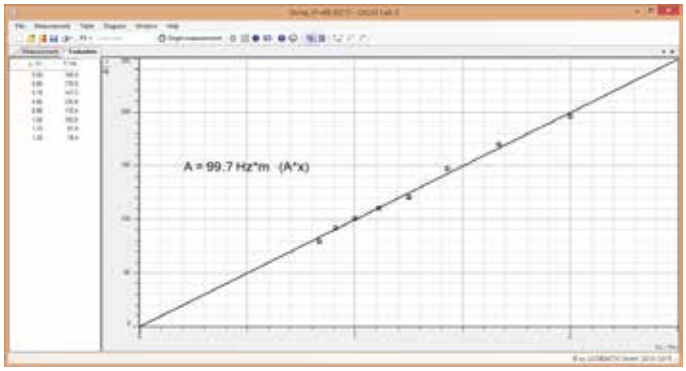


VIBRACIONES DE CUERDAS

P1.7.2.1
Determinación de la frecuencia de oscilación de una cuerda en función de la longitud de la cuerda y la fuerza tensora

Determinación de la frecuencia de oscilación de una cuerda en función de la longitud de la cuerda y la fuerza tensora (P1.7.2.1)

N° de cat.	Descripción	P1.7.2.1
414 01	Monocordio	1
314 201	Dinamómetro de precisión 100,0 N	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 074	Timer S	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1



Frequency *f* as a function of the string length *s* (P1.7.2.1)

En la oscilación fundamental la longitud de la cuerda *s* corresponde a una cuerda oscilando con la mitad de la longitud de onda. De aquí que para la oscilación fundamental se cumple

$$f = \frac{c}{2s}$$

en donde la velocidad de fase *c* de la cuerda está dada por

$$c = \sqrt{\frac{F}{A \cdot \rho}}$$

F: fuerza de tensión, *A*: superficie transversal, ρ: densidad

En el experimento P1.7.2.1 se determina la frecuencia de oscilación de la cuerda en función de la longitud de la cuerda y la fuerza de tensión. Las mediciones se llevan a cabo con un diapasón y el sistema de adquisición de datos CASSY, en donde el CASSY se implementa como un cronómetro electrónico de alta resolución. El objetivo de la evaluación es la verificación de las relaciones

$$f \propto \sqrt{F}$$

y

$$f \propto \frac{1}{s}$$

LONGITUD DE ONDA Y VELOCIDAD DEL SONIDO

P1.7.3.1
Tubo de Kundt: Determinación de la longitud de onda con el método del polvo de corcho

P1.7.3.2
Determinación de la longitud de ondas sonoras estacionarias

Tubo de Kundt: Determinación de la longitud de onda con el método del polvo de corcho (P1.7.3.1)

N° de cat.	Descripción	P1.7.3.1	P1.7.3.2
413 01	Tubo de Kundt	1	
460 97	Escala metálica, 0,5 m	1	
586 26	Micrófono universal		1
587 08	Altavoz de banda ancha		1
522 621	Generador de funciones S 12		1
587 66	Placa de reflexión		1
300 11	Zócalo		3
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1

Como es el caso de otro tipo de ondas, con ondas sonoras también se pueden generar ondas estacionarias, cuyos nodos de oscilación se presentan a distancias

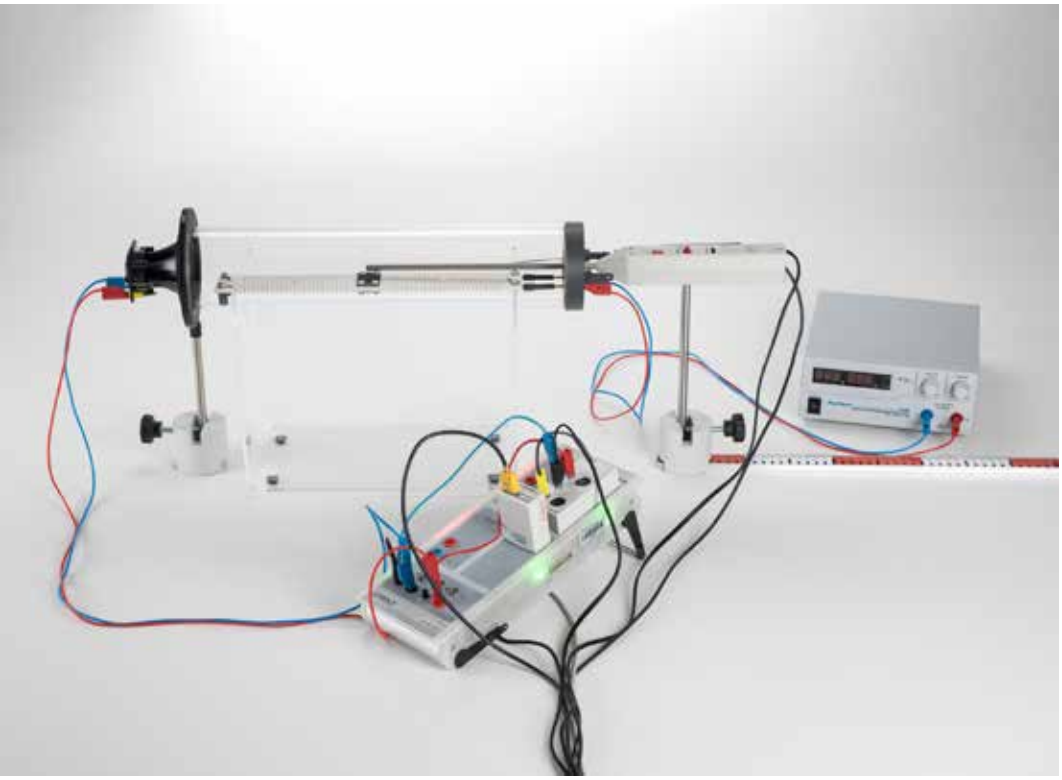
$$d = \frac{\lambda}{2}$$

En las ondas estacionarias se puede medir fácilmente la longitud de onda λ

En el experimento P1.7.3.1 se estudia las ondas estacionarias generadas en el tubo de Kundt. Estas pueden ser vistas en el polvo de corcho que se arremolina en las crestas de oscilación. A partir de la distancia entre los nodos de oscilación se determina la longitud de onda λ.

En el experimento P1.7.3.2 surge ondas estacionarias por reflexión en una pared. Con tal propósito se generan ondas sonoras en todo el rango audible mediante un generador de funciones y un altavoz. Con un micrófono se estudian los mínimos de intensidad, de cuyas distancias se determina la longitud de onda.

