

LEYBOLD®



EXPERIMENTOS DE FÍSICA

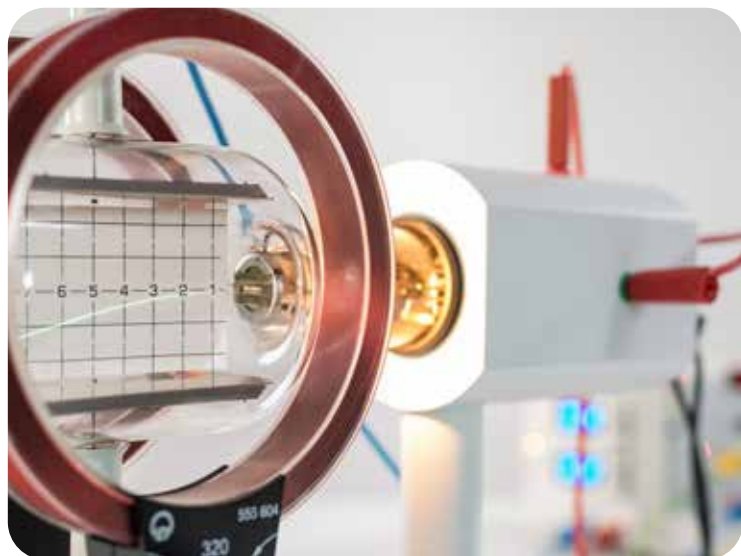


- MECÁNICA
- CALOR
- ELECTRICIDAD
- ELECTRÓNICA
- ÓPTICA
- FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR
- FÍSICA DE ESTADO SÓLIDO

**Puede hacer clic en el tema para ir a la página*



EXPERIMENTOS DE FÍSICA CON LA CALIDAD Y CONFIANZA DE LEYBOLD



Los experimentos se han vuelto una parte indispensable de la educación. La combinación del conocimiento teórico y las sesiones experimentales asegura un aprendizaje exitoso y sostenible.

Proveemos una amplia gama de experimentos de alta calidad desde todas las áreas de física. Nuestra calidad garantiza la durabilidad y seguridad durante la instalación completa del experimento.

Más de
500 experimentos
en varios ámbitos
de la física.



Estos están disponibles en varias versiones (por ejemplo, con y sin soporte para PC) los cuales pueden ser adaptados al tiempo de clase y nivel del estudiante. Los experimentos se apoyan en instructivos, que incluyen una guía clara paso a paso, mediciones de muestra y consejos de seguridad.

Le avisaremos directamente y mostraremos nuestros experimentos para usted.

¡Diviértase experimentando!

MÁS EXPERIMENTOS
DISPONIBLES EN
NUESTRA WEB
WWW.LEYBOLD-SHOP.COM



INTRODUCCIÓN

LD DIDACTIC – SOBRE NOSOTROS	II-III
PROPUESTA DE LABORATORIO ESTANDAR DE LEYBOLD	IV-V
EXPERIMENTOS DE FÍSICA DESTACADOS	VI-VII
SISTEMA DE RAYOS X DE LEYBOLD	VIII-IX
LEYLAB – FÁCIL MANEJO DE LABORATORIOS	X-XI
GUIAS DE EXPERIMENTOS + EDITOR LAB DOC	XII-XIII
SISTEMA CASSY – RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE DATOS	XIV-XV
SOLUCION ONE-STOP – DEL ASESORAMIENTO AL ENTRENAMIENTO	XVI-XVII
REVISION DE TODOS LOS EXPERIMENTOS CON PAGINAS	XVIII-XIX
CÓMO USAR ESTE CATÁLOGO	XX

EXPERIMENTOS

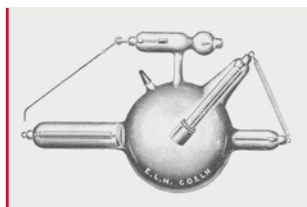
P1	MECÁNICA	1
P2	CALOR	57
P3	ELECTRICIDAD	78
P4	ELECTRÓNICA	128
P5	ÓPTICA	142
P6	FÍSICA NUCLEAR Y ATÓMICA	190
P7	FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO	231
	REGISTRO	246

**Puede hacer clic en el tema para ir a la página*

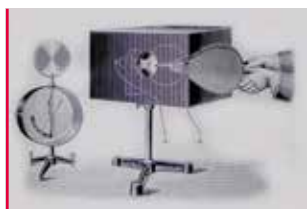
MÁS DE
170 AÑOS
DE EXPERIENCIA

GRUPO LD DIDACTIC

LA EXPERIMENTACIÓN ES NUESTRA PASIÓN



1896



1929



1968



1980



2004

Aparato de rayos X

EXPERIMENTOS PARA ESTUDIANTES Y DEMOSTRACIÓN POR MÁS DE 170 AÑOS

EL SECRETO DEL ÉXITO ES LA MEZCLA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA

La experimentación siempre ha sido una competencia clave de los científicos y asegura que en realidad se entienda el fenómeno físico.

El planeamiento, realización y grabación de experimentos es un elemento importante de una educación bien fundada en ciencia. Para reforzar el conocimiento nuevo adquirido, los experimentos deben ir de acuerdo con la teoría.

UNA VENTAJA COMPETITIVA EN UN MUNDO ALTAMENTE COMPETITIVO

Creemos en la importancia de la educación como un factor fundamental del desarrollo personal, nacional y global. En un mundo altamente especializado, el conocimiento se ha vuelto un factor decisivo: el personal calificado está en mayor demanda que nunca. Al invertir en la preparación práctica de sus estudiantes, los equipa con las principales habilidades en ciencia que el mercado laboral requiere.

LA PASIÓN POR EL EQUIPO DE ENSEÑANZA ESTÁ EN NUESTRO ADN

El grupo LD DIDACTIC es un fabricante global líder en sistemas de enseñanza y preparación de alta calidad. Desde el inicio, en 1850, en LEYBOLD nos concentramos en cómo hacer contenido académico entendible y tangible para estudiantes de diferentes niveles de educación. Por lo tanto, estamos orgullosos que por generaciones nuestros sistemas educativos y de preparación han hecho una contribución significativa para la transferencia del conocimiento en ciencias naturales.

Sin embargo, en 170 años de experiencia hemos entendido que se puede lograr mucho cuando se mantiene el ritmo con las necesidades del cliente: continuamente nos desafiamos a preservar estándares de calidad y desarrollar nuestros productos y servicios en línea con la cambiante curricula y las nuevas tecnologías.

2021



EL EQUIPO DE RAYOS X – SIEMPRE LO MÁS MODERNO

Un ejemplo perfecto del espíritu de
innovación de LD DIDACTIC

Apenas un año después del descubrimiento de los rayos X, LD DIDACTIC ya ofrecía el primer equipamiento para este nuevo tópico de física. Durante ese tiempo, el dispositivo fue mejorado en manejo, desempeño y seguridad. La más reciente generación brinda incluso un soporte para una enseñanza digital, así como técnicas de imagen enteramente digital, además de envío en tiempo real de datos a los dispositivos móviles de los estudiantes durante el experimento.



LEYBOLD®



DISEÑADO EN
ALEMANIA

PRODUCTOS DE
**LARGA
VIDA**

LD DIDACTIC

LA MEJOR OPCIÓN

Más de 100,000 colegios, facultades y universidades en más de 80 países confían en nuestras soluciones, incluyendo universidades de alta categoría como Harvard, Oxford, Cambridge, Stanford, Yale, Toronto, Tsinghua y Singapore.

SE BENEFICIA CON

170 AÑOS DE EXPERIENCIA,
BASADA EN EL SISTEMA
DE EDUCACIÓN ALEMÁN.

RECIBE

SOLUCIONES INDIVIDUALES
DE PRINCIPIO A FIN

BRINDA

SOLUCIONES FÁCILES
DE USAR Y RELEVANTES
PARA EL ESTUDIANTE

GANA

CONOCIMIENTO
(ASESORÍA DE CURRÍCULO,
PREPARACIÓN PARA
EL INSTRUCTOR)

NOTA

RESULTADOS DE
LA ENSEÑANZA EXITOSA
Y SOSTENIBLE

ASEGURA

INNOVACIONES LISTAS
PARA EL FUTURO
(EDUCACIÓN DIGITAL)



USTED OBTIENE CALIDAD PREMIUM

USTED OBTIENE ...

USTED OBTIENE ...

INGENIERÍA ALEMANA

- Desarrollada y diseñada en Alemania
- Control de calidad certificado con ISO 9001
- Equipo altamente especializado con un entorno didáctico.

CONFIABLE Y PROVECHOSO

- Materiales sólidos y de construcción estable, reconocidos en todo el mundo
- Gran retorno de la inversión y libre de preocupaciones por el largo tiempo de vida
- Componentes para la vida real para percibir cómo será el trabajo en el futuro
- El sistema modular permite reponer elementos sueltos
- Materiales fáciles de mantener (por ejemplo, de limpiar)
- Productos fabricados responsablemente

PERFECTO PARA ESTUDIANTES

- Las guías escritas y el experimento se emparejan perfectamente.
- Los estudiantes pueden configurar y llevar a cabo experimentos de forma independiente.
- Robusto, fácil de usar y seguro para las manos del estudiante
- Probado y testeado para la vida diaria de las escuelas, facultades y universidades.



PROPUESTA DE LABORATORIO ESTÁNDAR DE LEYBOLD

SU LABORATORIO DE FÍSICA COMPLETO CON LEYBOLD

¿No está seguro de su selección de experimentos? LD DIDACTIC ha creado cuatro propuestas de laboratorio para distintos propósitos basados en nuestros 170 años de cooperación con universidades líderes en todo el mundo. La colección de experimentos incluye configuraciones completas de experimentos, dispositivos de recolección de datos y su software, guías de experimentos y todos los insumos necesarios. Además, los laboratorios contienen herramientas digitales de Leybold para el manejo de los laboratorios, preparación digital del trabajo en el laboratorio y clases y el uso del contenido digital.



PROPUESTA DE LABORATORIO ESTÁNDAR DE FÍSICA PARA BACHILLER

Experimentos fundamentales comunes de acuerdo con la currícula de las universidades líderes en los campos de la física como mecánica, calor/termodinámica, electricidad, óptica y física atómica. La selección permite cursos prácticos para cinco ciclos, pero podría incluso adaptarse a la currícula de cada uno.

Ingresa directamente a la propuesta de laboratorio de física para bachiller:



<https://www.ld-didactic.de/en/physics-standard-lab-proposals.html>

PROPUESTA DE LABORATORIO ESTÁNDAR DE FÍSICA PARA MÁSTER

Experimentos avanzados en el rango de óptica, física atómica, nuclear y del estado sólido, la cual necesita un conocimiento comprensivo sobre el entorno físico y habilidades avanzadas para realizar los experimentos. 14 experimentos diferentes pueden llevarse a cabo, todos pueden adaptarse incluso para un proyecto de tesis.

Ingresa directamente a la propuesta de laboratorio de física para máster:



<https://www.ld-didactic.de/en/physics-standard-lab-proposals.html>



PROPUESTA DE LABORATORIO ESTÁNDAR DE FÍSICA PARA ESTUDIANTES DE QUÍMICA, BIOLOGÍA Y OTROS

Una pequeña colección de experimentos fundamentales sobre mecánica y calor para estudiantes con un enfoque diferente como química, biología, geología, farmacia o ciencias de la computación. Se han elegido una cantidad y estilo de tal manera que, se pueda aprender los principios de experimentación en un solo semestre.

Ingrese directamente a la propuesta de laboratorio de física para estudiantes de química, biología y otros:



<https://www.ld-didactic.de/en/physics-standard-lab-proposals.html>

PROPUESTA DE LABORATORIO ESTÁNDAR DE FÍSICA PARA INGENIEROS

Una selección de experimentos de física pensando en la aplicación en la tecnología (física de máquinas eléctricas, túnel de viento, etc). La mayoría de los experimentos pueden ser modificados por otros campos técnicos como el aislamiento para casas o diseño e impresión 3D de aspas aerodinámicas

Ingrese directamente a la propuesta de laboratorio de física para ingenieros:



<https://www.ld-didactic.de/en/physics-standard-lab-proposals.html>

EXPERIMENTOS DE FÍSICA

DESTACADOS

MÁS DE
500
EXPERIMENTOS

Explore más de 500 configuraciones de experimentos listos para usar y que cubren todos los temas relevantes dentro del mundo de la Física. Desarrollado en cooperación cercana con maestros, profesores y estudiantes alrededor del mundo, la colección coincide con todos los planes curriculares internacionales y puede usarse para cursos de bachiller y máster.

Todas las configuraciones de experimentos son compilaciones especialmente hechas incluyendo todo el equipamiento necesario, la tecnología de medición y software más moderno. Dentro de nuestro amplio espectro de experimentos hay algunos que son especiales y únicos.

MECÁNICA

AERO E HIDRODINÁMICA



TÚNEL DE VIENTO

P1.8.7.4

- Dispositivo potente de tamaño razonable para un laboratorio de enseñanza
- Motivación por aplicación (por ejemplo, un ala de avión)
- Adecuado para modelos hechos con una impresora 3D

PÁGINA 56

CALOR

TRANSFERENCIA DE CALOR



CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

P2.2.1.2

- Aprendizaje de la conductividad térmica en una situación diaria de aislamiento de casas
- Comparación de técnicas diferentes para la medición
- Los estudiantes tienen la posibilidad de diseñar sus propios materiales y probarlos en sus calidades de aislamiento

PÁGINA 62

ELECTRICIDAD

ONDAS Y OSCILACIONES ELECTROMAGNÉTICAS



SISTEMA DE ONDAS DECIMETRO

P3.7.2.2

- Experiencia macroscópica del fenómeno ondulatorio de ondas electromagnéticas
- Polarización y cambio de longitud de onda en diferentes dieléctricos
- Aplicación de transmisión de datos

PÁGINA 119

FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR

FÍSICA NUCLEAR



DISPERSIÓN DE RUTHERFORD

P6.5.2.1

- Instalación didáctica, por ejemplo, medición directa de la tasa de conteo vs. la escala de dispersión
- Manejo simple y seguro
- Hoja de instrucciones con una muestra detallada de los resultados de medición
- Experimento crucial para entender la materia.

PÁGINA 223

FÍSICA DE ESTADO SÓLIDO

FENÓMENO DE LA CONDUCCIÓN



SUPERCONDUCTIVIDAD

P7.2.6.1

- Instalación simple para la examinación de la superconductividad y la temperatura Curie
- Manejo fácil: solo agregue nitrógeno líquido y empiece a medir
- Compatible con casi todos los sistemas de interface

PÁGINA 242

TOTALMENTE
100 %
SEGURO

SISTEMA DE RAYOS X

EQUIPO DE RAYOS X CON TECNOLOGIA DE CAMBIO DE TUBOS SEGURO

El sistema de rayos X de Leybold establece nuevos estándares y ofrece opciones increíbles en la educación en su 6ta generación desde 1896.



- Seguridad aprobada por instituciones alemanas para el uso en colegios, facultades y universidades.
- Amplia gama de aplicaciones basadas en 6 tubos intercambiables, por ejemplo, hierro, plata y oro.
- Increíble resolución e intensidad
- Configuración individual para sus necesidades gracias a la estructura modular
- Operación clara e intuitiva con el principio de "Un botón – Una función"
- Pantalla LED grande incorporada y pantalla extra de alta tasa de refresco.
- Permite hacer tomografías de alto volumen (8 x 8 x 8 cm)

EQUIPAMIENTO BÁSICO

EQUIPO DE RAYOS X

El equipo está disponible en dos variantes – como un equipo básico o como un set completo con tubo de Mo, goniómetro y monocristal de NaCl. Si desea usar otros tubos, el equipo básico es la solución más flexible.

Puede extender las prestaciones de su equipo con una caja para accesorios independientemente de la versión que use.

GONIÓMETRO

Sin importar si está interesado en espectros de Bragg, espectros de la energía de rayos X o en tomografía computada, usted estará satisfecho con la precisión y alta resolución del goniómetro.

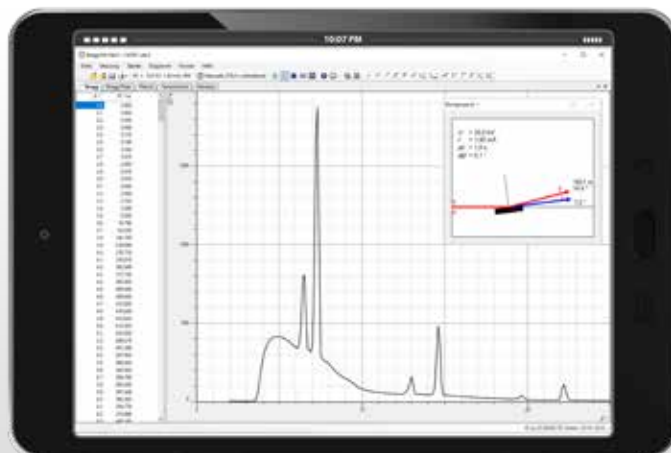
TUBOS

En adición al tubo de Mo, hay otros tubos, los cuales son más adecuados para áreas especiales de aplicación, por ejemplo, el tubo de Cu para diagramas Debye-Scherrer, el tubo de Ag para fluorescencia de rayos X a partir de sus líneas K de alta energía, tubos de W o Au para tomografías computadas o de radiación a partir de su alta intensidad.