Determinación de la longitud de onda de las ondas sonoras estacionarias (P1.7.3.2)



Determinación de la velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura (P1.7.3.3)

LONGITUD DE ONDA Y VELOCIDAD DEL SONIDO

P1.7.3.3
Determinación de la velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura

P1.7.3.4
Determinación de la velocidad del sonido en gases

N° de cat.	Descripción	P1.7.3.3	P1.7.3.4
413 60	Aparato para la velocidad del sonido	1	1
516 249	Soporte para tubos y bobinas	1	1
587 07	Altavoz para altas audiofrecuencias	1	1
586 26	Micrófono universal	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 034	Unidad Timer	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	1	
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	
300 11	Zócalo	2	2
460 97	Escala metálica, 0,5 m	1	1
501 44	Par de cables 25 cm, rojo/azul	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2	1
660 999	Botella de gas Minican Dióxido de car		1
660 984	Botella de gas Minican Helio		1
660 985	Botella de gas Minican Neón		1
660 980	Válvula reguladora de gas		1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m		1
604 481	Tubo de goma, Ø 4/7 mm		1
604 510	Empalme de goma PP, 4...15mm		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

Las ondas sonoras muestran muy poca dispersión, es decir, en la propagación de sonido en gases la velocidad de grupo y la velocidad de fase concuerdan en buena aproximación. De aquí que la velocidad del sonido c de un impulso sonoro pueda ser determinada fácilmente. En gases ideales se tiene que

$$c = \sqrt{\frac{p \cdot \kappa}{\rho}} \quad \text{con} \quad \kappa = \frac{C_p}{C_V}$$

p: presión, ρ: densidad, κ: coeficiente adiabático
C_p, C_V: capacidades de calor especifico

En el experimento P1.7.3.3 se mide la velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura ϑ y se compara la relación que vincula la presión y densidad con la siguiente relación lineal

$$c(\vartheta) = c(0) + 0{,}6 \cdot \frac{\vartheta}{°C} \frac{m}{s}$$

que depende de la temperatura. A partir del valor $c(0)$ resultante del ajuste de la recta y de los valores de la bibliografía $p(0)$ y $\rho(0)$ se determina el valor κ del aire mediante

$$\kappa = \frac{c(0)^2 \cdot \rho(0)}{p(0)}$$

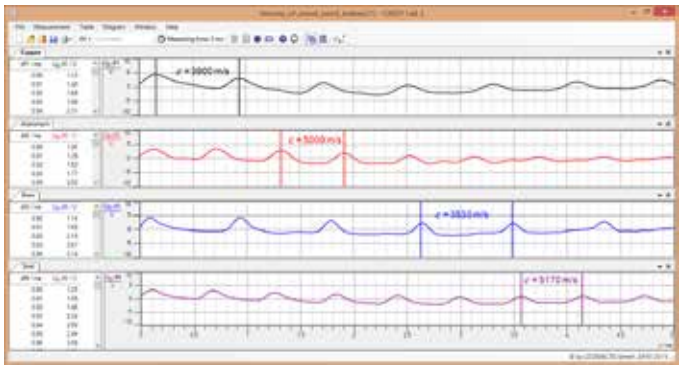
En el experimento P1.7.3.4 se obtiene la velocidad del sonido c en dióxido de carbono y en los gases helio y neón. La evaluación indica que las grandes diferencias en las velocidades del sonido de gases se deben esencialmente a las diferentes densidades de los mismos. Sin embargo, al comparar los exponentes adiabáticos de los gases la diferencia entre ellos es pequeña.

LONGITUD DE ONDA Y VELOCIDAD DEL SONIDO

P1.7.3.5
Determinación de la velocidad del sonido en sólidos

Determinación de la velocidad del sonido en sólidos (P1.7.3.5)

N° de cat.	Descripción	P1.7.3.5
413 651	Varillas metálico, juego de 3	1
300 46	Varilla de soporte, 150 cm, 12 mm Ø	1
587 251	Elemento piezoeléctrico	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1
501 35	Cable de experimentación, 200 cm, rojo	1
501 36	Cable de experimentación, 200 cm, azul	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1



Velocidad del sonido en diferentes materiales (P1.7.3.5)

En sólidos la velocidad del sonido es determinada a partir del módulo de elasticidad E y de la densidad ρ. La velocidad del sonido en una varilla larga está dada por:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

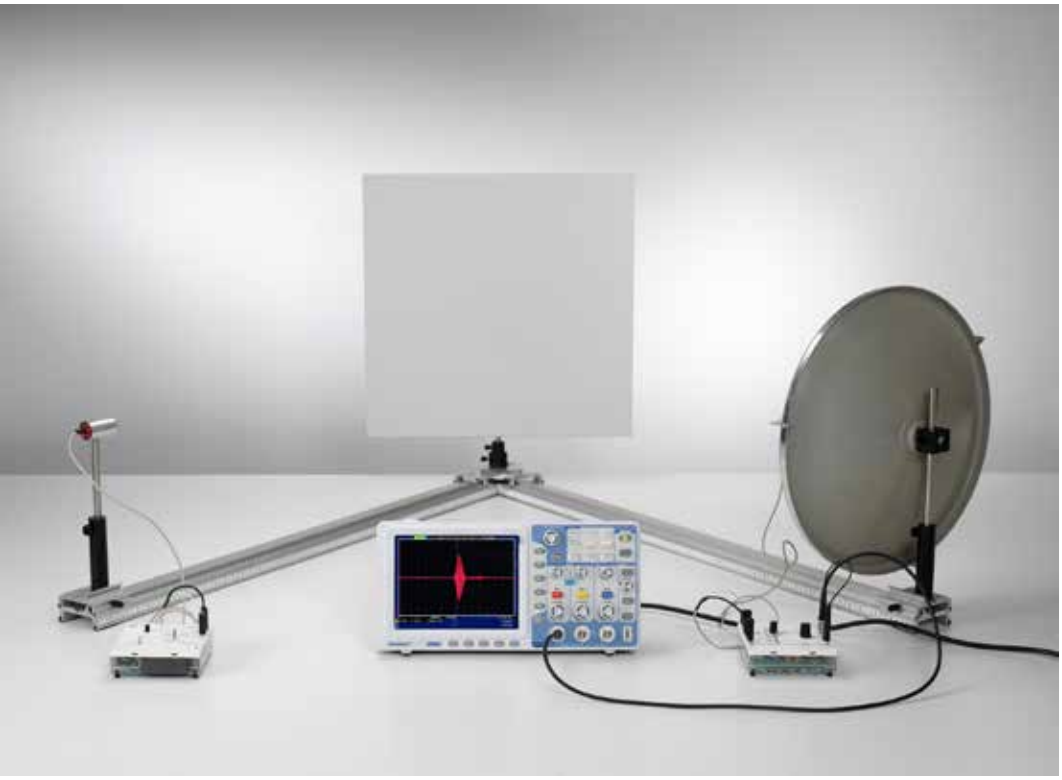
En sólidos la medición de la velocidad del sonido suministra un método simple para medir el módulo de elasticidad.

En el experimento P1.7.3.5 se determina las velocidades del sonido en varillas de aluminio, cobre, latón y acero. Para la medición se hace uso de la reflexión múltiple de un impulso de sonido corto en los extremos de la varilla. El impulso es generado con un golpe de martillo sobre el extremo superior de la varilla propagándose hacia abajo. En ambos extremos el impulso es reflejado varias veces, en donde los impulsos que llegan a uno de los extremos están retrasados entre sí en un tiempo Δt que es el tiempo que tardan en ir y venir. La velocidad del sonido es entonces:

$$c = \frac{2s}{\Delta t}$$

s: longitud de la varilla

Para el registro de los impulsos un dispositivo piezo eléctrico se encuentra en contacto con el extremo inferior de la varilla, el cual convierte las oscilaciones de presión del impulso de sonido en señales eléctricas. Estas señales son registradas por el sistema de adquisición de datos CASSY.



Reflexión de ondas ultrasónicas planas en una superficie plana (P1.7.4.1)

REFLEXIÓN DE ONDAS ULTRASÓNICAS

P1.7.4.1
Reflexión de ondas ultrasónicas planas en una superficie plana

P1.7.4.2
Principio de la ecosonda

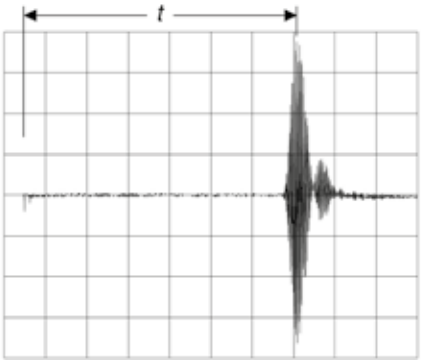
N° de cat.	Descripción	P1.7.4.1	P1.7.4.2
416 002	Transmisor ultrasónico	1	1
416 003	Receptor ultrasónico	1	1
416 014	Generador 40 kHz	1	1
416 015	Amplificador de CA	1	1
389 242	Espejo cóncavo acústico	1	
416 020	Soporte sensor para espejo cóncavo	1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	2
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	2	
460 3151	Manguito giratorio con escala	1	
460 3113	Abrazadera tipo jinete de 105/65	2	
587 66	Placa de reflexión	1	1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø	1	
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	1	
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1	
666 615	Nuez universal	1	
361 051	Nivel de burbuja de ojo de buey, 14 mm diám.	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
300 11	Zócalo		3
311 02	Regla de metal, l = 1 m		1

Las ondas ultrasónicas se generan por oscilaciones mecánicas de un dispositivo piezoeléctrico del transductor. Inversamente las ondas ultrasónicas excitan oscilaciones mecánicas en cuerpos piezoeléctricos.

La finalidad del experimento P1.7.4.1 es la confirmación de la ley de reflexión «ángulo de incidencia = ángulo de reflexión» para ultrasonidos. A tal fin se coloca un transductor de ultrasonido, supuestamente puntual, en el foco de un espejo cóncavo para generar una onda plana de ultrasonido. La onda plana de ultrasonido incide sobre una superficie plana con un ángulo de incidencia α y se refleja en ella. La intensidad reflejada es medida con un segundo transductor desde diferentes ángulos. La dirección de la intensidad máxima reflejada es definida como ángulo de reflexión β.

En el experimento P1.7.4.2 se utiliza el principio de la ecosonda para determinar la velocidad del sonido en el aire y para determinar distancias. En la ecosonda se envían señales ultrasónicas pulsadas y se mide el tiempo que toma la señal, reflejada en la superficie límite, al ser detectada por el receptor. El emisor y receptor se encuentran en el mismo lugar por razones de simplicidad. De la diferencia de tiempo t entre la emisión y recepción se determina la distancia s al reflector si la velocidad del sonido c es conocida, o si la distancia se supone conocida, entonces se determina la velocidad del sonido mediante la relación

$$c = \frac{2s}{t}$$



Señal de la ecosonda (P1.7.4.2)

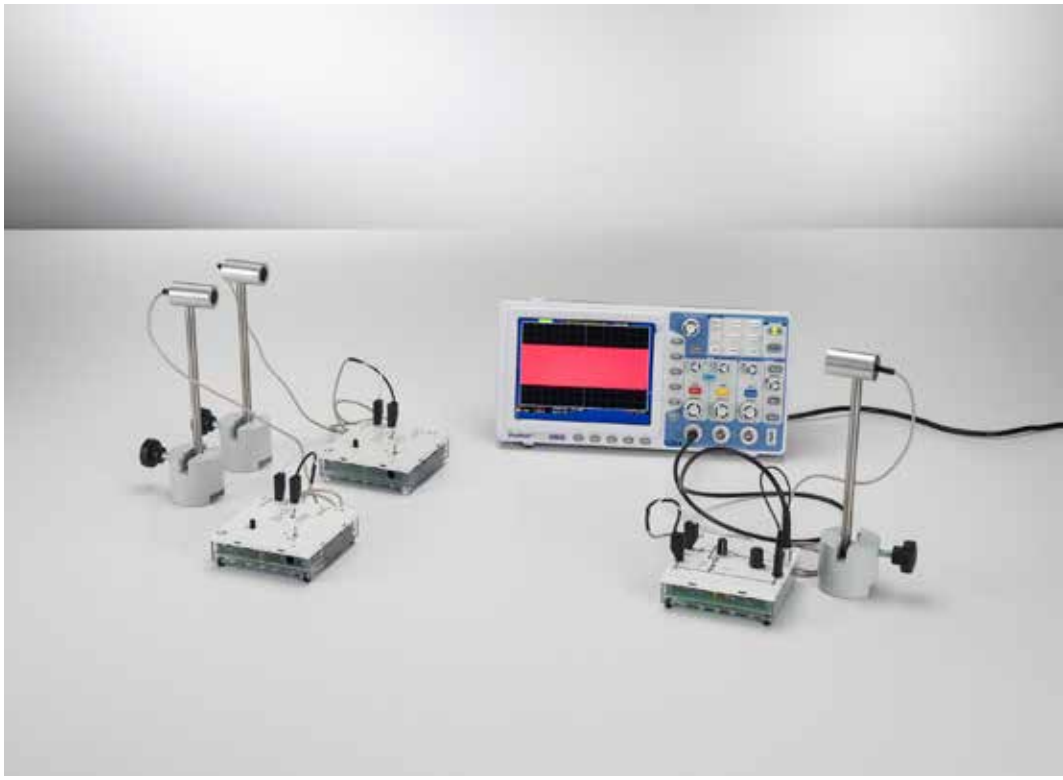
INTERFERENCIA DE ONDAS ULTRASÓNICAS

P1.7.5.1
Pulsaciones de ondas ultrasónicas

P1.7.5.2
Interferencia entre dos haces ultrasónicos

P1.7.5.3
Difracción de ondas ultrasónicas en una ranura simple

P1.7.5.4
Difracción de ondas ultrasónicas en una ranura doble, en una ranura múltiple y en una rejilla



Pulsaciones de ondas ultrasónicas (P1.7.5.1)

N° de cat.	Descripción	P1.7.5.1	P1.7.5.2	P1.7.5.3	P1.7.5.4
416 002	Transmisor ultrasónico	2	2	1	1
416 003	Receptor ultrasónico	1	1	1	1
416 015	Amplificador de CA	1	1	1	1
416 014	Generador 40 kHz	2	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1			
300 11	Zócalo	3	2		
311 902	Mesa girotoria con accionamiento de moto		1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1	1	1
524 220	CASSY Lab 2		1	1	1
524 031	Unidad Fuente de corriente		1	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A		1	1	1
501 031	Cable de unión, blindado, 8 m		1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1	1	
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		1	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1	1	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1	1	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro		1	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		2	2	2
416 020	Soporte sensor para espejo cóncavo			1	1
416 021	Caballete para objeto de defracción			1	1
416 030	Rejilla y ranura para difracción ultraso			1	1
389 242	Espejo cóncavo acústico			1	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1	1	1

Se pueden llevar a cabo experimentos alusivos a la interferencia de ondas de una manera completa usando ondas ultrasónicas, debido a que los objetos difractados son visibles al ojo humano. Además, no es difícil de generar haces de sonido coherentes de esa manera.