SOFTWARE

CASSY LAB 2 PARA EL EQUIPO DE RAYOS X

Cassy Lab 2 permite mediciones comprensibles y la graficación de diagramas como el espectro de Bragg. El software también permite enviar en tiempo real las mediciones del espectro a los dispositivos digitales de los estudiantes. Fórmulas libres para conversiones arbitrarias del espectro registrado, la alta resolución del accesorio HD, rayos X y la funcionalidad de soporte integrado con ejemplos de experimentos son solo algunas de las características más realtantes de CASSY Lab 2.





DETECTOR DE ENERGÍA DE RAYOS X

El detector de energía de rayos X expone los espectros de rayos X de dispersión de energía con el sistema CASSY. Se pueden distinguir varios elementos químicos de manera sencilla usando el espectro de energía de rayos X, se pueden determinar también por medio de su característica radiación de rayos X y su fracción de masa. El efecto Compton se puede evidenciar.

MODULO DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

El equipo de rayos X tiene una pantalla fluorescente instalada en la parte lateral en donde los rayos X se pueden observar de manera directa. El módulo de tomografía computado captura esta imagen visible de rayos X y el software brindado controla la rotación de 360° del objeto en el equipo de rayos X y lleva a cabo la retroproyección de la imagen para una reconstrucción 3D en tiempo real.



ESPECTRO DE BRAGG

Usted tiene todo lo que necesita para capturar su primer espectro de Bragg con el equipo completo con un tubo de Mo. Otros monocristales disponibles y/o tubos de rayos X ofrecen muchas variaciones posibles.

Encuentre una selección de nuestros experimentos con rayos X en las siguientes páginas:

FÍSICA DE RAYOS X
P6.3.1-7 páginas 207-217

DISPERSIÓN DE RAYOS X
P7.1.2 páginas 233-234

ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
P7.5.1 página 245

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA PRO

Si la resolución del módulo de tomografía computado no es suficiente, el sensor de imagen de los rayos X brinda la solución con su resolución de megapixel y su escala de grises de 14 bits. Las resoluciones de vóxel con una longitud de hasta menos de 50 μM son posibles. El sensor de imagen de rayos X también brinda una solución confortable y rápida para los diagramas de Laue y Deybe-Scherrer.



ACCESORIO HD

La resolución angular del goniómetro se incrementa a 0.01° con el accesorio HD el cual consiste de un colimador y un sujetador para el tubo contador con huecos estrechos con un software nuevo y de alta resolución. Los espectros de Bragg con una resolución de 4 veces son posibles con esto.



TUBO DE ORO

El tubo de oro es el tubo de LEYBOLD con la intensidad más alta. Particularmente adecuado para la captura de imágenes de rayos X, diagramas de Laue o tomogramas computados. Además del tubo de Tungsten, es el único tubo en donde el espectro de Bragg consiste de líneas L.

LEYLAB

PORTAL ONLINE PARA LA ORGANIZACIÓN Y MANEJO DE EXPERIMENTOS, DISPOSITIVOS Y LITERATURA

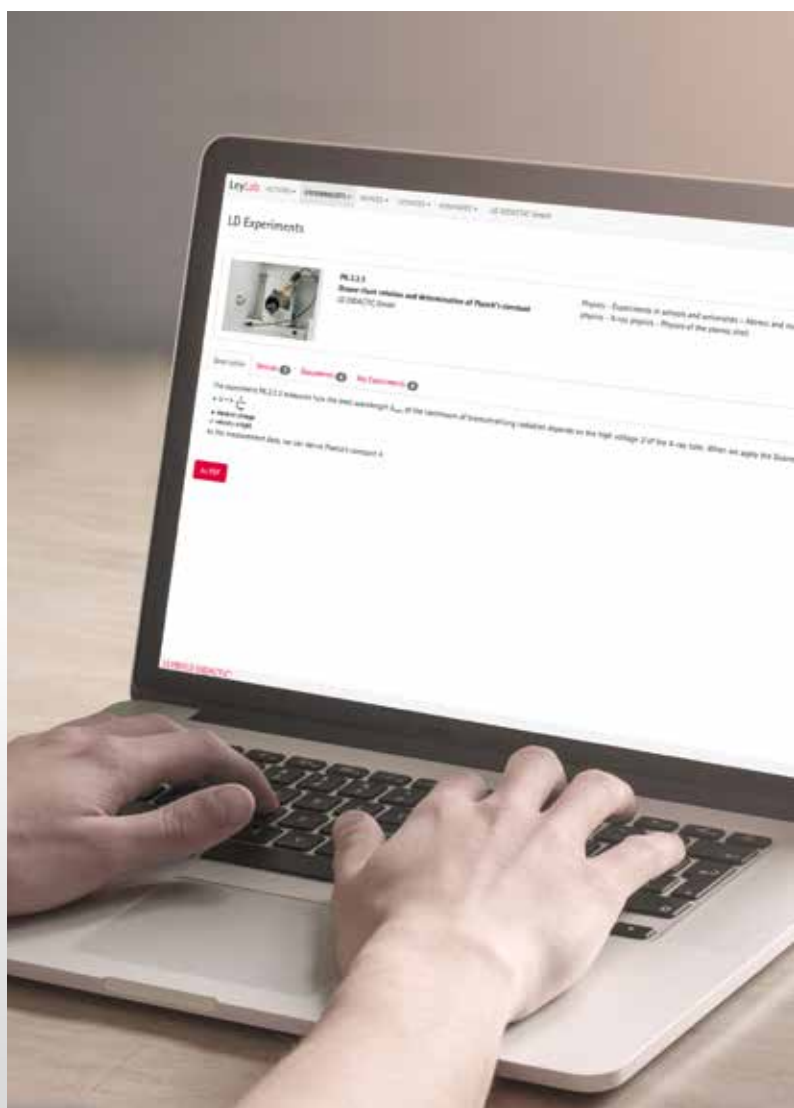


LEYLAB

- Portal online completo
- Organización y manejo central de experimentos y dispositivos
- No requiere instalación
- Para todas las plataformas, tablets, smartphones, laptops y PCs
- Video tutoriales incluidos
- Acceso cuando sea y donde sea

CUANDO SEA Y DONDE SEA COLECCIÓN DE EXPERIMENTOS

- Acceso al catálogo completo de experimentos de LD con toda la información relevante de cada experimento
- Encuentre el experimento que necesita de forma rápida y segura
- Configure su propia colección de experimentos
- Expanda fácilmente los experimentos de LD
- Cree sus propios experimentos fácilmente
- Conecte dispositivos inteligentemente
- Todos los documentos adicionales para el experimento están donde los necesita
- Se puede compartir la colección de documentos tipo como PDFs, videos, links de webs o aplicaciones útiles con los estudiantes.





INVENTARIO EN UN VISTAZO COLECCIÓN DE DISPOSITIVOS

- Revisión directa de todos los dispositivos incluyendo cantidad y ubicación de almacén
- Ahorre tiempo buscando el equipo
- Información detallada de cada componente
- Inventario fácil de la colección completa
 - *Dispositivos tanto de LD como de otros fabricantes*
 - *Con función de código de barras*
- Manejo de inventario claro con función de préstamo y devolución

LITERATURA CENTRALIZADA DISPONIBLE

- La literatura adquirida será visible en el experimento correspondiente
- Puede ser compartida fácilmente con los estudiantes
- Se incluyen los instructivos propios del laboratorio

MANEJO DE LICENCIAS EN UN SOLO SITIO

- Maneja todo el software de LD y su literatura
- Los códigos de licencia se guardan de forma segura en la nube, de forma que, ninguna se pierda y se pueden usar para instalar el software en nuevo hardware

COMPARTIR INFORMACIÓN ACCESO A INVITADOS

- Acceso a Leylab a terceros
- Colabore con sus colegas
- Administración de usuarios con niveles de acceso diferentes
- Comparta información con otros instructores de otras instituciones
- Permite una organización centralizada (por ejemplo, por ministerio) de varias instituciones por lo tanto, un uso más eficiente de los equipos, documentos, etc.



LEYLAB – PORTAL ONLINE

- Licencia de colegio/facultad/universidad
- Para cualquier cantidad de usuarios
- Inventario ilimitado de dispositivos y experimentos
- Las cuentas pueden eliminarse por completo en cualquier momento
- Además, se dispone de instructivos de experimentos numerosos



INSTRUCTIVOS DE EXPERIMENTOS

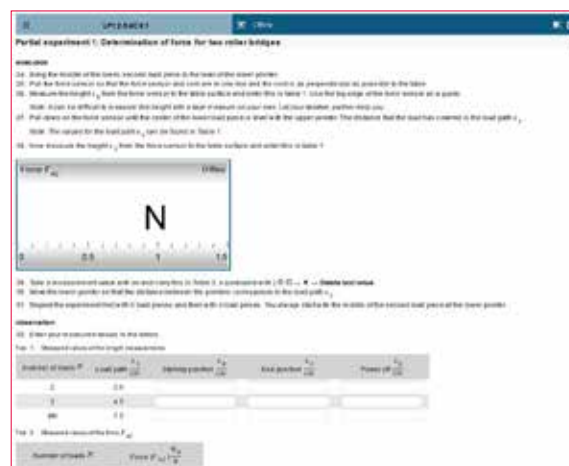
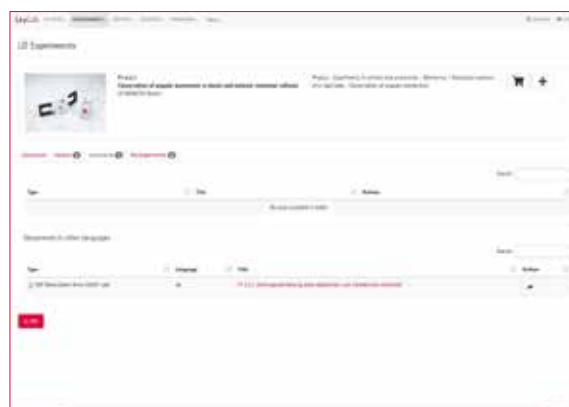
SOPORTE PERFECTO PARA USTED Y SUS ESTUDIANTES

Nuestros instructivos de experimentos son fáciles de usar, compartir e integrar en su enseñanza. Están hechos a la medida de sus necesidades, son intuitivos y van de acuerdo con la currícula.

AHORRO DE TIEMPO

PREPARACIÓN

- Accede desde cualquier lugar a todos los instructivos de experimentos de LeyLab
- Toda la información se encuentra disponible de manera directa en el experimentos: literatura, dispositivos requeridos, ubicación e información adicional
- Descargue listas de experimentos realizables con sus dispositivos existentes
- Encuentre información detallada con objetivos por cada experimento, evaluaciones e información adicional en los instructivos
- Distribución sencilla del instructivo de experimentos
- Actualizaciones en línea gratuitas de los instructivos en LeyLab



EXPERIMENTACIÓN

FÁCIL DE USAR Y FUNCIONAL

- Hojas de trabajo claramente estructuradas con consejos e ilustraciones
- Guía paso a paso para llevar a cabo experimentos y avisos de advertencia para experimentaciones seguras
- Resultados y diagramas de medición de ejemplo real para el propio monitoreo de los estudiantes

LITERATURAS

COMPARTA

- Comparta los instructivos de experimentos en Leylab con todos los estudiantes
- Vía código QR en el sitio o clases en línea
- Vía link por e-mail, plataformas de aprendizaje o clases en línea
- Vía archivo PDF por e-mail, plataformas de aprendizaje o clases en línea



INSTRUCTIVOS DE EXPERIMENTOS

Las descripciones del experimento de todas las áreas de la física para nivel secundaria avanzado o para ejercicios prácticos en escuelas y universidades.

- Clave de producto para el uso en línea en Leylab
- Paquete completo para todos los instructivos de experimentos dentro de este catálogo

597 310 LIT: Folletos digitales de física (código de licencia)



<http://www.leybold-shop.com/597310>

LAB DOCS EDITOR

CREA TUS PROPIAS INSTRUCCIONES PARA EL EXPERIMENTO DIGITAL



Lab Docs Editor es una herramienta fácil de usar que revoluciona la edición de instrucciones de experimentos. Sin necesidad de tener conocimientos de HTML, Lab Docs Editor permite crear instrucciones de experimentos digitales e interactivas.

- Crear instrucciones y tareas; integrar y adaptar diagramas y tablas interactivas diagramas y tablas; añadir texto y campos de respuesta
- Insertar imágenes, gráficos vectoriales, hipervínculos, etc.
- Preparar y crear listas de materiales
- Crear fórmulas en sintaxis LaTeX



200 320 Lab Docs Editor

<http://www.leybold-shop.com/200320>

CASSY – EL SISTEMA

REGISTRO DE DATOS & MEDICIÓN

UNIDADES BÁSICAS

CON PC O SIN PC
& OPCIÓN DE WIFI

1.



CON WIFI
MOBILE-CASSY 2



TAMBIÉN CON
ADAPTADOR WIFI
SENSOR-CASSY 2



POCKET-CASSY 2

- Para todas las situaciones y requerimientos de aprendizaje y entrenamiento
- Fácil de usar
- Rápido y preciso en el registro de adquisición de datos
- Amplia selección
- Bibliotecas gratis disponibles para MATLAB y LabVIEW

SENSORES

PARA TODAS
LAS TAREAS DE MEDICIÓN

2.

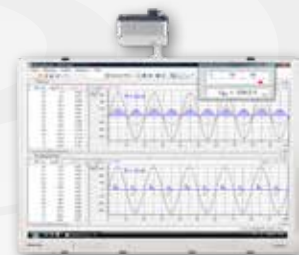
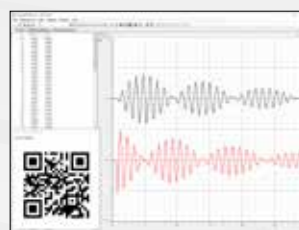


- Más de 50 sensores CASSY
- Compatible con todo el sistema CASSY
- Adquisición de datos de medición de más de 50 cantidades medidas
- Detección automática
- Integración de sensores existentes

SOFTWARE

ADQUISICIÓN DE DATOS,
ANÁLISIS & EVALUACIÓN

3.



- Software de uso intuitivo y fácil
- Interpretación y evaluación de los valores medidos
- Ejemplos de experimentos integrados o configuraciones propias
- Guarde y comparta los valores medidos

CASSY: SIEMPRE LA SOLUCIÓN CORRECTA

Si en caso quiere registrar los datos medidos de los experimentos con o sin computadora o incluso si desea incluir tablets en su clase digital, CASSY ha sido desarrollado para cada necesidad y puede ser ampliada de manera flexible. Siempre encontrará la combinación correcta del dispositivo de medición, sensor y software de medición para sus requerimientos específicos.

<https://www.ld-didactic.de/en/products-solutions/data-logging-and-measuring-technology/cassy-sensors.html>



Para información detallada
sobre los sensores CASSY

CONFIGURACIONES DE EXPERIMENTOS COMPLETOS CON SUS DISPOSITIVOS, SENSORES Y SOFTWARES DE MEDICIÓN CORRESPONDIENTES

Para cada experimento, el dispositivo y sensor CASSY recomendados estén incluidos en la configuración del experimento para el registro ideal de datos del experimento específico.

Nos aseguramos de que los dispositivos cumplan de manera eficiente con los requerimientos de los rangos de mediciones y la exactitud de la medición sin sobrecargarse con nuestra selección del equipo de medición para cada experimento. Incluimos mayores factores como las condiciones técnicas y la facilitación de uso para los estudiantes en consideración mientras se diseña y evalúa la configuración para cada experimento.

Si desea adquirir varios experimentos para su laboratorio, nos complacerá orientarlo en la optimización del sistema de medición.

OBTIENE LAS CONFIGURACIONES DE EXPERIMENTOS QUE FUNCIONAN PERFECTAMENTE

Dispositivo básico		No. de toma-corriente	No. de canales para la medición simultánea	Relé integrado	Habilidad integrada para medir	Pantalla integrada	Almacenamiento de datos en la unidad	Interfaz de la computadora	Tipos de sensores compatibles	Softwares compatibles
	Sensor-CASSY 2 (524 013)	2	4	SÍ	U, I, P, E	NO	NO	USB, adaptador de WiFi	CASSY sensors S	CASSY App CASSY Lab 2 MATLAB LabVIEW
	Mobile-CASSY 2 WiFi (524 005W)	2	3	NO	U, I, P, E & temperatura	SÍ	SÍ	WiFi Integrado, USB, autónomo	CASSY sensors S, CASSY sensors M	CASSY App CASSY Lab 2 MATLAB LabVIEW
	Pocket-CASSY 2 Bluetooth (524 018)	1	1	NO	NINGUNA	NO	NO	Bluetooth, USB	CASSY sensors S	CASSY App CASSY Lab 2 MATLAB LabVIEW
	Universal measurement instrument physics (531 835)	1	1	NO	NINGUNA	SÍ	NO	USB, autónomo	Sensor CASSY S (parcial)	CASSY Lab 2 MATLAB LabVIEW

CASSY LAB 2

SOFTWARE PROBADO PARA REGISTRAR Y EVALUAR DATOS DE MEDICIÓN DE TODOS LOS DISPOSITIVOS CASSY

- Compatible con todos los dispositivos y sensores CASSY
- Incluye el servidor de medición compartir mediciones en vivo, tablas y diagramas así como archivos de medición en tablets, smartphones, etc.
- Una licencia para uso en varias computadoras en un colegio, escuela o universidad
- Detección automática y visualización de todos los sensores CASSY y cajas de sensores
- Carga automática de típicos parámetros de experimentos típicos
- Ejemplos de experimentos operables incluidos
- Registro manual o automático de valores medidos
- Visualización de los datos de medición en forma de instrumentos analógicos/digitales, tablas y/o gráficos (también con asignación de ejes definible por el usuario simultáneo)
- Potentes funciones de evaluación incluyend varios ajustes (línea recta, parábola, hipérbola, función exponencial, ajuste libre), integrales, etiquetado del diagrama, calculación de fórmulas definibles para el usuario, diferenciación, integración, transformada de Fourier
- Uso de código QR para que los estudiantes sigan de manera directa las mediciones en sus smartphones o tablets y luego evaluar los datos medidos

LA SOLUCIÓN LD

MUCHO MÁS QUE UN HARDWARE



ACADEMIA DIDÁCTICA DE LEYBOLD

EL CAMINO A LA EXCELENCIA DOCENTE

PERSONALIZADOS



PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO PARA ASEGURAR RECURSOS Y CARACTERÍSTICAS SOSTENIBLES

- Programas de entrenamiento especializados para profesores, conferencistas e instructores
- Entrenamiento metodológico, didáctico y técnico
- El contenido y enfoque de la capacitación se eligen en función de los requisitos
- El trabajo práctico es el punto central incluyendo el proceso para llevar a cabo experimentos
- Organización y mantenimiento del equipo
- Los seminarios tienen partes externas en colegios, universidades e instituciones reconocidas
- Conocimientos sobre los estándares y las tendencias didácticas alemanas
- Guías comprensivas y documentación del seminario
- Posibilidad para lograr la calificación para instruir profesores, conferencistas e instructores

REFERENCIA PROYECTO DE MÉXICO

La universidad "Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo" logró un nivel educacional más alto para profesores en la implementación de experimentos en clases a través del trabajo de laboratorio práctico y de la teoría. También han obtenido un conocimiento sostenible en el manejo de laboratorio y todos los procesos relacionados del flujo de trabajo.