En el experimento P1.7.5.1 se utiliza dos transductores para estudiar el batido de ondas ultrasónicas con frecuencias f_1 y f_2 ligeramente desintonizadas. La señal que surge de la superposición de ambas señales resulta una oscilación cuya amplitud cambia periódicamente

$$A(t) : \cos\left(\pi \cdot (f_2 - f_1) \cdot t\right)$$

A tal fin, a partir del tiempo T_S entre dos nodos de batidos se determina la frecuencia de batido f_S y se compara con la diferencia $f_2 - f_1$.

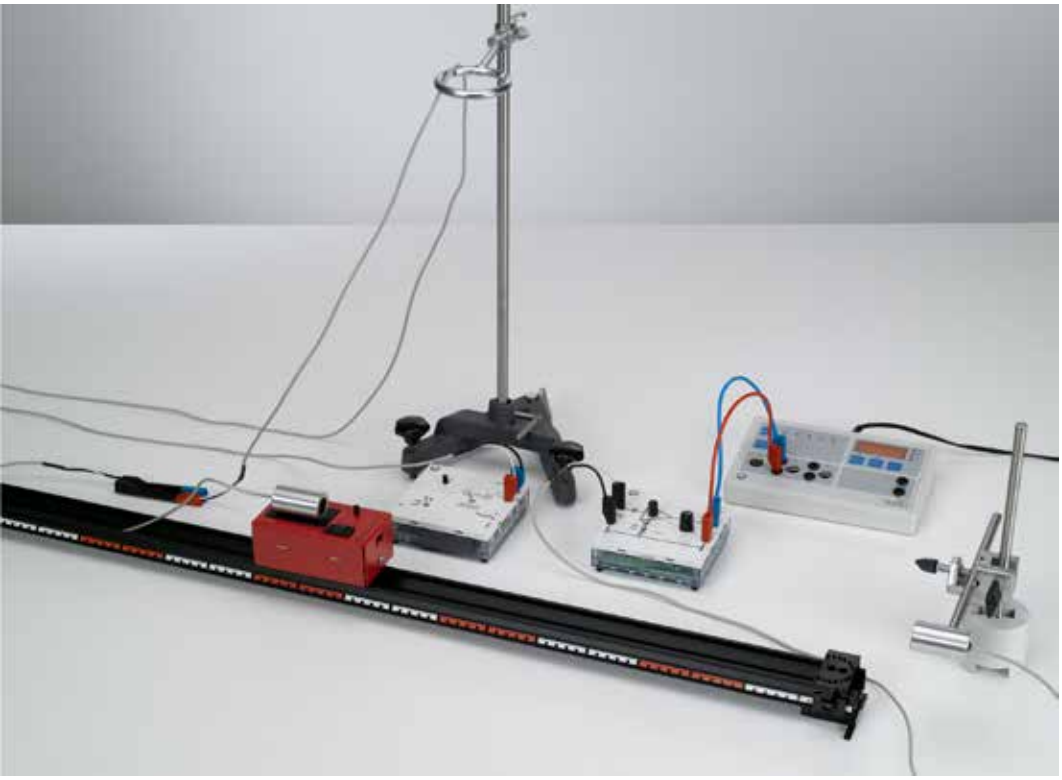
En el experimento P1.7.5.2 se utilizan dos transductores de ultrasonido del mismo tipo con un mismo generador. Estos transductores generan dos haces ultrasónicos coherentes que interfieren entre sí. El patrón de interferencia corresponde a la difracción de ondas planas en una ranura doble, cuando ambos transductores son operados en fase. Entre los ángulos de difracción α con

$$\sin\alpha = n \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad \text{con} \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

λ : longitud de onda,

d : distancia entre los emisores de ultrasonido

En los experimentos P1.7.5.3 y P1.7.5.4 un transductor de ultrasonido, que hace de fuente puntual, se coloca en el foco de un espejo cóncavo. Las ondas planas de ultrasonido generadas de esta manera se difractan en una ranura doble o en una ranura múltiple. Para el registro asistido por ordenador de las figuras de difracción se montan juntos, sobre una mesa giratoria, al emisor de ultrasonido y a la ranura. Aquí se mide la difracción en una ranura simple para diferentes anchos de ranura b, la difracción en una ranura doble para diferentes distancias entre ranuras b y la difracción en ranuras múltiples y en una rejilla para diferentes números N de ranuras.



Estudio del efecto Doppler con ondas ultrasónicas (P1.7.6.1)

EFECTO DOPPLER ACÚSTICO

P1.7.6.1
Estudio del efecto Doppler con ondas ultrasónicas

P1.7.6.2
Estudio del efecto Doppler con ondas ultrasónicas - Registro y evaluación con CASSY

N° de cat.	Descripción	P1.7.6.1	P1.7.6.2
416 002	Transmisor ultrasónico	1	1
416 003	Receptor ultrasónico	1	1
416 015	Amplificador de CA	1	1
416 014	Generador 40 kHz	1	1
501 031	Cable de unión, blindado, 8 m	1	1
501 644	Juego de 6 acopladores, negros	1	1
685 44	Pila mignon 1,5 V (IEC R6)	2	2
337 07	Carro con accionamiento eléctrico	1	1
460 81	Riel de metal de precisión, 100 cm	2	2
460 85	Conector de riel metálicos	1	1
460 88	Pies para rieles de metal, par	1	1
460 95	Jinetillo con pinza	2	2
416 031	Accesorios para el efecto acústico Doppl	1	1
575 471	Contador S	1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	2
300 11	Zócalo	1	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1	1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	2
608 100	ANILLO-SOPORTE CON MANGUITO 70mm	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 034	Unidad Timer		1
524 073	Sensor de movimiento con láser S		1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

Como el efecto Doppler acústico se denomina al cambio de la frecuencia observada en un movimiento relativo del emisor o del receptor respecto al medio de propagación. Si el emisor de la frecuencia f_0 se mueve con la velocidad v relativa al receptor en reposo, el receptor mide la frecuencia

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

c: velocidad del sonido

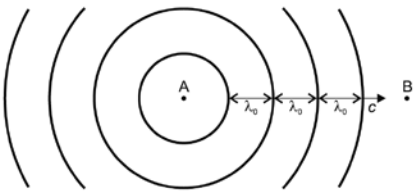
Si por el contrario el receptor se mueve con una velocidad v relativa al emisor en reposo, entonces se cumple

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

La variación de frecuencia $f - f_0$ es proporcional a la frecuencia f_0. Es evidente que también es posible estudiar el efecto Doppler acústico en ondas ultrasónicas.

En el experimento P1.7.6.1 se utilizan dos transductores de ultrasonido como emisor y receptor. Un transductor se sujeta a un carrito de medición con accionamiento eléctrico, el otro transductor queda quieto sobre la mesa del laboratorio. La frecuencia de la señal receptora se mide con un contador digital de alta resolución. Para determinar la velocidad del transductor en movimiento se utiliza un cronómetro para medir el tiempo Δt que el carrito requiere para recorrer la distancia prefijada

En el experimento P1.7.6.2 se utilizan dos transductores de ultrasonido como emisor y receptor. Un transductor se sujeta a un carrito de medición con accionamiento eléctrico, el otro transductor queda quieto sobre la mesa del laboratorio. La frecuencia de la señal receptora se mide con un contador digital de alta resolución en el CASSY. El Sensor-CASSY 2 junto con el sensor de movimeinto láser S mide la velocidad del carrito en movimiento.



Propagation of sound with the sound source and the observer at rest (P1.7.6.1)

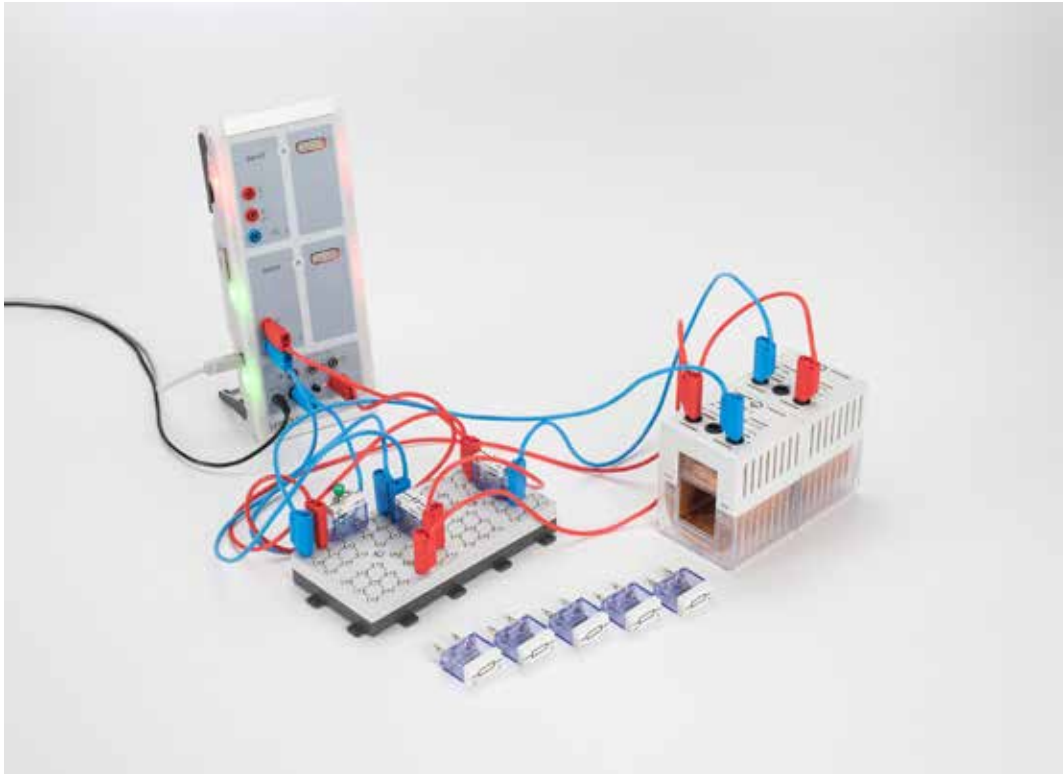
ANÁLISIS DE FOURIER

P1.7.7.1
Estudio de la transformada de Fourier (FTT): Simulación del análisis y la síntesis de Fourier

P1.7.7.2
Análisis de Fourier de señales periódicas de un generador de funciones

P1.7.7.3
Análisis de Fourier en un circuito oscilatorio eléctrico

P1.7.7.4
Análisis de Fourier de tonos



Análisis de Fourier en un circuito oscilatorio eléctrico (P1.7.7.3)

N° de cat.	Descripción	P1.7.7.1	P1.7.7.2	P1.7.7.3	P1.7.7.4
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1	1
522 621	Generador de funciones S 12		1		
524 013	Sensor-CASSY 2		1	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par		1		
562 14	Bobina de 500 espiras			2	
578 15	Condensador 1 µF, 100 V			2	
579 10	Pulsador (NO), monopolar			1	
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W			1	
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W			1	
577 21	Resistencia 5,1 Ohmios, 1,4 W			1	
577 23	Resistencia 20 Ohmios, 1,4 W			1	
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19			1	
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10			1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo			4	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			4	
524 059	Micrófono S				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1	1

Una herramienta importante de la acústica es el análisis y la síntesis de Fourier de ondas sonoras. Así, por ejemplo, en la generación artificial de sonidos o de lenguaje hablado es fundamental conocer los armónicos de los sonidos.

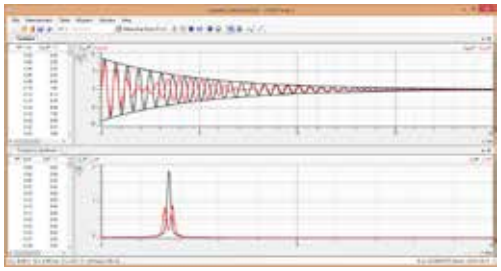
En los experimentos P1.7.7.1 y P1.7.7.2 se estudian las transformadas de Fourier de señales periódicas que son simuladas numéricamente o generadas con un generador de funciones.

En el experimento P1.7.7.3 se compara el espectro de frecuencia de un circuito oscilatorio acoplado eléctricamente con el espectro de un circuito oscilatorio no acoplado. La transformada de Fourier de la oscilación amortiguada no acoplada es una curva lorentziana de la forma

$$L(f) = L_0 \cdot \frac{\gamma^2}{(f - f_0)^2 + \gamma^2}$$

cuyo ancho crece cuando la resistencia óhmica del circuito oscilatorio aumenta. La señal de la transformada de Fourier del circuito oscilatorio acoplado muestra el desdoblamiento en dos distribuciones simétricas alrededor de la señal no acoplada, cuya distancia entre ellas depende del acoplamiento del circuito oscilatorio.

El objetivo del experimento P1.7.7.4 es el análisis de Fourier de sonidos de diferentes timbres e intensidades. Como ejemplos se analizan vocales de la voz humana y sonidos de instrumentos musicales. Las diferentes vocales de un idioma se diferencian entre sí, sobre todo por las amplitudes de los armónicos. La frecuencia fundamental f_0 depende de la intensidad del tono. Esta es aproximadamente 200 Hz para los tonos altos y cerca de 80 Hz para los tonos bajos. El timbre de voz está determinado por las diferentes excitaciones de los armónicos. Así también el timbre de diferentes instrumentos depende de la excitación de los armónicos.