El seminario tomó lugar en los laboratorios de LEYBOLD, la Universidad de Colonia y un lugar extracurricular de aprendizaje.

P1 MECÁNICA

Página 1

P1.1 Métodos de medición
Longitudes de medición, volumen de medición y densidad, determinación de la constante gravitacional

Página 3

P1.2 Fuerzas
Efectos estáticos de las fuerzas, la fuerza como vector, palanca, bloque, aparejo, plano inclinado y fricción

Página 6

P1.3 Movimientos traslacionales de un punto de masa
Movimientos unidimensionales en el carro de Fletcher en el carril de cojín de aire lineal, conservación de momento lineal, caída libre, proyección angular

Página 12

P1.4 Movimientos de rotación
Movimientos de rotación, conservación del momento angular, fuerza centrífuga, movimientos de un giroscopio, momento de inercia, conservación de la energía

Página 20

P2 CALOR

Página 57

P2.1 Expansión termal
Expansión termal de sólidos y líquidos, anomalía termal de agua

Página 59

P2.2 Transferencia de calor
Conductividad termal, colector solar

Página 62

P2.3 Calor como una forma de energía
Mezcla de temperaturas, capacidades de calor, conversión de la energía mecánica y eléctrica en calor

Página 64

P2.4 Transiciones de fase
Calor latente y calor de vaporización, medición de la presión del vapor, temperatura crítica

Página 68

P3 ELECTRICIDAD

Página 79

P3.1 Electroestática
Experimentos básicos de electrostática, ley de Coulomb, campo y líneas equipotenciales, efectos de la fuerza en un campo eléctrico, distribuciones de carga en conductores eléctricos, definición de capacidad eléctrica, condensador de placa

Página 81

P3.2 Fundamentos de la electricidad
Ley de Ohm, leyes de Kirchhoff, circuitos con instrumentos eléctricos de medición, conducción de por medio de la electrólisis

Página 93

P3.3 Magnetostática
Experimentos básicos de magnetostática, efectos de la fuerza en un campo magnético, ley de Biot-Savart

Página 98

P3.4 Inducción electromagnética
Impulso de tensión, bucle conductor en movimiento, inducción por medio de un campo magnético variable, transformador, medición del campo magnético de la Tierra

Página 103

P4 ELECTRÓNICA

Página 129

P4.1 Componentes y circuitos básicos
Fuentes de corriente y tensión, resistencias especiales, diodos, circuitos de diodos, transistores, circuitos de transistor, optoelectrónica

Página 131

P4.2 Amplificador operacional
Circuitos del amplificador operacional

Página 138

P4.5 Electrónica digital
Combinaciones simples, circuitos lógicos, entradas y salidas analógicas

Página 139

P5 ÓPTICA

Página 143

P5.1 Óptica geométrica
Reflexión y refracción, leyes de la imagen, distorsión de la imagen, instrumentos ópticos

Página 145

P5.2 Dispersión y cromática
Índice de refracción y dispersión, mezcla de colores, espectro de absorción, espectro de reflexión

Página 149

P5.3 Óptica de onda
Difracción, interferencia de dos haces, anillos de Newton, interferómetro de Michelson, otros tipos de interferómetro, holograma de reflexión de luz blanca, transmisión holográfica

Página 153

P5.4 Polarización
Experimentos básicos, birrefringencia, actividad y polarimetría óptica, efecto Kerr, efecto Pockels, efecto Faraday

Página 164

P6 FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR

Página 191

P6.1 Experimentos introductorios
Experimentos de Millikan, carga específica de electrón, constante de Planck, naturaleza dual de la onda y de la partícula

Página 193

P6.2 Capa atómica
Series de hidrógeno de Balmer, emisión y absorción del espectro, experimento de Franck-Hertz, resonancia de espín electrónico, efecto Zeeman normal

Página 198

P6.3 Física de rayos X
Detección de rayos X, atenuación de rayos X, física de la capa atómica, espectroscopia de energía de rayos X, estructura de espectros de rayos X, efecto Compton en rayos X, tomografía de rayos X

Página 207

P6.4 Radioactividad
Detección de la radioactividad, distribución de Poisson, decaimiento radiactivo y vida media, atenuación de radiación α , β y γ radiation

Página 218

P7 FÍSICA DE ESTADO SÓLIDO

Página 231

P7.1 Propiedades de cristales
Dispersión de rayos X, deformación elástica y plástica

Página 233

P7.2 Fenómenos de conducción
Efecto Hall, conductividad eléctrica en sólidos, fotoconductividad, luminescencia, termoelectricidad, superconductividad

Página 236

P7.3 Magnetismo
Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, Histéresis ferromagnética

Página 243

P7.5 Física de estado sólido aplicada
Análisis de fluorescencia de rayos X

Página 245

P1.5 Oscilaciones

Péndulo simple y compuesto, oscilaciones armónicas, péndulo de torsión, acoplamiento de oscilaciones

Página 26

P1.6 Mecánica de ondas

Ondas transversales y longitudinales, máquina de ondas, ondas polarizadas circulares, propagación de ondas acústicas, interferencia de ondas acústicas

Página 33

P1.7 Acústica

Ondas del sonido, oscilaciones de una cuerda, longitud de la onda y velocidad del sonido, reflexión de ondas ultrasónicas, interferencia de ondas ultrasónicas, efecto Doppler acústico, análisis Fourier, ultrasonido en medios

Página 38

P1.8 Aero e hidrodinámica

Flotabilidad, viscosidad, tensión de la superficie, experimentos introductorios a la aerodinámica, medición de la resistencia del aire, mediciones en un túnel de viento

Página 48

P2.5 Teoría cinética de los gases

Leyes de los gases, calor específico de los gases, gases reales

Página 71

P2.6 Ciclo termodinámico

Motor de aire caliente: experimentos cualitativos y cuantitativos, bomba de calor

Página 74

P3.5 Máquinas eléctricas

Generadores eléctricos, motores eléctricos, máquinas trifásicas

Página 109

P3.6 Circuitos de corrientes continua y alterna

Circuito con capacitor, circuito con bobina, impedancias, circuitos de puentes de medición, trabajo eléctrico y potencia

Página 112

P3.7 Oscilaciones y ondas electromagnéticas

Circuito oscilador electromagnético, ondas de rango decimétricas, propagación de ondas de rango decimétricas en líneas, microondas, propagación de microondas en líneas, característica direccional de radiación dipolar

Página 118

P3.8 Portadores de carga libre en el vacío

Tubo de Cruz de Malta, Tubo de Perrin, Tubo de Thomson

Página 124

P3.9 Conducción eléctrica en gases

Descarga de gas a presión reducida

Página 127

P5.5 Densidad de la luz

Cantidades y métodos de medición de ingeniería de iluminación, leyes de la radiación

Página 170

P5.6 Velocidad de la luz

Mediciones de acuerdo a Foucault/Michelson, mediciones con pulsos de luz corta, mediciones con una señal modulada electrónicamente

Página 173

P5.7 Espectrómetro

Prisma espectrómetro, espectrómetro de rejilla

Página 177

P5.8 Fotónica

Aplicaciones ópticas, láser de estado sólido, fibras ópticas, aplicaciones técnicas

Página 180

P6.5 Física nuclear

Demostración de trayectoria de partículas, dispersión de Rutherford, resonancia magnética nuclear, espectroscopio α , espectroscopio γ , efecto Compton, propiedades de las partículas de radiación

Página 222

P6.6 Física Cuántica

Óptica cuántica, partículas

Página 229

CÓMO UTILIZAR ESTE CATÁLOGO

ESTRUCTURA DE LA PÁGINA

Materia

Subsección

Tema

de configuraciones
de experimentos

Experimento(s)

Cada experimento se identifica
por medio de la letra P por la ini-
cial de Physics (Física en inglés),
seguido de cuatro dígitos

Imagen

muestra un experimento, el
número del experimento aparece
entre paréntesis

Breve descripción

del tema y del (de los)
experimento(s)

Lista del equipo

de cada experimento

Dispositivo CASSY

recomendado

sombreado en rojo

Resultados del experimento

o imagen(es) adicional(es) de la(s)
configuración(es) del experimento

Marcado del CASSY

para reconocer de manera
inmediata la integración de los
dispositivos CASSY

MECÁNICA

MOVIMIENTOS DE TRASLACIÓN DE UNA MASA PUNTUAL

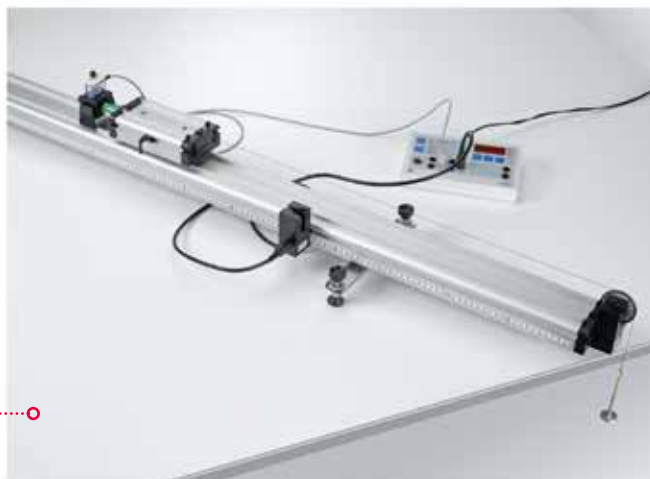
MOVIMIENTO
UNIDIMENSIONAL SOBRE
EL CARRIL DE FLETCHER

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)

Nº de cat.	Descripción	P1.3.2.1	P1.3.2.2
137 130	Carril 1,5 m	1	1
137 150	Carril de medición	1	1
137 154	Masas adicionales, par	1*	1*
210 411	Fuerza pesa 10 g	1	1
175 413	Pesa reducida 10 g	1	1
175 419	Soporte	1	1
137 462	Barrera luminosa multibuso	1	1
137 463	Soporte de carril para rueda de radios multibuso	1	1
137 464	Rueda de radios multibuso	1	1
882 41	Botón de retención por carril	1	1
136 25	Adaptador para botón de retención con disparador	1	1
175 471	Disparador S	1	1
101 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1
104 012	Sensor CASSY 2	1	1
104 320	CASSY Lab 2	1	1
124 079	Tapa S	1	1
101 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (64 u. x64)	1	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 y como cociente de la diferencia de recorridos Δs y la diferencia de tiempos Δt respectivo. 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 se activa, según el equipamiento elegido, mediante un pulsador y una barrera luminosa. Para estudiar movimientos uniformemente acelerados, al carril 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 transferir a una rueda de radios multibuso por medio de un hilo delgado. La rueda de radios multibuso sirve como polera de derivación de movimiento suave. Las señales de la barrera luminosa multibuso 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.

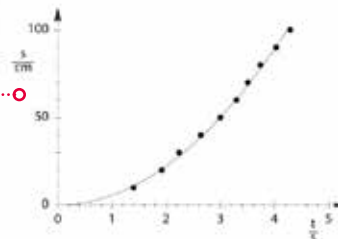


Diagrama del recorrido de tiempo del movimiento uniformemente
acelerado (P1.3.2.2)

WWW.LD-DIDACTIC.COM

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

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

P.1.1.1.1

P.1.1.1.2

P.1.1.1.3

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

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.

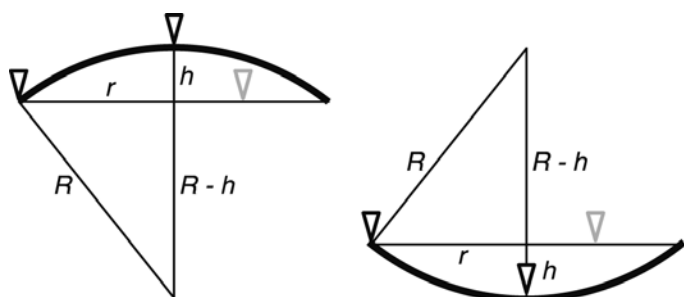
En el experimento P1.1.1.1 los estudiantes miden las dimensiones internas y externas de un cuerpo de prueba utilizando un pie de rey. La escala vernier del pie de rey incrementa la precisión de lectura en 1/20 mm.

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)

Nº 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 mediciones	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

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

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

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

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

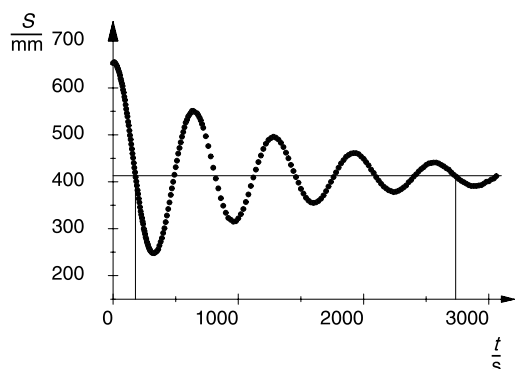
es menor que 10^{-9} N, esta fuerza se puede detectar mediante una balanza de torsión extremadamente sensible. Aquí se observa el movimiento de las pequeñas esferas de plomo y se le mide mediante un indicador luminoso. A partir del comportamiento temporal del movimiento, la masa m_1 y la geometría del 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 uno 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.



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

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)

Nº 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

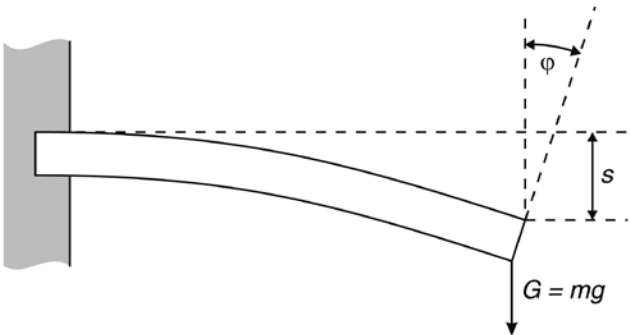
Las fuerzas se reconocen por su efecto. Así, por ejemplo, las fuerzas estáticas deforman un cuerpo. Se deduce que la deformación es proporcional a la fuerza que actúa, siempre que la fuerza no sea demasiado grande.

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

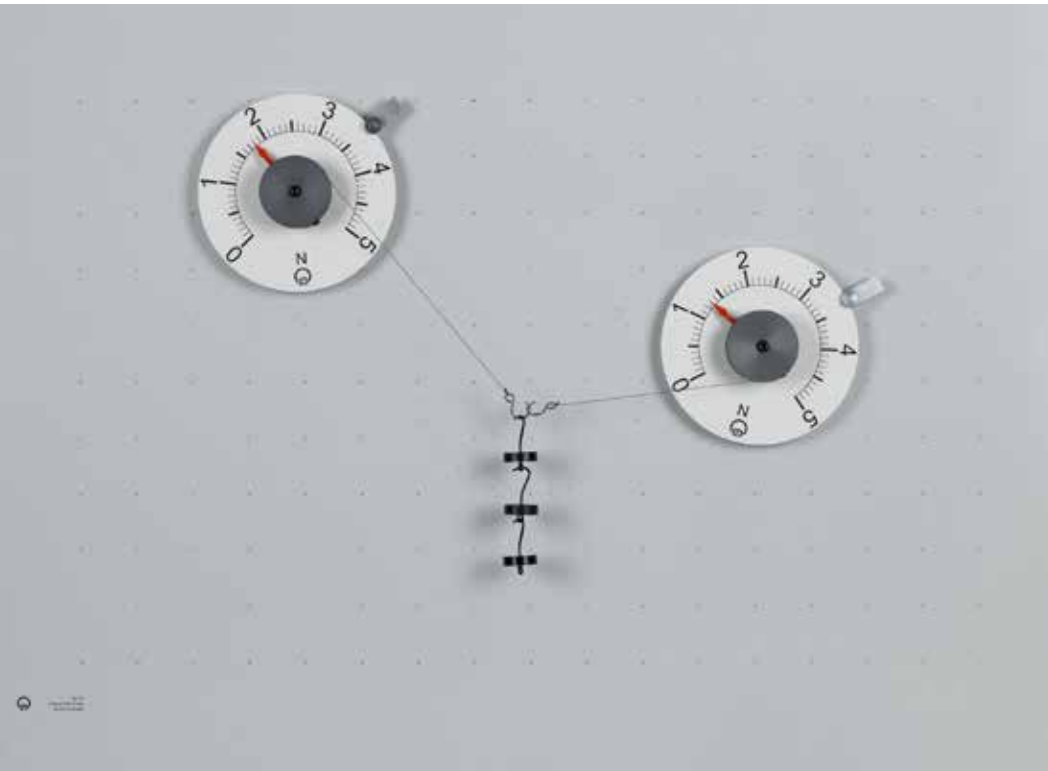
En el experimento P1.2.1.2 se estudia la flexión de un muelle de hoja tensado por un lado bajo la acción de una fuerza causada por pesas que cuelgan. Del mismo modo, en este caso la desviación es proporcional a la fuerza actuante.