Circuito oscilador acoplado con su transformada de Fourier (P1.7.7.3)

Determinación de la velocidad del sonido en líquidos - ondas ultrasónicas estacionarias como un retículo óptico (P1.7.8.1)

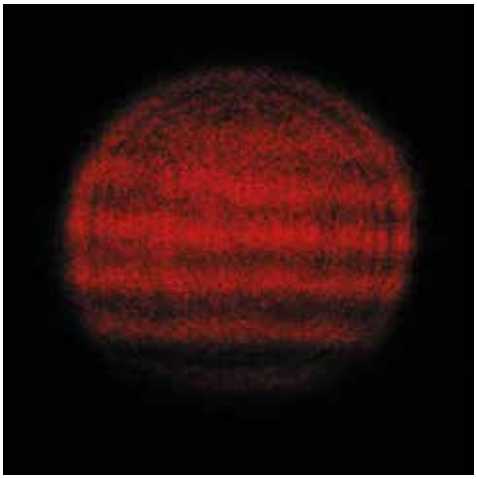
ULTRASONIDO EN MEDIOS

P1.7.8.1
Determinación de la velocidad del sonido en líquidos - ondas ultrasónicas estacionarias como un retículo óptico

N° de cat.	Descripción	P1.7.8.1
417 11	Generador de ultrasonido de 4 MHz	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 374	Jinetillo 90/50	5
471 791	Diodo láser, 635 nm, 1 mW	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
460 25	Mesa de prisma con soporte	1
477 02	Cubeta de vidrio	1
460 380	Prolongación	1
382 35	Termómetro -10 ...+50°C	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
441 531	Pantalla	1
675 3410	Agua, destilada, 5 l	1
672 1210	Glicerina, 99%, 250 ml	1
671 9740	Etanol, solvente, 250 ml	1
673 5700	Cloruro sódico 250 g	1

Los moduladores acústico-ópticos actuales son elementos importantes para las telecomunicaciones y se basan en la interacción entre el sonido y la luz en un medio. Las variaciones de densidad creadas por el ultrasonido se usan como rejillas de difracción.

El experimento P1.7.8.1 mide la longitud de onda de una onda ultrasónica estacionaria que se propaga en diferentes líquidos. La variación local de la densidad en el líquido es visualizada en el monitor mediante una proyección geométrica. Además, el experimento demuestra el efecto clásico de Debye-Sears, es decir, la difracción de una luz láser a través de una rejilla de fase creada por ultrasonido en un medio liquido. Este es el principio básico de un modulador acústico-óptico.



Proyección de un patrón de ondas estacionarias en el agua (P1.7.8.1)

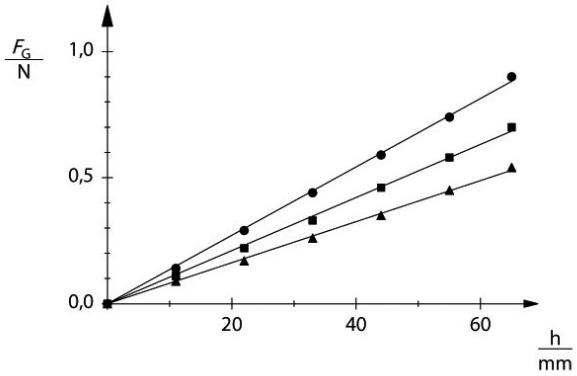
EMPUJE HIDROSTÁTICO

P1.8.2.1
Comprobación del principio de Arquímedes

P1.8.2.2
Medición del empuje hidrostático en función de la profundidad de inmersión

Comprobación del principio de Arquímedes (P1.8.2.1)

N° de cat.	Descripción	P1.8.2.1	P1.8.2.2
362 02	Cilindro de Arquímedes	1	1
315 011	Balanza hidrostática	1	
315 31	Juego de pesas de 10 mg a 200 g	1	
664 111	Vaso, 100 ml, forma alta	1	
664 113	Vaso, 250 ml, forma alta	1	1
672 1210	Glicerina, 99%, 250 ml	1	1
671 9720	Etanol - solvente, 1 l	1	1
314 141	Dinamómetro de precisión 1,0 N		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1



Measuring the buoyancy as a fuction of the immersion depth (P1.8.2.2)

El principio de Arquímedes dice que sobre un cuerpo sumergido en agua actúa una fuerza de empuje *F* cuya magnitud corresponde al peso *G* del agua desalojada.

En el experimento P1.8.2.1 se verifica experimentalmente el principio de Arquímedes. Con tal propósito cuelgan de los brazos de una balanza, uno encima del otro, un cilindro hueco y un cilindro macizo que justo entra en el cilindro hueco. Al inicio la indicación de la balanza debe ser compensada a cero. Si el cilindro es sumergido en un líquido, la balanza indica la reducción del peso debido al empuje hidrostático en el líquido. Después de llenar el mismo líquido en el cilindro hueco la balanza indica nuevamente cero, ya que el peso del líquido llenado nuevamente compensa al empuje hidrostático.

En el experimento P1.8.2.2 se sumerge un cilindro macizo en diferentes líquidos hasta una profundidad *h* y se mide el peso

$$G = \rho \cdot g \cdot A \cdot h$$

ρ: densidad, g: aceleración de la gravedad,
A: sección transversal

del líquido desalojado, como fuerza de empuje *F*, con un dinamómetro de precisión. El experimento confirma la relación

$$F : \rho$$

Siempre que la profundidad sea menor que la altura del cilindro se cumple que

$$F : h$$

Para mayores profundidades de inmersión la fuerza de empuje permanece constante.

Montaje de un Viscosímetro de caída de bola para determinar la viscosidad de líquidos viscosos (P1.8.3.1)

VISCOSIDAD

P1.8.3.1
Montaje de un Viscosímetro de caída de bola para determinar la viscosidad de líquidos viscosos

N° de cat.	Descripción	P1.8.3.1
379 001	Tubo de vidrio para caída en vacío	1
336 21	Imán de retención con manguito	1
352 54	Bola de acero, 16 mm	1
336 25	Adaptador para imán de retención con disparador	1
575 471	Contador S	1
510 48	Par de imanes	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
301 11	Mordaza con pinza cilíndrica	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
672 1210	Glicerina, 99%, 250 ml	6
590 08	Cilindro de medición SAN 100 ml	1*
311 54	Vernier de precisión	1*
OHC R221	Balanza compacta CR221, 220 g : 0,1 g	1*

* se requiere adicionalmente

En el viscosímetro de caída de bola se determina la viscosidad de líquidos midiendo el tiempo de caída de una bola. Primeramente se llena la sustancia que va a ser estudiada en el tubo de caída del viscosímetro, en el cual la esfera debe caer una distancia calibrada. A partir del tiempo de caída t respectiva se obtiene la viscosidad dinámica η del líquido según la ecuación:

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t$$

ρ_2: densidad del liquido estudiado

donde la constante K y la densidad de la esfera ρ_1 se pueden tomar de los datos técnicos del viscosímetro.

El objetivo central del experimento P1.8.3.1 es el montaje de un viscosímetro de caída de bola y el estudio del método de medición tomando como ejemplo la viscosidad de la glicerina.

VISCOSIDAD

P1.8.3.2
Viscosímetro de caída de bola de Höppler: Medición de la viscosidad de soluciones de azúcar en función de la concentración

P1.8.3.3
Viscosímetro de caída de bola de Höppler: Medición de la viscosidad de líquidos newtonianos en función de la temperatura

Viscosímetro de caída de bola de Höppler: Medición de la viscosidad de soluciones de azúcar en función de la concentración (P1.8.3.2)

N° de cat.	Descripción	P1.8.3.2	P1.8.3.3
665 906	Viscosímetro de caída de bola según Höppler	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1
666 7681	Termostato de circulación SC 100-S5P		1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m		2
675 3410	Agua, destilada, 5 l		2

En el viscosímetro de caída de bola se determina la viscosidad de líquidos midiendo el tiempo de caída de una bola. Primeramente se llena la sustancia que va a ser estudiada en el tubo de caída del viscosímetro, en el cual la esfera debe caer una distancia calibrada. A partir del tiempo de caída t respectiva se obtiene la viscosidad dinámica η del líquido según la ecuación:

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t$$

ρ_2: densidad del liquido estudiado

donde la constante K y la densidad de la esfera ρ_1 se pueden tomar de los datos técnicos del viscosímetro.

En el experimento P1.8.3.2 se estudia la dependencia de la viscosidad con respecto a la concentración en soluciones de azúcar concentradas; todo ello a temperatura ambiente.

En el experimento P1.8.3.3 se conecta el recinto temperado del viscosímetro aun termostato de circulación y se mide la viscosidad de un líquido newtoniano (por ej. aceite de oliva) en función de la temperatura.

Ley de Hagen-Poiseuille (P1.8.3.4)

VISCOSIDAD

P1.8.3.4
Ley de Hagen-Poiseuille

N° de cat.	Descripción	P1.8.3.4
665 195	Tubocapilar 300 mm x 5 mm, 0,4 mm	1
665 196	TUBO CAPILAR 300X8MM,DI:2MM	1
665 205	Tubo cabilar, 300 mm x 8 mm, 0,8mm	1
667 510	TUBO CAPILLAR,400MM,1 MM	1
460 21	Soporte para elemento enchufable	1
590 02	Soporte con muelle prensor	2
LDS 00001	Cronómetro, digital	1
382 21	Termómetro agitador -10...+110 °C	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1
362 05	Recipiente de rebose, 1 l	1
665 752	Cilindro graduado 25 ml, con base de plástico	1
608 160	Abrazadera de la tuberíaMohr,	1
665 227	Empalme, 4/8 mm Ø	1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1
667 197	Tubo de silicona de 4 mm, 1 m	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1
301 09	Mordaza doble S	2
648 01	Bandeja de almacenaje S8-FN	1
675 3400	Agua, destilada, 1 l	1
460 135	Ocular graticulado	1*
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m	1*
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2*

* se requiere adicionalmente

En el viscosímetro de caída de bola se determina la viscosidad de líquidos midiendo el tiempo de caída de una bola. Primeramente se llena la sustancia que va a ser estudiada en el tubo de caída del viscosímetro, en el cual la esfera debe caer una distancia calibrada. A partir del tiempo de caída t respectiva se obtiene la viscosidad dinámica η del líquido según la ecuación:

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t$$

ρ_2: densidad del liquido estudiado

En el experimento P1.8.3.4 se comprueba la ley de Hagen-Poiseuille usando varios tipos de tubos capilares y distintos niveles efectivos para obtener una diferencia de presión variable.

TENSIÓN SUPERFICIAL

P1.8.4.1
Medición de la tensión superficial por el método de ruptura

P1.8.4.2
Medición de la tensión superficial por el método de ruptura - Registro y evaluación con CASSY

Medición de la tensión superficial por el método de ruptura (P1.8.4.1)

N° de cat.	Descripción	P1.8.4.1	P1.8.4.2
367 46	Aparato para medir la tensión superficia	1	1
664 175	Cubeta para cristalizar, 300 ml	1	1
314 111	Dinamómetro de precisión 0,1 N	1	
311 53	Calibradores vernier	1	1
300 76	Soporte elevador II, 16 x 13 cm	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1	
301 08	Mordaza con gancho	1	
671 9740	Etanol, solvente, 250 ml	1	1
675 3400	Agua, destilada, 1 l	1	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1

Para determinar la tensión superficial σ de un líquido, se cuelga un aro de metal de manera horizontal de un dinamómetro de precisión o un sensor de fuerza. El aro de metal se sumerge completamente en un líquido, de tal manera que el borde superior quede completamente mojado. Lentamente se eleva al aro fuera del líquido para obtener una película de líquido jalada hacia arriba. La película de líquido se rompe si la fuerza de tensión

$$F = \sigma \cdot 4\pi \cdot R$$

R: radio de corte

ha sido sobrepasada.

En los experimentos P1.8.4.1 y P1.8.4.2 se determinan la tensión superficial del agua y del etanol. Aquí se muestra que el agua, en comparación con otros líquidos, se caracteriza por tener un valor alto de tensión superficial (de la bibliografía: agua: 0,073 Nm^{-1}, etanol: 0,022 Nm^{-1}).

Presión estática y determinación del flujo volumétrico con un tubo de Venturi - Medición de presión con el manómetro fino (P1.8.5.1)

INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA

P1.8.5.1
Presión estática y determinación del flujo volumétrico con un tubo de Venturi - Medición de presión con el manómetro fino

P1.8.5.3
Determinación de la velocidad del viento con una sonda de presión de retención - Medición de presión con el manómetro fino

P1.8.5.4
Presión estática y determinación del flujo volumétrico con un tubo de Venturi - Medición de presión con sensor de presión y CASSY

P1.8.5.6
Determinación de la velocidad del viento con una sonda de presión de retención - Medición de presión con sensor de presión y CASSY

N° de cat.	Descripción	P1.8.5.1	P1.8.5.3	P1.8.5.4	P1.8.5.6
373 041	Ventilador aspirador y soplador	1	1	1	1
373 091	Tubo de Venturi con multimanoscopio	1		1	
373 10	Manómetro de precisión	1	1		
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	2	1	1	
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1		1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1		
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1		1	
391 151	Liquido coloreado para manometros 100 ml	1	1		
373 13	Sonda manométrica		1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
524 066	Sensor de presión S, ± 70 hPa			1	1

En aerodinámica es sumamente importante describir la corriente de aire que pasa a través de un tubo utilizando la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli. Estas expresiones estipulan que, independiente de la sección transversal A del tubo, el flujo

$$\dot{V} = v \cdot A$$

v: velocidad del flujo

y la presión total

$$p_0 = p + p_s \quad \text{avec} \quad p_s = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

p: presión estática, p_s: presión dinámica,
ρ: densidad del aire

permanecen constantes, siempre que la velocidad del flujo sea menor que la velocidad del sonido.