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

LA FUERZA COMO VECTOR

P1.2.2.1
Composición y descomposición
de fuerzas



Composición y descomposición de fuerzas (P1.2.2.1)

N° de cat.	Descripción	P1.2.2.1
301 301	Tablero magnético	1
314 215	Dinamómetro redondo 5 N, con pie magnético	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

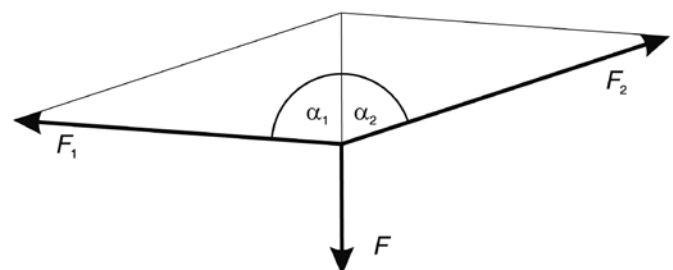
En el tablero de adhesión magnética se puede verificar experimentalmente de una manera simple y clara que la fuerza es una magnitud vectorial. El punto de aplicación de todas las fuerzas se coloca en el centro de la escala angular, sobre el tablero de adhesión magnética, y se mide todas las fuerzas individuales 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 y α_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)



POLIPASTO

P1.2.4.1

Polea fija, polea suelta y polipasto como máquinas simples

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

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 montan sobre una mesa. Los rodillos no tienen fricción en los rodamientos.

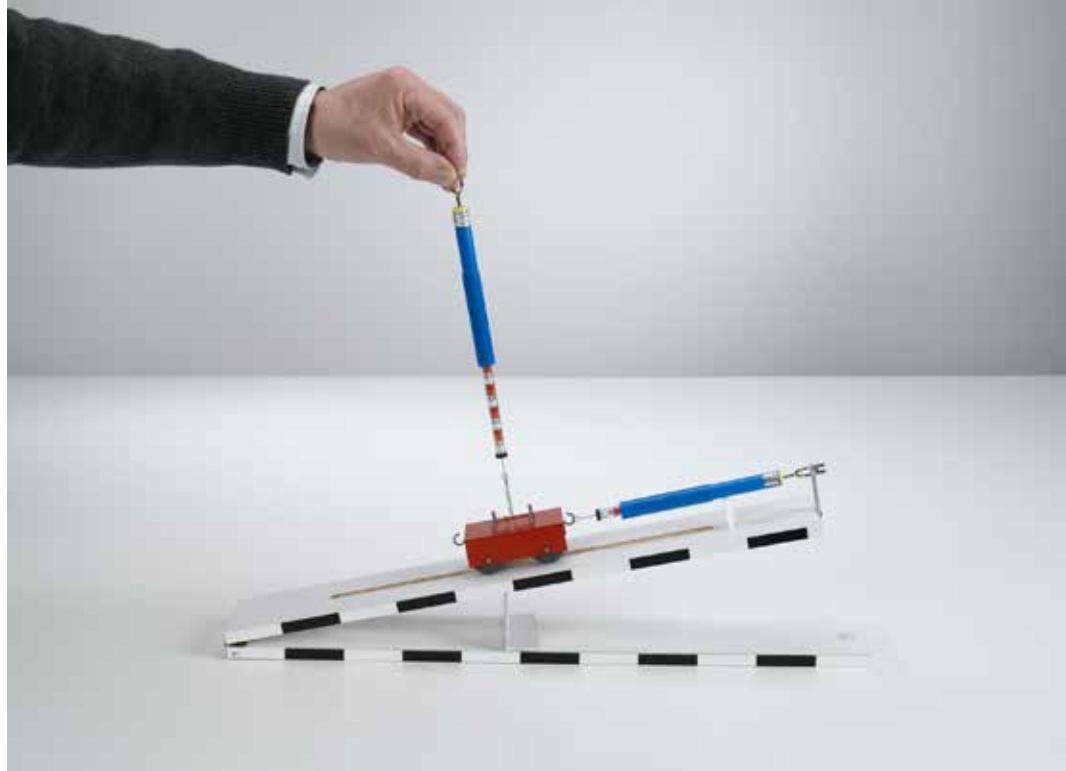
PLANO INCLINADO

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)

Nº 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

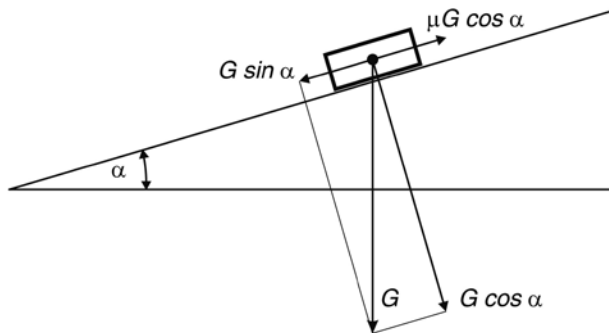
El movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado se puede describir muy fácilmente si la fuerza del peso G se descompone vectorialmente sobre el cuerpo en una fuerza de descenso inclinada F_1 y una fuerza normal F_2 . La fuerza de descenso actúa paralela al plano inclinado y la fuerza normal perpendicular 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 y F_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 μ 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:

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



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

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

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 comprueba primero 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:

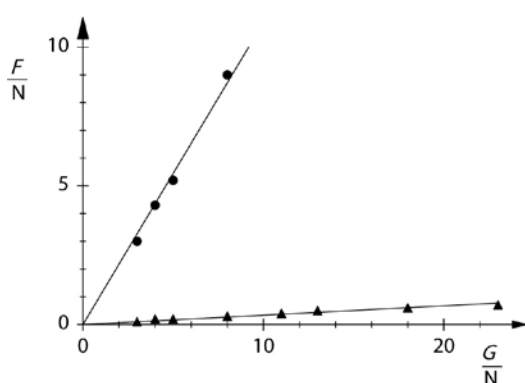
$$F_H = \mu_H \cdot G \text{ y } F_G = \mu_G \cdot G$$

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

$$F_G > F_R$$

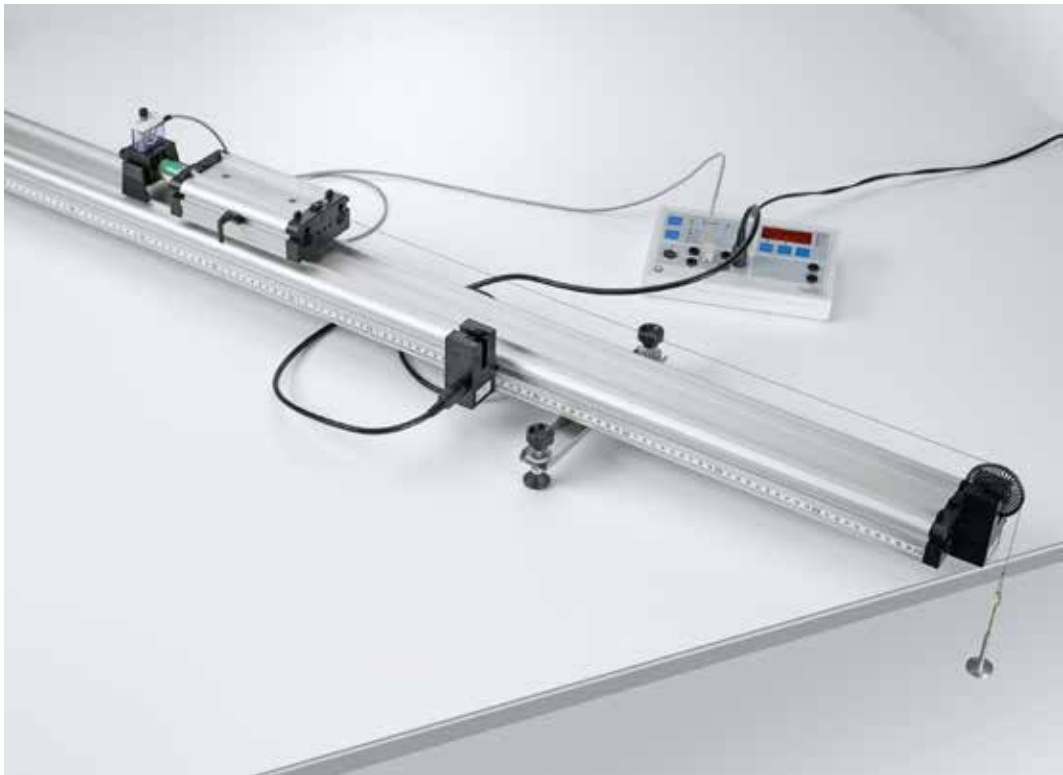


Comparación entre deslizamiento (punto) y fricción de rodadura (triángulo)

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 se activa, 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.

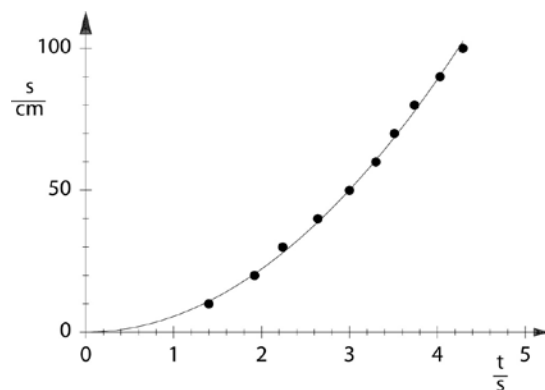
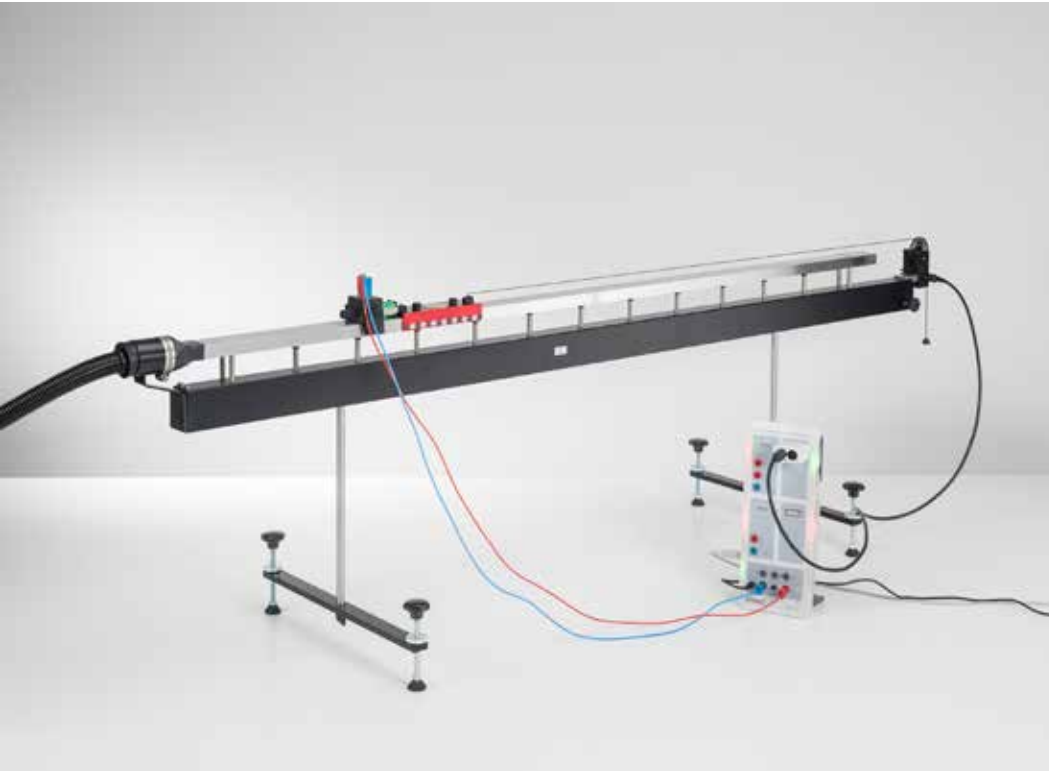


Diagrama del recorrido de tiempo del movimiento uniformemente acelerado (P1.3.2.1)



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

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

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 estudiar 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 más 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

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

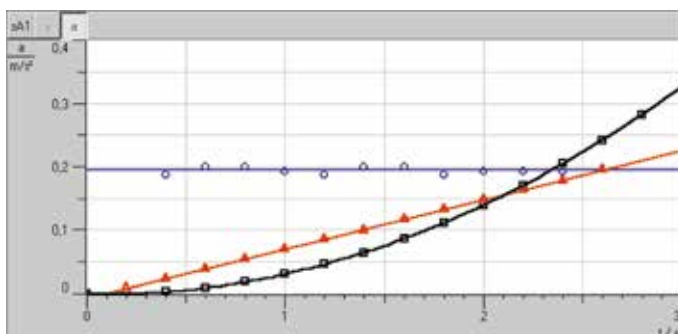


Diagrama trayectoria-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo (P1.3.3.4)

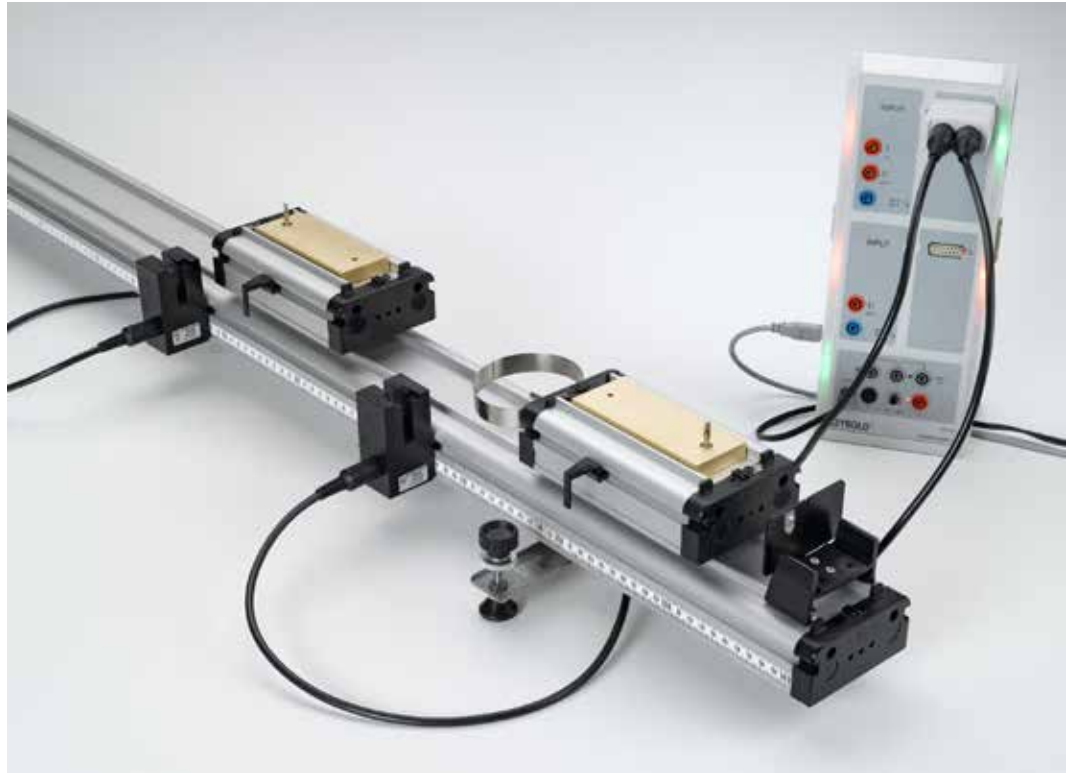
CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

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 e 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)

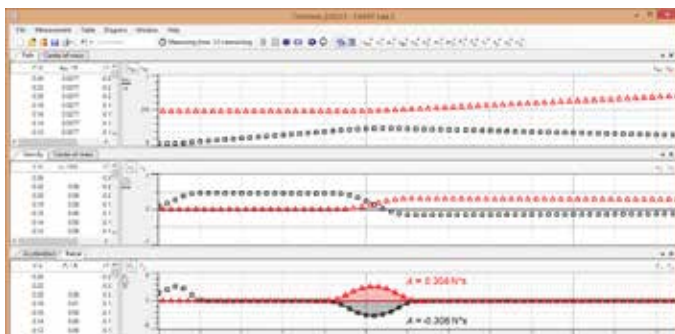
N° de cat.	Descripción	P1.3.4.5
337 130	Carril 1,5 m	1
337 110	Carro de medición	2
337 114	Masas adicionales, par	1
337 473	Muelle de choque grande	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 0701	Sensor de ultrasonido S	2
501 11	Cable de extensión, 15 polos	2
301 25	Bloque de soporte MF	2
340 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 elástica o inelástica 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:

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



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 e 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 e 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_i , ± 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

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

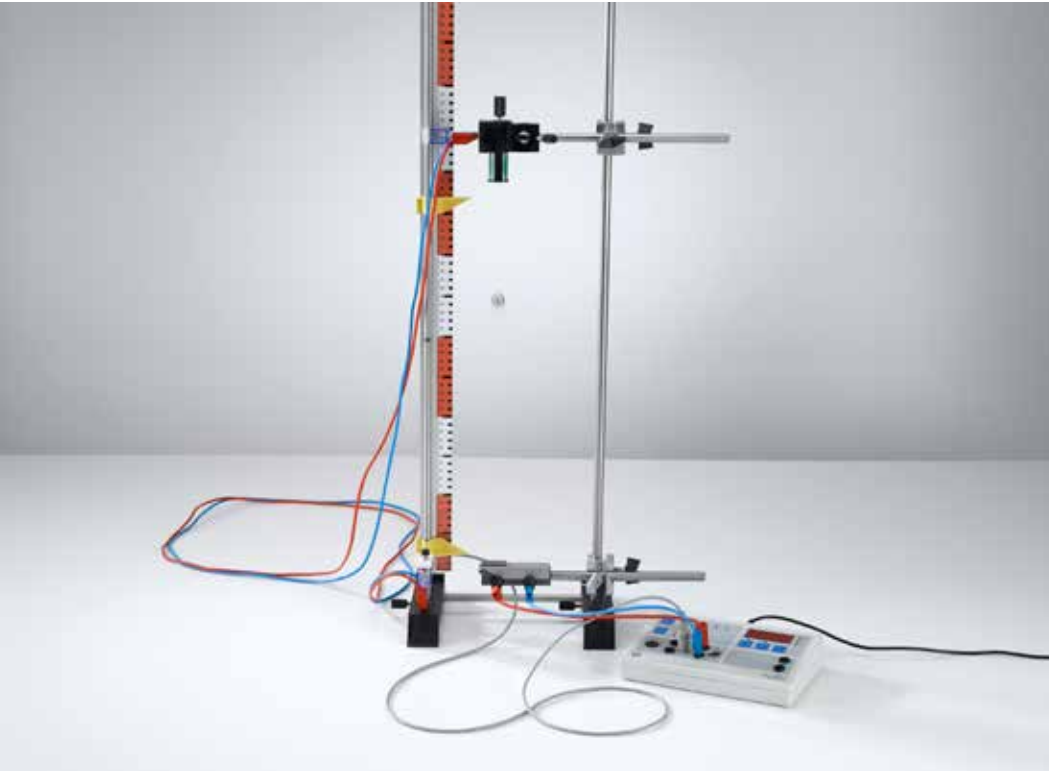
de los deslizadores antes y después del choque.

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:

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

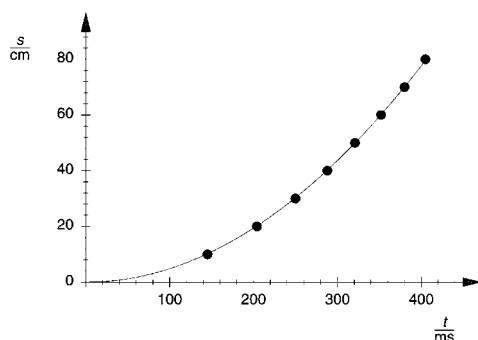


Diagrama trayectoria-tiempo de la caída libre de la pelota (P1.3.5.1)

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

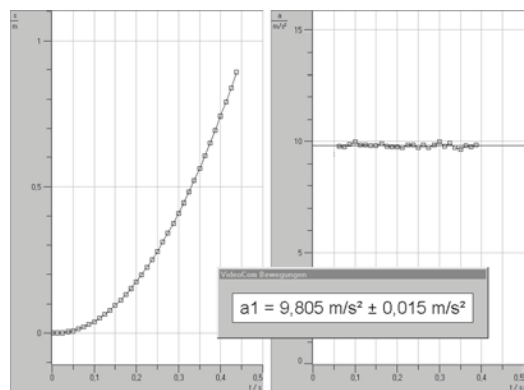
En el registro punto a punto en la medición de los datos para obtener el diagrama recorrido – tiempo de caída libre, el estudio del resultado se puede realizar en función de parámetros del experimento como son la velocidad inicial o la altura de caída para lo cual se necesitaría mucho tiempo. Ese estudio 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)

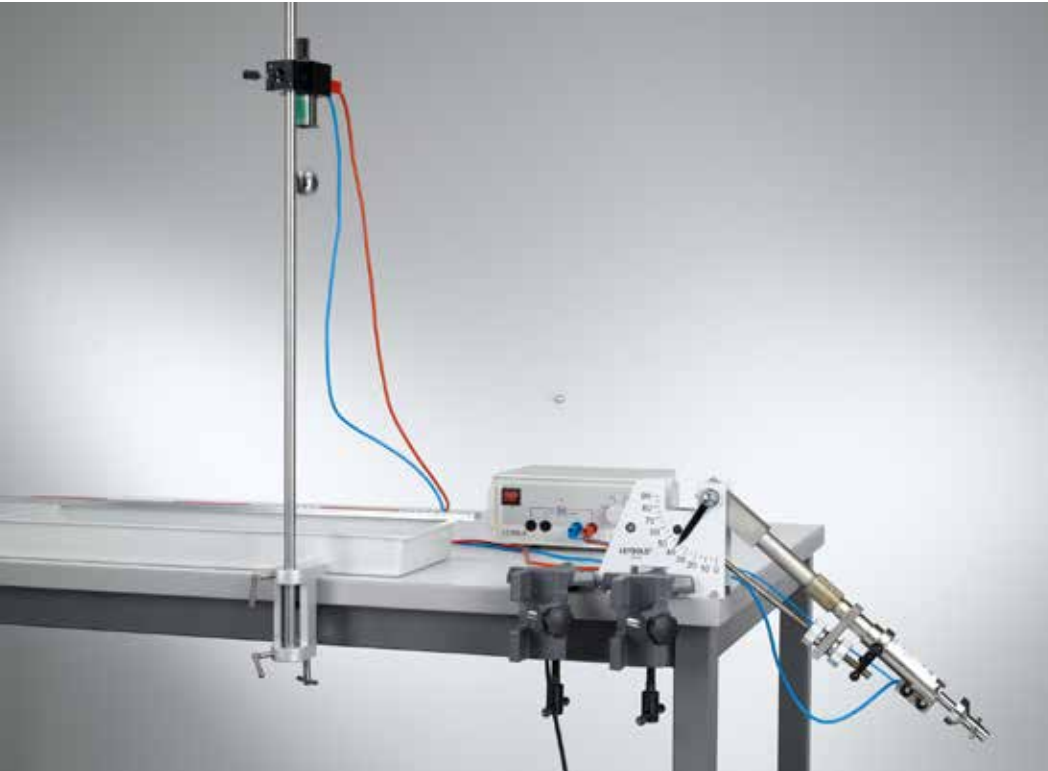
LANZAMIENTO OBLICUO

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



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

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 de caída 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.

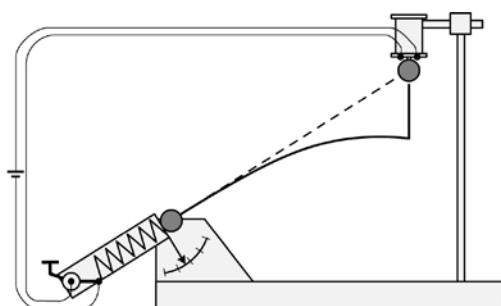


Diagrama esquemático que compara la proyección angular y la caída libre (P1.3.6.2)

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

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

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

$$\omega = \frac{10^\circ}{\Delta t}$$

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 constantes.

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

P1.4.2.1

Conservación del momento angular
en un choque giratorio elástico e
inelástico



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

N° de cat.	Descripción	P1.4.2.1
347 23	Sistema de rotación	1
524 431	Barrera de luz M	2
624 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 experimentos se 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)

Nº 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

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 .

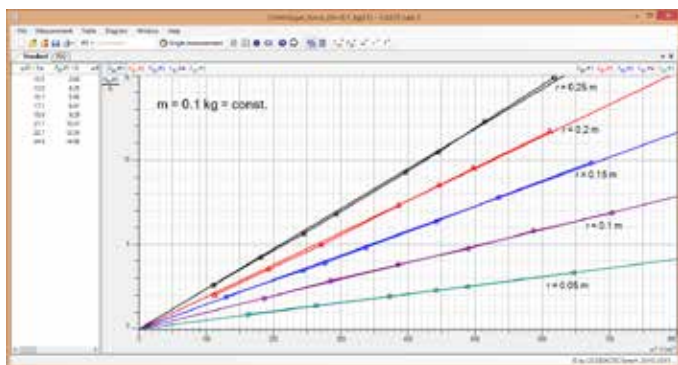
En el experimento P1.4.3.3, la relación

$$F \propto \omega^2$$

se deriva directamente de la forma parabólica de la curva $F(\omega)$. Para verificar las proporcionalidades

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

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



Precesión del giroscopio(P1.4.3.3)

MOVIMIENTOS DEL GIROSCOPIO

P1.4.4.3

Precesión y nutación del giroscopio



Precesión y nutación del giroscopio (P1.4.4.3)

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

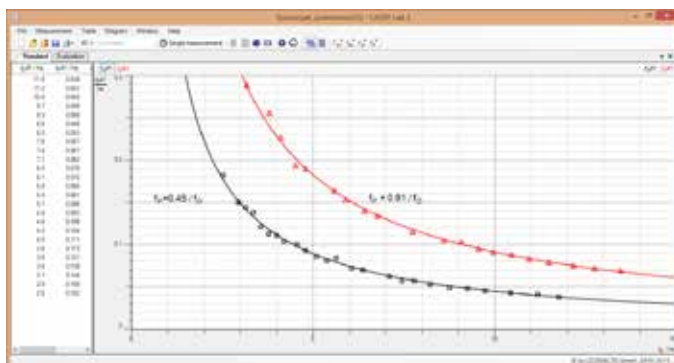
$$\omega_p = \frac{M}{I} \cdot \frac{1}{\omega}$$

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 puntual 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 tienen 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:

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

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



Rueda de Maxwell (P1.4.6.1)

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 soporte, 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.

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



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

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 $a(t)$ 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 armónica y el periodo es independiente de la amplitud. Si la amplitud de desviación es alta, esta aproximación ya no es válida: cuanto 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 , 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 , 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:

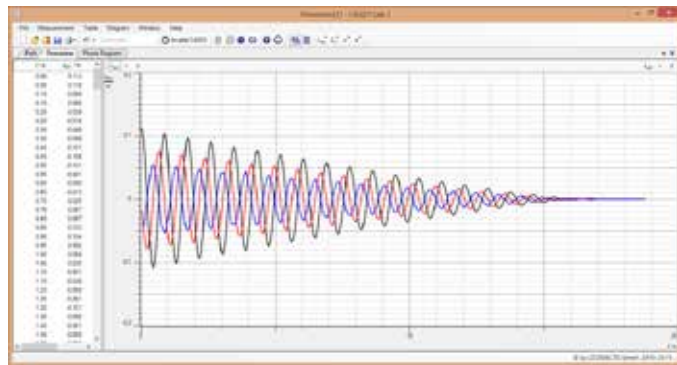
$$F = D \cdot x$$

D : constante direccional

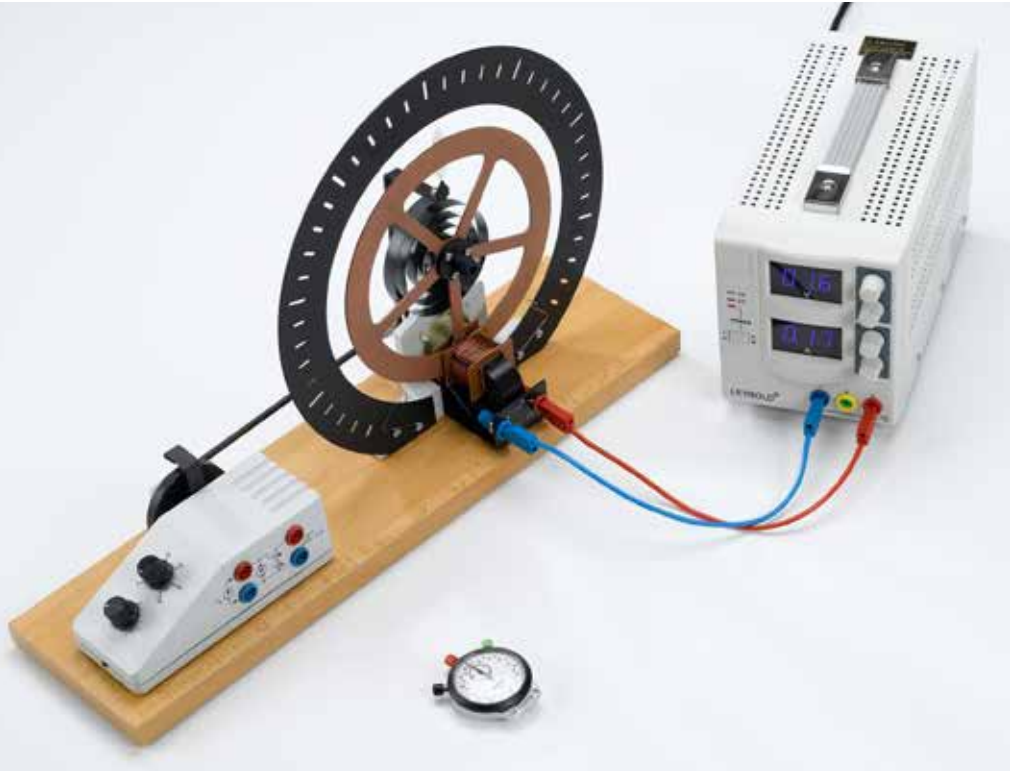
Un ejemplo clásico muy frecuente son las oscilaciones de un péndulo de resorte.

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)



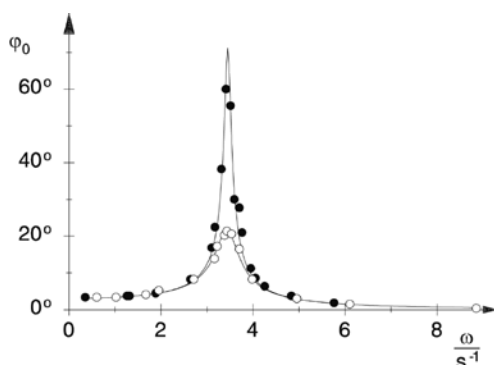
PÉNDULO DE TORSIÓN DE POHL

P1.5.3.1
Oscilaciones torsionales libres -
Medición mediante un cronómetro

P1.5.3.2
Oscilaciones torsionales forzadas -
Medición mediante un cronómetro

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

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

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

ω_0 : frecuencia 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

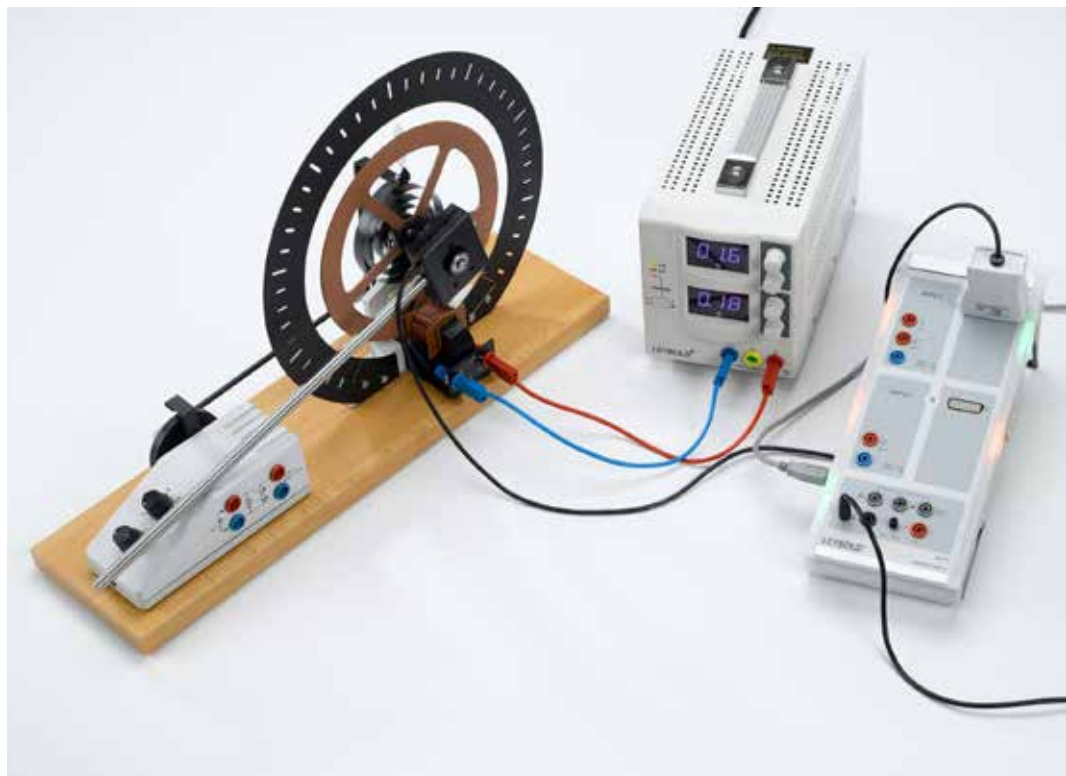
$$\varphi_0 = \frac{M_0}{I} \cdot \frac{1}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \delta^2 \cdot \omega^2}}$$

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

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

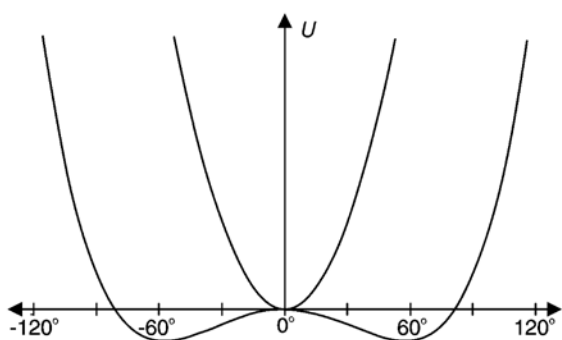
$$\varphi(t) = (\varphi(0) \cdot \cos \omega t + \dot{\varphi}(0) \cdot \sin \omega t) \cdot e^{-\delta t}$$

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

con ω_0 : frecuencia propia del péndulo de torsión

Aquí se estudia la dependencia de la desviación inicial $\varphi(0)$ y la velocidad inicial $\dot{\varphi}(0)$. 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.