Nota: En los experimentos P1.8.5.1 y P1.8.5.3 las mediciones de las presiones se realizan con un manómetro fino. Este contiene, además de una escala de presión, otra escala que indica directamente la velocidad del flujo cuando se mide con la sonda depresión de Prandtl. En los experimentos P1.8.5.4 y P1.8.5.6 la presión se mide con un sensor de presión para ser registradas con el Mobile-CASSY.

Para verificar ambas ecuaciones, en el experimento P1.8.5.1 se mide la presión estática en un tubo de Venturi en diferentes secciones transversales. La presión estática disminuye en las secciones estrechas, ya que la velocidad del flujo aumenta en ellas. En el experimento se implementa el tubo de Venturi para medir el flujo volumétrico. A partir de la diferencia de presiones $\Delta p = p_2 - p_1$ entre dos lugares, cuyas secciones transversales A_1 y A_2 son conocidas, se obtiene la relación

$$v_1 \cdot A_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot A_2^2}{\rho \cdot \left(A_2^2 - A_1^2\right)}}$$

El objetivo de los experimentos P1.8.5.3 y 1.8.5.6 es la determinación de las velocidades de flujo. A tal fin se mide la presión dinámica con una sonda de presión dinámica de Prandtl como la diferencia entre la presión total y la presión estática y de aquí se calcula la velocidad con la densidad ρ

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AIRE

P1.8.6.1
Resistencia del aire en función de la velocidad del viento y de la forma del cuerpo - Medición de presión con el manómetro fino

P1.8.6.3
Evolución de la presión de curva en un perfil de ala - Medición de presión con el manómetro fino

P1.8.6.4
Resistencia del aire en función de la velocidad del viento y de la forma del cuerpo - Medición de presión con sensor de presión y CASSY

P1.8.6.6
Evolución de la presión de la curva en un perfil de ala - Medición de presión con sensor de presión y CASSY

Resistencia del aire en función de la velocidad del viento y de la forma del cuerpo - Medición de presión con el manómetro fino (P1.8.6.1)

N° de cat.	Descripción	P1.8.6.1	P1.8.6.3	P1.8.6.4	P1.8.6.6
373 041	Ventilador aspirador y soplador	1	1	1	1
373 06	Sección de ensayo abierta para aerodinám	1	1	1	1
373 071	Accesorios de medición 1	1		1	
373 075	Carro de medición para el túnel aerodiná	1		1	
373 14	Dinamómetro sectorial 0,65 N	1		1	
373 13	Sonda manométrica	1	1	1	1
373 10	Manómetro de precisión	1	1		
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	2	1	1
300 11	Zócalo	1		1	
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1			
391 151	Liquido coloreado para manometros 100 ml	1	1		
373 70	Perfil de ala de avión		1		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1	1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
524 066	Sensor de presión S, ± 70 hPa			1	1

Una corriente de aire ejerce sobre un cuerpo una fuerza F_W paralela a la dirección del flujo que se denomina resistencia del aire. Esta fuerza depende de la velocidad del flujo v, de la sección transversal A del cuerpo vertical a la dirección del flujo y de la forma del cuerpo. La influencia de la forma del cuerpo se describe con ayuda del así denominado coeficiente de resistencia c_W, que está relacionado con la resistencia del aire según la ecuación:

$$F_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

Nota: En los experimentos P1.8.6.1 y P1.8.6.3 las mediciones de presión se llevan a cabo con el manómetro fino. Este contiene, además de una escala de presión, otra escala que indica directamente la velocidad del flujo cuando se mide con la sonda de presión de Prandtl. En los experimentos P1.8.6.4 y P1.8.6.6 la presión se mide con un sensor de presión para registrarse con el Mobile-CASSY.

En el experimento P1.8.6.1 et P1.8.6.4 se estudia la resistencia del aire en un disco circular en función de la velocidad del flujo. Se mide la velocidad del flujo con una sonda de presión de Prandtl y la resistencia del aire se mide con un dinamómetro. En el experimento se determina el valor c_w de diferentes cuerpos con la misma sección transversal.

El objetivo de los experimentos P1.8.6.3 y P1.8.6.6 es medir la presión estática p en diferentes puntos de los lados superior e inferior del perfil alar. El proceso de medición sirve para ilustrar a los alumnos la resistencia del aire y la causa de la aparición del empuje que actúa sobre el perfil alar.

Mediciones de alas en el túnel aerodinámico (P1.8.7.1)

MEDICIONES EN EL TÚNEL AERODINÁMICO

P1.8.7.1
Mediciones de alas en el túnel aerodinámico

P1.8.7.3
Verificación de la ecuación de Bernoulli - Medición con el manómetro fino

P1.8.7.4
Verificación de la ecuación de Bernoulli - Medición con el sensor de presión y CASSY

N° de cat.	Descripción	P1.8.7.1	P1.8.7.3	P1.8.7.4
373 12	Túnel aerodinámico	1	1	1
373 041	Ventilador aspirador y soplador	1	1	1
373 075	Carro de medición para el túnel aerodiná	1	1	1
373 08	Accesorios de medición 2	1		
373 14	Dinamómetro sectorial 0,65 N	1		
373 13	Sonda manométrica		1	1
373 10	Manómetro de precisión		1	
391 151	Liquido coloreado para manometros 100 ml		1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1
524 066	Sensor de presión S, ± 70 hPa			1

El túnel aerodinámico ofrece un trayecto de medición apropiado para experimentoscuantitativos en aerodinámica y en el que se garantiza una distribución de velocidad del aire constante en el tiempo y espacio. Es adecuado sobre todo para realizar mediciones de la física del vuelo.

En el experimento P1.8.7.1 se mide la resistencia del aire f_W y el empuje $F_A$de un perfil alar en función del ángulo de ataque α del perfil alar respecto a la dirección del flujo. En un diagrama polar se grafica F_W en función de F_A con el ángulo de ataque α como parámetro. De este diagrama polar se puede tomar, por ejemplo, el ángulo de ataque óptimo. En el experimento se llevan a cabo mediciones en los perfiles alares construidos por el propio experimentador. Aquí se estudia la forma de los perfiles alares para obtener un cociente F_W / F_A lo más pequeño posible para un determinado ángulo de ataque α

El objetivo de los experimentosP1.8.7.3 y P1.8.7.4 es la verificación de la ecuación de Bernoulli. Con tal propósito se mide la diferencia entre la presión total y la presión estática en función de la sección transversal, en donde se monta una rampa para estrechar de forma continua la sección transversal del túnel aerodinámico a lo largo de la dirección del flujo. Bajo el supuesto que se cumpla la ecuación de continuidad, a causa de

$$v = \frac{v_0 \cdot A_0}{A}$$

v_0: velocidad del flujo para sección transversal A_0

se tiene que la sección transversal A es una medida de la velocidad de flujo v Aquí se confirma la siguiente relación

$$\Delta p \sim \frac{1}{A^2}$$

deducida de la ecuación de Bernoulli.

Verificación de la ecuación de Bernoulli - Medición con un sensor de presión y Mobile-CASSY (P1.8.7.4)

P2.3.3.1

Conversión de energía mecánica en energía calorífica
- Registro manual y evaluación de los valores medidos

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 66.