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

ACOPLAMIENTO DE OSCILACIONES

P1.5.4.1

Péndulo acoplado - Medición
con cronómetro



Péndulo acoplado - Medición con cronómetro (P1.5.4.1)

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 uno 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:

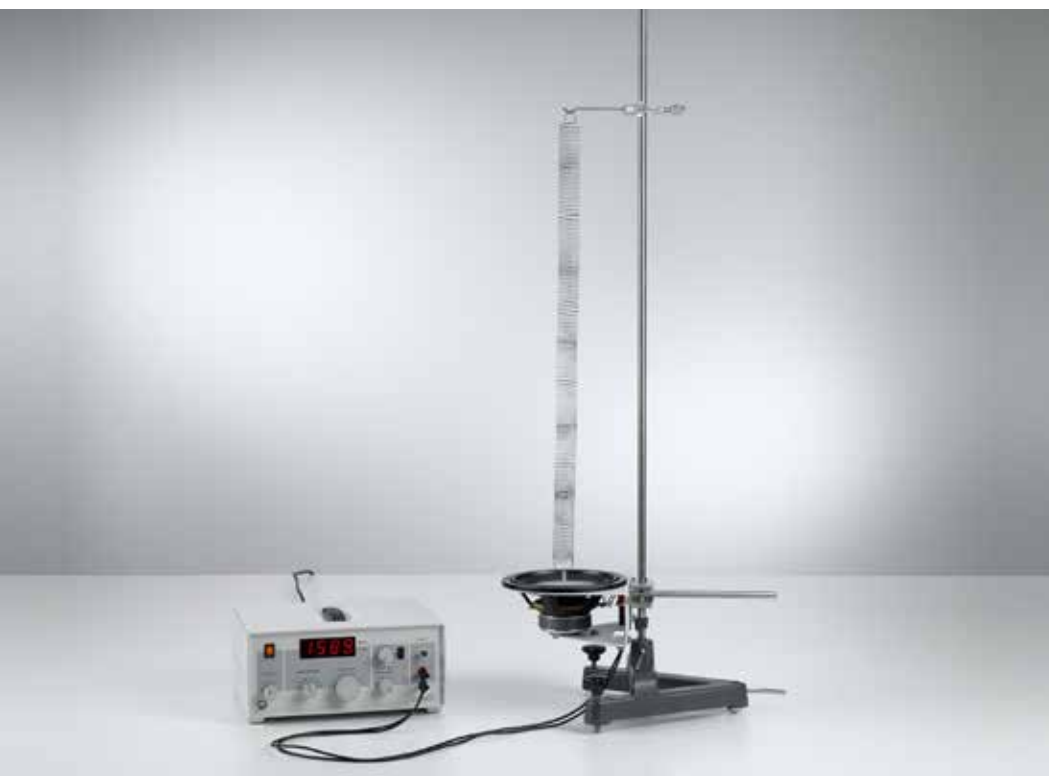
$$\omega_s = \omega_+ - \omega_-$$

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

$$f_s = |f_1 - f_2|$$



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

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

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.

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

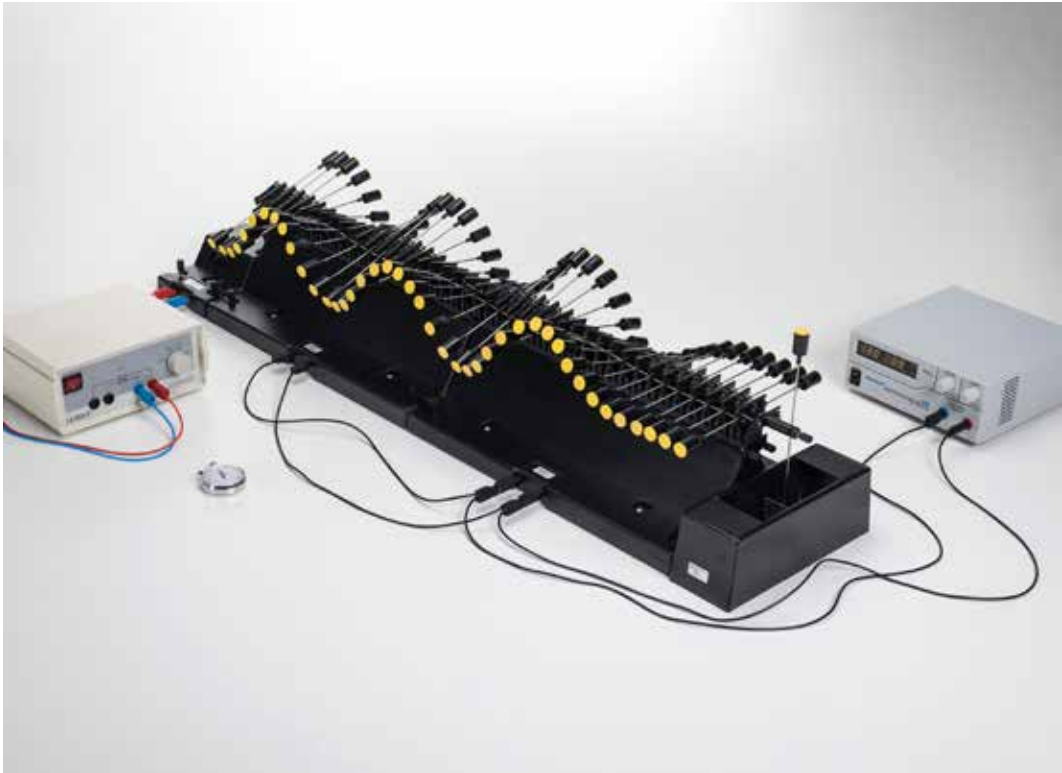
c : velocidad de propagación.

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)

Nº 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

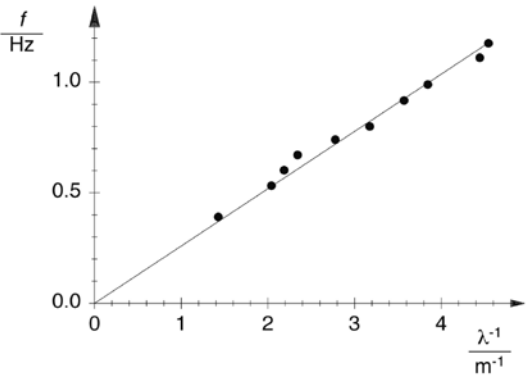
$$v = \lambda \cdot f$$

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)



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

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

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

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 estacionarias 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

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

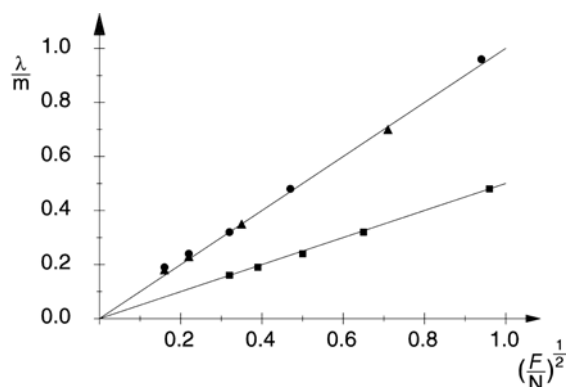
m : masa de la cuerda, s : longitud de la cuerda

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

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



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)

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

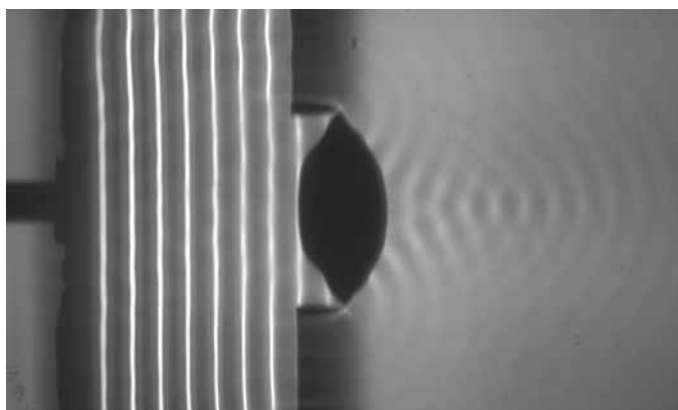
P1.6.4.7

Reflexión de ondas superficiales en obstáculos curvados



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

Nº 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	



Traectoria 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 biconcava para ondas superficiales.

En el experimento P1.6.4.5 se observa el efecto Doppler en ondas superficiales circulares para diferentes velocidades v 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 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

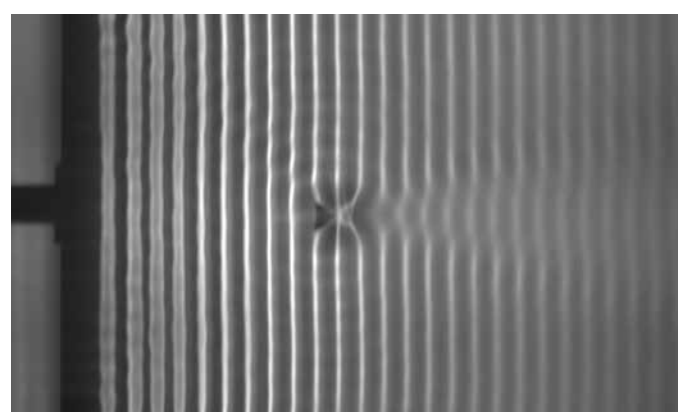
P1.6.5.4
Difracción de ondas superficiales en una rendija múltiple

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



Interferencia entre dos ondas superficiales (P1.6.5.1)

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 reflexión en 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)

Nº 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

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

$$f_s = f_2 - f_1$$

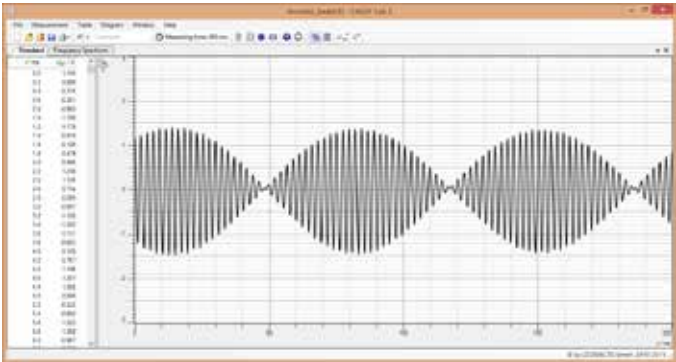
reduciendo así el periodo de batido (es decir, la distancia entre dos nodos de la señal de batido)

$$T_s = \frac{1}{f_s}$$

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

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

$$f_s = f_2 - f_1$$

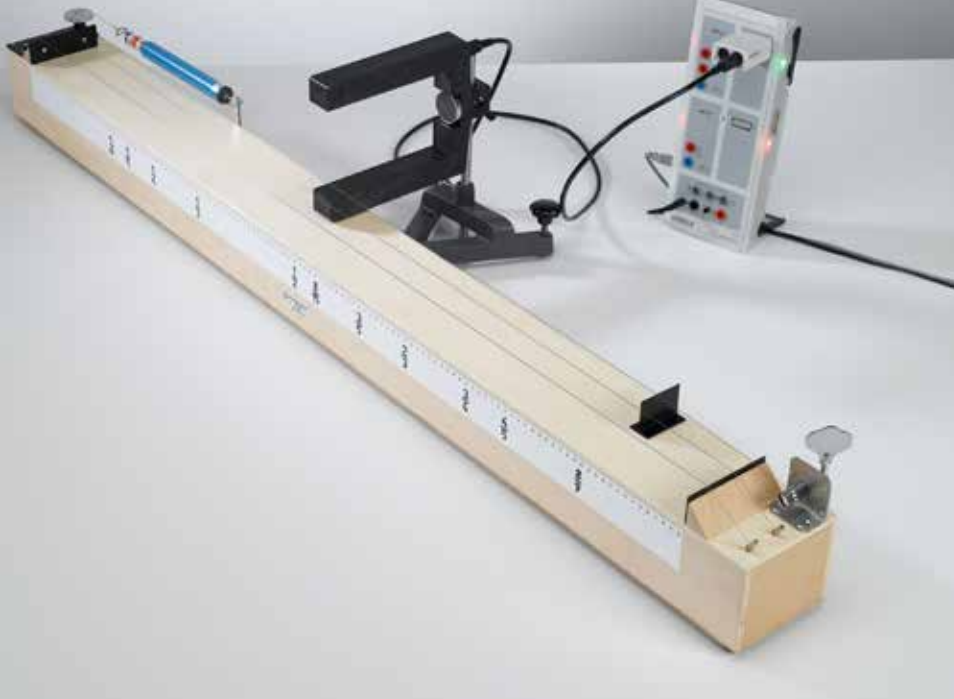


Ritmos acústicos (P1.7.2.1)

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)

Nº 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

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

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

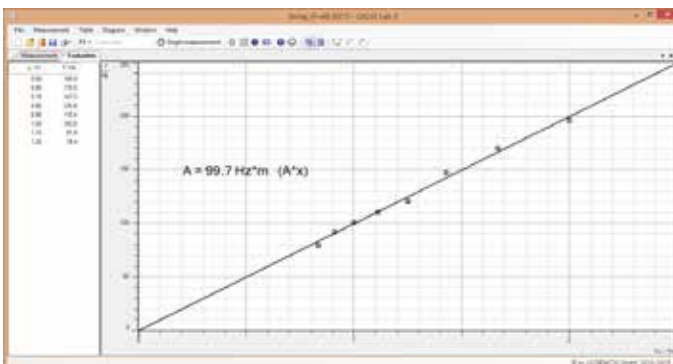
F : fuerza de tensión, A : superficie transversal, ρ : densidad

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 diapason 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

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



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

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)

Nº 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

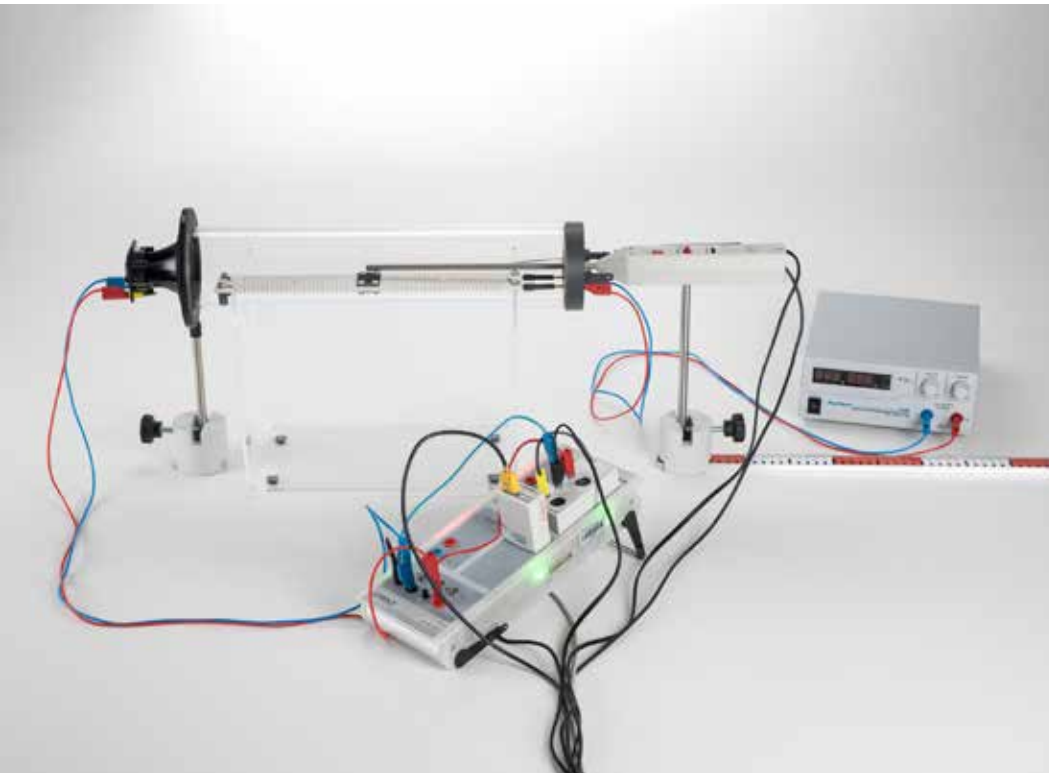
$$d = \frac{\lambda}{2}$$

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)



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

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

Nº 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 específico

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

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

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

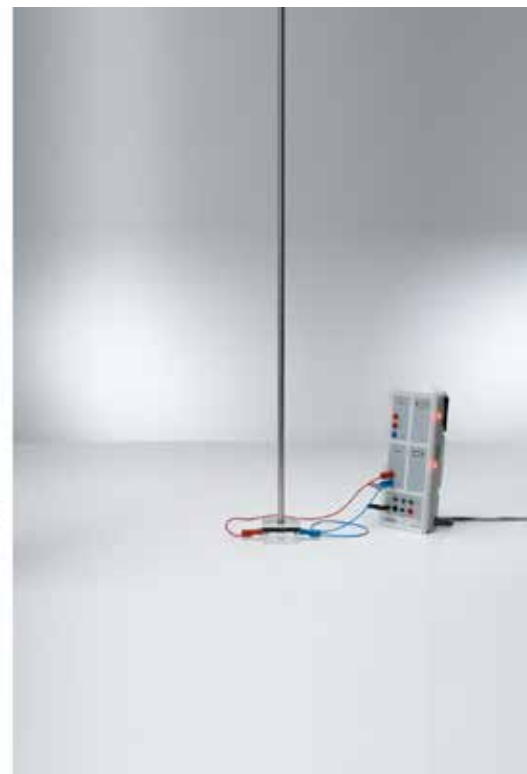
$$\kappa = \frac{c(0)^2 \cdot \rho(0)}{p(0)}$$

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)

Nº 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

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:

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

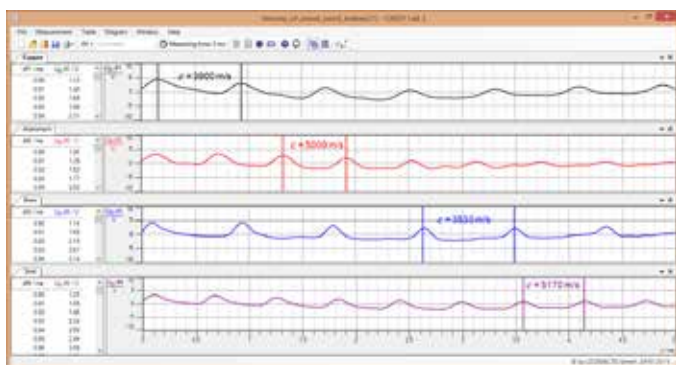
En sólidos la medición de la velocidad del sonido suministra un método simple para medir el módulo de elasticidad.

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.



Velocidad del sonido en diferentes materiales (P1.7.3.5)

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



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

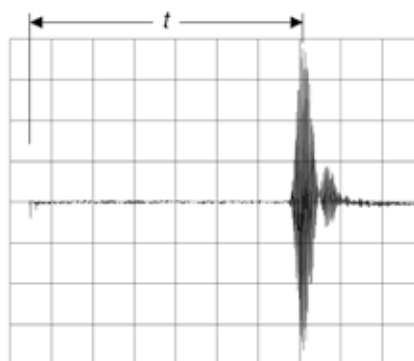
N° de cat.	Descripción	P1.7.4.1	P1.7.4.2
416 002	Transmisor ultrasónico	1	1
416 003	Receptor ultrasónico	1	1
416 014	Generador 40 kHz	1	1
416 015	Amplificador de CA	1	1
389 242	Espejo cóncavo acústico	1	
416 020	Soporte sensor para espejo cóncavo	1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1
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)

Nº 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 giratoria 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	Caballote para objeto de difracción			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

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

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

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

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.

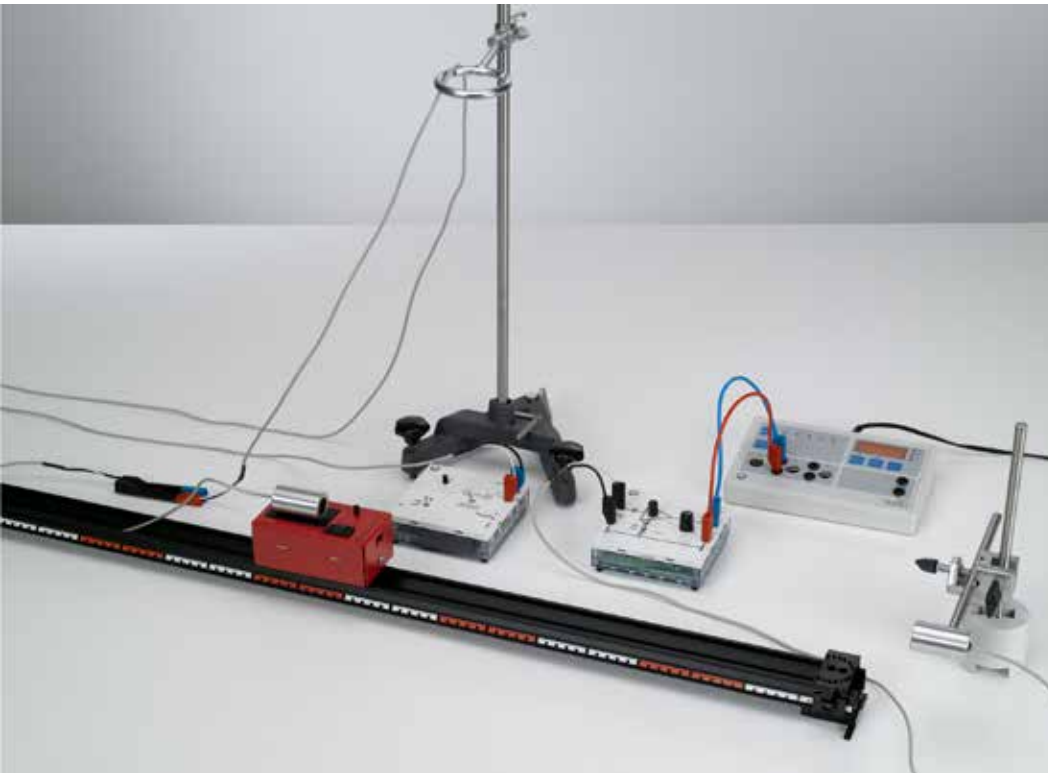
EFFECTO DOPPLER ACÚSTICO

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



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

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

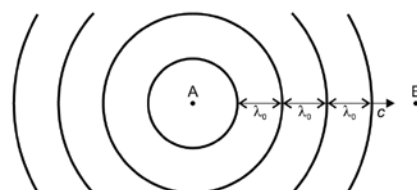
Si por el contrario el receptor se mueve con una velocidad v relativa al emisor en reposo, entonces se cumple

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

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 movimiento 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

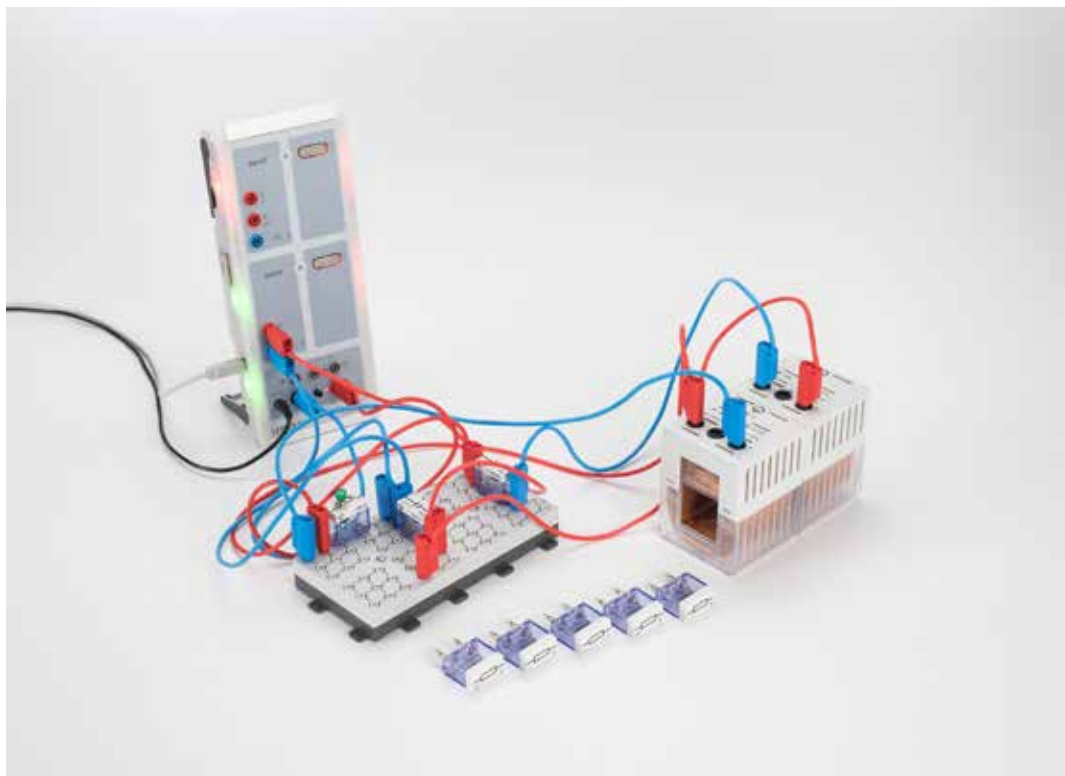
Análisis de Fourier de señales periódicas de un generador de funciones

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)

Nº 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.

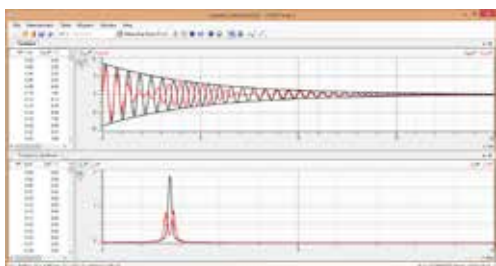
En los experimentos P1.7.7.1 y P1.7.7.2 se estudian las transformadas de Fourier de señales periódicas que son simuladas numéricamente o generadas con un generador de funciones.

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)

ULTRASONIDO EN MEDIOS

P1.7.8.1

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

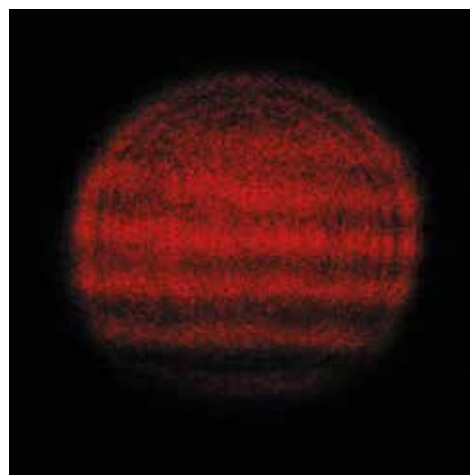


Determinación de la velocidad del sonido en líquidos - ondas ultrasónicas estacionarias como un retículo óptico (P1.7.8.1)

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 $-10 \dots +50^{\circ}\text{C}$	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm $\varnothing$	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 líquido. 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)

Nº 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

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

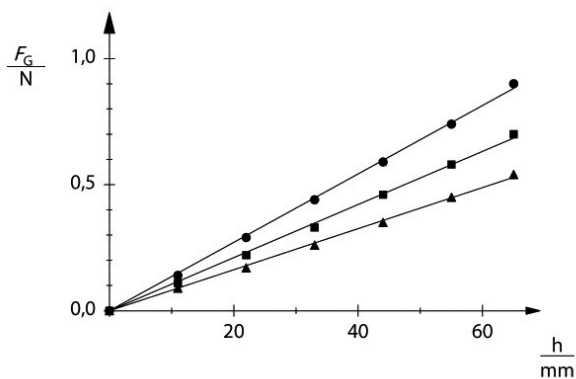
del líquido desalojado, como fuerza de empuje F , con un dinamómetro de precisión. El experimento confirma la relación

$$F : \rho$$

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.



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

VISCOSIDAD

P1.8.3.1

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



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

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 líquido 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)

Nº 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 líquido 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.

VISCOSIDAD

P1.8.3.4

Ley de Hagen-Poiseuille



Ley de Hagen-Poiseuille (P1.8.3.4)

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 capilar, 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 tripode 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 perfil, 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 líquido 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)

Nº de cat.	Descripción	P1.8.4.1	P1.8.4.2
367 46	Aparato para medir la tensión superficial	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).



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

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

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	Líquido coloreado para manómetros 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

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

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 de presión 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

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

El objetivo de los experimentos P1.8.5.3 y P1.8.5.6 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)

Nº 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	Líquido coloreado para manómetros 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 _i ± 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 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



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

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 aerodinámico	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	Líquido coloreado para manómetros 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 experimentos cuantitativos 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 contruidos 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 experimentos P1.8.7.3 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.

P2 CALOR



P2.1	DILATACIÓN TÉRMICA	59
P2.2	TRANSFERENCIA DE CALOR	62
P2.3	EL CALOR COMO FORMA DE ENERGÍA	64
P2.4	TRANSICIONES DE FASE	68
P2.5	TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES	71
P2.6	CICLOS TERMODINÁMICOS	74

P2 CALOR



P2.1 DILATACIÓN TÉRMICA

P2.1.1	Dilatación térmica de sólidos	59
P2.1.2	Dilatación térmica de líquidos	60
P2.1.3	Anomalía térmica del agua	61

P2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

P2.2.1	Conducción de calor	62
P2.2.2	El colector solar	63

P2.3 EL CALOR COMO FORMA DE ENERGÍA

P2.3.1	Temperaturas de mezclas	64
P2.3.2	Capacidades caloríficas	65
P2.3.3	Conversión de energía mecánica en calor	66
P2.3.4	Conversión de energía eléctrica en calor	67

P2.4 TRANSICIONES DE FASE

P2.4.1	Calor de fusión y calor de evaporación	68
P2.4.2	Medición de la presión de vapor	69
P2.4.3	Temperatura crítica	70

P2.5 TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES

P2.5.2	Leyes de los gases	71
P2.5.3	Calor específico de gases	72
P2.5.4	Los gases reales	73

P2.6 CICLOS TERMODINÁMICOS

P2.6.1	Motor de aire caliente:	
	Experimentos cualitativos	74
P2.6.2	Motor de aire caliente:	
	Experimentos cuantitativos	75-76
P2.6.3	La bomba térmica	77

DILATACIÓN TÉRMICA DE SÓLIDOS

P2.1.1.2
Dilatación térmica de sólidos -
Medición con el aparato de dilatación

P2.1.1.3
Medición de la dilatación longitudinal
de sólidos en función de la
temperatura

P2.1.1.4
Dilatación térmica de sólidos
- Registro y evaluación con CASSY



Dilatación térmica de sólidos - Medición con el aparato de dilatación (P2.1.1.2)

Nº de cat.	Descripción	P2.1.1.2	P2.1.1.3	P2.1.1.4
381 341	Aparato de dilatación lineal D	1	1	
361 152	Calibre de dial con soporte	1	1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	1	1
303 28	Generador de vapor	1		
664 185	Platillo de Petri, vidrio, 150 mm Ø	1		
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1	2	1
666 7681	Termostato de circulación		1	
675 3410	Agua, destilada, 5 l		2	
381 332	Tubo Al, l = 44 cm, d = 8 mm			1
381 333	Tubo Fe, l = 44 cm, d = 8 mm			1
667 2545	Tapón de goma con agujero, 17 ... 23 mm Ø			1
664 248	Matraz de Erlenmeyer, vidrio al borosilicato 3.3, 50 ml, cuello estrecho			1
665 226	Empalme, 6/8 mm Ø			1
686 53	Lata redonda con tapa			1
524 013	Sensor-CASSY 2			1
524 220	CASSY Lab 2			1
524 082	Sensor de giro S			1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm			1
301 21	Base de soporte MF			2
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø			2
301 09	Mordaza doble S			2
666 615	Nuez universal			1
666 555	Pinza universal 0...80 mm			1
666 573	Anillo soporte con varilla 100 mm Ø			1
666 685	Rejilla de protección térmica 160 mm x 160 mm			1
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano			1
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1

En buena aproximación, la longitud s de un cuerpo sólido depende linealmente de la temperatura ϑ

$$s = s_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

s_0 : longitud para 0 °C, ϑ : temperatura en °C

en donde el coeficiente de dilatación lineal α depende a su vez del material del cuerpo sólido. Aquí se pueden realizar, por ejemplo, mediciones en tubos delgados, por los que circula vapor de agua o agua caliente.

En el experimento P2.1.1.2 se mide el incremento de longitud de diferentes tubos entre temperatura ambiente y la temperatura del vapor utilizando el aparato de dilatación. La longitud efectiva s_0 de los tubos se puede fijar a 200, 400 ó 600 mm.

En el experimento P2.1.1.3 un termostato de circulación sirve para calentar agua y hacerla circular por los tubos de prueba. Con el aparato de dilatación se mide el cambio de longitud de los tubos en función de la temperatura ϑ .

En el experimento P2.1.1.4 el vapor se canaliza a través del tubo de prueba. La dilatación térmica se registra mediante el sensor de giro.

DILATACIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS

P2.1.2.1
Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos

P2.1.2.2
Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos - Medición con Mobile-CASSY (P2.1.2.2)

Nº de cat.	Descripción	P2.1.2.1	P2.1.2.2
382 15	Dilatómetro de volumen	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	
666 767	Placa calentadora	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1
315 05	Balanza escolares y de laboratorio 311	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	2	2
666 555	Pinza universal 0...80 mm	2	2
671 9720	Etanol - solvente, 1 l	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

En general, cuando los líquidos se calientan sufren una mayor dilatación que los sólidos. En buena aproximación el volumen V de un líquido a una temperatura ϑ sigue la relación lineal

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$$

V_0 : volumen a 0 °C, ϑ : temperatura en °C

En la determinación de los coeficientes de dilatación γ , hay que considerar que el recipiente que contiene al líquido calentado también se dilata.

En el experimento P2.1.2.1 et P2.1.2.2 se determinan los coeficientes volumétricos del agua y del etanol con un dilatómetro volumétrico de vidrio. Para medir la variación del volumen se emplea un tubo de ascensión con sección transversal conocida, es decir, el cambio de volumen se determina a partir de la altura de ascensión del líquido.



Determinación del coeficiente de dilatación volumétrica de los líquidos (P2.1.2.1)

ANOMALÍA TÉRMICA DEL AGUA

P2.1.3.1

Estudio de la densidad máxima del agua

P2.1.3.2

Estudio de la densidad máxima del agua - Medición con Mobile-CASSY



Estudio de la densidad máxima del agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.1.3.2)

N° de cat.	Descripción	P2.1.3.1	P2.1.3.2
667 505	Aparato para anomalía del agua	1	1
382 35	Termómetro -10 ...+50 °C	1	
666 8451	Agitador magnético	1	1
602 725	Plato de laboratorio, 140 mm diam., 900 ml	1	1
665 009	Embudo PP 75 mm Ø	1	1
307 66	Tubo de goma, Ø 8/12 mm	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
608 100	Anillo soporte con manguito 70 mm	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

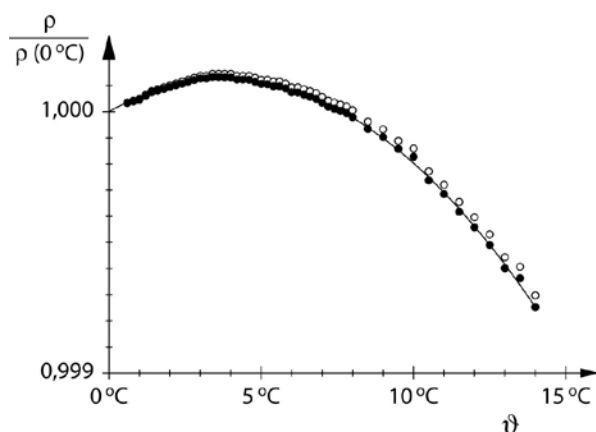
El agua muestra una de sus más importantes anomalías al ser calentada desde 0 °C: Hasta una temperatura de 4 °C el agua tiene un coeficiente de dilatación negativo, es decir, se contrae cuando es calentada. Después del paso del cero en 4 °C el coeficiente de dilatación toma valores positivos. Como la densidad corresponde a la inversa del volumen de una cantidad de sustancia, el agua tiene una densidad máxima a 4 °C.

En el experimento P2.1.3.1 se verifica la existencia del máximo de la densidad del agua midiendo la dilatación en un recipiente con tubo de ascensión. Todo el montaje experimental se enfría agitando un baño de agua con hielo desde la temperatura ambiente hasta cerca de 1 °C, o se enfría en la heladera de un refrigerador para después calentarse lentamente al ser expuesto a la temperatura del ambiente. Se mide la altura del tubo h en función de la temperatura del agua ϑ . Como la variación de volumen en comparación al volumen total V_0 es pequeña, se obtiene para la densidad la siguiente relación:

$$\rho(\vartheta) = \rho(0^\circ\text{C}) \cdot \left(1 - \frac{A}{V_0} \cdot h(\vartheta)\right)$$

A: sección transversal del tubo de ascensión

El experimento P2.1.3.2 verifica también la anomalía del agua. La temperatura se mide con un sensor de temperatura y Mobile-CASSY.



Densidad relativa del agua en función de la temperatura (P2.1.3.1-2)

CONDUCCIÓN DE CALOR

P2.2.1.1
Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el método de placa simple

P2.2.1.2
Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el principio del flujo térmico con placa de medición

P2.2.1.3
Atenuación de fluctuaciones de temperatura mediante paredes de varias capas



Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el método de placa simple (P2.2.1.1)

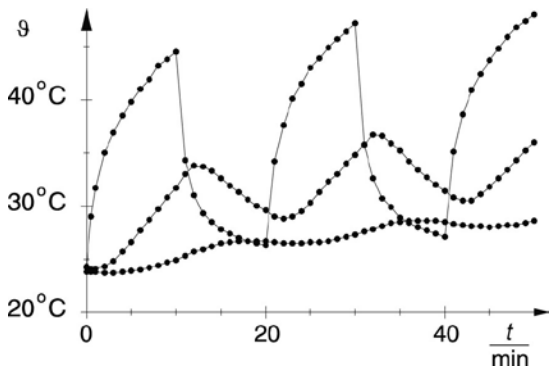
Nº de cat.	Descripción	P2.2.1.1	P2.2.1.2	P2.2.1.3
389 29	Cámara de medición térmica	1	1	1
389 30	Juego muestras materiales de construcció	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	2	2
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2	3	3
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2		2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	4	2	
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W			1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/			1
300 11	Zócalo			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

En equilibrio, el flujo de calor a través de un plato con un área transversal A y un espesor d depende de la diferencia de temperatura $\vartheta_2 - \vartheta_1$ entre el extremo delantero y trasero del plato, y de la conductividad térmica λ del material del que esta hecho el plato:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{d}$$

El objetivo de los experimentos P2.2.1.1 y P2.2.1.2 es la determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción. A tal efecto se colocan placas de material de construcción en la cámara de medición térmica y se las calienta por el lado superior. Con sondas de medición se mide las temperaturas ϑ_1 and ϑ_2 . El flujo térmico se determina, o bien, a partir de potencia eléctrica de la placa calentadora, o por medio de la medición de temperatura en una placa de medición de flujo térmico, presionada detrás de la placa de material de construcción y cuya conductividad térmica λ_0 es conocida.

En el experimento P2.2.1.3 se estudia la amortiguación de fluctuaciones de temperaturas a través de paredes de dos capas. Con los continuos encendidos y apagados de una lámpara que irradia la pared exterior se simulan los cambios de temperatura del día y de la noche. Esto produce una «onda» de temperatura que penetra en la pared y cuya amplitud se debe amortiguar en la pared. Aquí se miden las temperaturas ϑ_A en el lado exterior, ϑ_Z entre ambas capas y ϑ_I en el lado interior en función del tiempo.



Fluctuaciones de temperatura en paredes de varias capas (P2.2.1.3)

EL COLECTOR SOLAR

P2.2.2.1 Eficiencia de un colector solar



Eficiencia de un colector solar (P2.2.2.1)

N° de cat.	Descripción	P2.2.2.1
389 50	Colector solar	1
579 220	Bomba de agua STE 10 V	1
450 73	Lámpara halógena de 1000 W	1
521 491	Unidad de alimentación CA/CC 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	2
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1
604 431	Tubo silicona, Ø 5 mm	1
604 432	Tubo silicona, Ø 6 mm	1
604 434	Tubo silicona, Ø 8 mm	1
665 226	Empalme, 6/8 mm Ø	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

Un colector solar absorbe energía de irradiación para calentar el agua que fluye por él. Cuando el colector está más caliente que el ambiente le entrega al ambiente energía por radiación, convección y conducción. A causa de estas pérdidas disminuye su eficiencia

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\Delta E}$$

es decir, el cociente entre la cantidad de calor entregado ΔQ y la energía de irradiación absorbida ΔE .

En el experimento P2.2.2.1 se determina la cantidad de calor entregado ΔQ por unidad de tiempo a partir del incremento de temperatura del agua que fluye y se calcula aproximadamente la energía de irradiación absorbida por unidad de tiempo a partir de la potencia de la lámpara y su distancia al absorbente. El volumen de agua por unidad de tiempo o el aislamiento térmico del colector solar pueden ser variados.

TEMPERATURAS DE MEZCLAS

P2.3.1.1

Medición de temperatura de una mezcla de agua

P2.3.1.2

Medición de temperatura de una mezcla de agua - Medición con Mobile-CASSY



Medición de temperatura de una mezcla de agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.1.2)

N° de cat.	Descripción	P2.3.1.1	P2.3.1.2
384 161	Tapa para vaso dewar	1	1
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
666 767	Placa calentadora	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	2	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

Si se mezcla el agua fría a una temperatura ϑ_1 con agua caliente a una temperatura ϑ_2 se produce un intercambio de calor hasta que ambas hayan alcanzado la misma temperatura. Si no se entrega calor al medio ambiente, la temperatura de la mezcla viene dada por:

$$\vartheta_m = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \vartheta_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \vartheta_2$$

m_1 , m_2 : masa del agua fría y caliente respectivamente

La temperatura de mezcla ϑ_m corresponde a un valor medio ponderado de ambas temperaturas ϑ_1 y ϑ_2 .

En el experimento P2.3.1.1 se utiliza un recipiente Dewar para evitar la entrega de calor al medio ambiente. Este recipiente tiene una pared doble. El volumen encerrado por ellas ha sido evacuado y además su lado interior es reflector. Para garantizar el intercambio completo de calor el agua, se debe agitar cuidadosamente. Aquí se mide la temperatura de la mezcla ϑ_m para diferentes valores de ϑ_1 , ϑ_2 , m_1 y m_2 .

En el experimento P2.3.1.2 se miden las diferentes temperaturas con el sensor de temperatura y el Mobile-CASSY.

CAPACIDADES CALORÍFICAS

P2.3.2.1

Determinación del calor específico de sólidos

P2.3.2.2

Determinación del calor específico de sólidos - Medición con Mobile-CASSY



Determinación del calor específico de sólidos - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.2.2)

N° de cat.	Descripción	P2.3.2.1	P2.3.2.2
384 161	Tapa para vaso dewar	1	1
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	1
384 34	Calentador de Noak	1	1
384 35	Granalla de cobre, 200 g	1	1
384 36	Perlas de vidrio, 100 g	1	1
315 76	Granalla plomo, 200 g, Ø 3 mm	1	1
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1
303 28	Generador de vapor	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	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
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1
667 614	Guantes protectivos contra el calor	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

La cantidad de calor ΔQ absorbida por un cuerpo al calentarse o enfriarse es proporcional a la variación de temperatura $\Delta \vartheta$ y a la masa del cuerpo según la relación:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$$

El factor de proporcionalidad c , el calor específico del cuerpo, es una magnitud que depende del material.

Para determinar el calor específico del cuerpo en el experimento P2.3.2.1 se pesan diferentes sustancias en forma de granallas. Luego se las calienta a la temperatura ϑ_1 con vapor de agua y se las vacía en una cantidad determinada de agua a una temperatura ϑ_2 . Luego de agitar cuidadosamente, las granallas y el agua alcanzan la misma temperatura ϑ_m por intercambio de calor. La cantidad de calor entregada por la granalla

$$\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m)$$

m_1 : masa de los granos

c_1 : calor específico de los granos

es igual a la cantidad de calor absorbida por el agua

$$\Delta Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)$$

m_2 : masa del agua

El calor específico del agua c_2 se asume como un dato. La temperatura ϑ_1 concuerda con la temperatura del vapor de agua. Por esta razón el parámetro buscado c_1 se calcula a partir de ϑ_2 , ϑ_m , m_1 y m_2 .

En el experimento P2.3.2.2 se miden las diferentes temperaturas con el sensor de temperatura y el Mobile-CASSY.

CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN CALOR

P2.3.3.1

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

P2.3.3.2

Conversión de energía mecánica en energía calorífica - Medición con CASSY



Conversión de energía mecánica en energía calorífica - Registro manual y evaluación de los valores medidos (P2.3.3.1)

Nº de cat.	Descripción	P2.3.3.1	P2.3.3.2
388 00	Aparato básico del equivalente mecánico	1	1
388 01	Calorímetro de agua	1	1
388 02	Calorímetro de cobre	1	1
388 03	Calorímetro de aluminio	1	1
388 04	Gran calorímetro de aluminio	1	1
388 051	Termómetro para calorímetro, +15...35 °C/0,2 K	1	
388 24	Pesa con gancho 5 kg	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 074	Timer S		1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K		1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm		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
301 11	Mordaza con pinza cilíndrica		1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

La energía es una de las magnitudes fundamentales de toda la física. Esto se basa, por un lado, en el hecho que la energía se transforma a otras formas de energía diferentes y equivalentes entre sí, y por otro lado, porque la energía total de un sistema cerrado permanece constante.

En el experimento P2.3.3.1 et P2.3.3.2 se verifica la equivalencia entre energía mecánica y energía térmica. Con una manivela se hace girar diferentes calorímetros sobre su mismo eje. Estos se calientan por la fricción de una cuerda de nylon. La fuerza de fricción corresponde al peso G de una pesa que cuelga. Para n vueltas del calorímetro el trabajo mecánico realizado es:

$$W_n = G \cdot n \cdot \pi \cdot d$$

d : diámetro del calorímetro

El trabajo mecánico eleva la temperatura en el calorímetro transformándose en calor calculado mediante: Para verificar la relación

$$Q_n = m \cdot c \cdot (\vartheta_n - \vartheta_0)$$

c : calor específico, m : masa,

ϑ_n : temperatura después de n vueltas

en un diagrama se grafican ambas magnitudes una respecto a la otra. El registro y la evaluación se realizan de manera manual por el experimentador.



CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALOR

P2.3.4.1

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con voltímetro y amperímetro

P2.3.4.2

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con julímetro y vatímetro

P2.3.4.3

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con CASSY

P2.3.4.4

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con Mobile-CASSY

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.4.4)

Nº de cat.	Descripción	P2.3.4.1	P2.3.4.2	P2.3.4.3	P2.3.4.4
384 20	Aparato para determinar el equivalente eléctrico del calor	1			
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1			
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1			
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1			
664 103	Vaso, 250 ml, forma baja	1			
665 755	Cilindro graduado 250 ml, con base de plástico	1			
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1			
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	1			
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1	1	1
388 02	Calorímetro de cobre		1	1	1
388 03	Calorímetro de aluminio		1	1	1
388 04	Gran calorímetro de aluminio		1	1	1
388 051	Termómetro para calorímetro, +15...35 °C/0,2 K		1		
388 06	Par de cables de conexión		1	1	1
531 831	Julímetro y vatímetro		1		
521 491	Unidad de alimentación CA/CC 0...12 V/3 A		1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2			1	
524 220	CASSY Lab 2			1	
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K			1	
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm			1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1	

La energía eléctrica se puede convertir en calor tal como sucede con la energía mecánica. Como ejemplo se utiliza un calorímetro con un bobinado al que se aplica una tensión. Cuando la corriente circula por el alambre se genera calor (calor de Joule) que calienta al calorímetro.

La energía eléctrica entregada

$$W(t) = U \cdot I \cdot t$$

es determinada en el experimento P2.3.4.1 midiendo la tensión U , la corriente I y el tiempo t . Esta corriente hace que varíe la temperatura en el calorímetro la cual corresponde a la cantidad de calor

$$Q(t) = m \cdot c \cdot (\vartheta(t) - \vartheta(0))$$

c : capacidad calorífica específica

m : masa

$\vartheta(t)$: temperatura en el tiempo t

Para verificar la equivalencia

$$Q(t) = W(t)$$

ambas magnitudes se grafican en un diagrama una con respecto a la otra.

En el experimento P2.3.4.3 se verifica experimentalmente la equivalencia entre la energía eléctrica E_{el} y la energía térmica E_{th} . A tal efecto, en el experimento la energía eléctrica E_{el} suministrada a un filamento calefactor es transformada en calor E_{th} . Esto conduce a un incremento de temperatura del calorímetro (o agua, en la cual el filamento se encuentra sumergido). La medición en paralelo de la intensidad de corriente I y la temperatura ϑ en función del tiempo t , conocida la tensión constante U , posibilita el registro cuantitativo de las dos formas de energía con las unidades Watiossegundo (Ws) y Joule (J). De esta forma se verifica experimentalmente y en números la equivalencia: $E_{el} = E_{th}$.

La energía eléctrica suministrada se determina en el experimento P2.3.4.4 midiendo con el Mobile-CASSY.

CALOR DE FUSIÓN Y CALOR DE EVAPORACIÓN

P2.4.1.1

Determinación del calor específico de evaporación del agua

P2.4.1.2

Determinación del calor específico de fusión del hielo

P2.4.1.3

Determinación del calor específico de evaporación del agua - Medición con Mobile-CASSY

P2.4.1.4

Determinación del calor específico de fusión del hielo - Medición con Mobile-CASSY



Determinación del calor específico de evaporación del agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.4.1.3)

N° de cat.	Descripción	P2.4.1.1	P2.4.1.2	P2.4.1.3	P2.4.1.4
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1	1	1
384 17	Colector de condensados	1		1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	1		
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1	1	1
303 28	Generador de vapor	1		1	
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1		1	
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1	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	2		2	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	2		2	
303 25	Calefactor de inmersión		1		1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml		1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1

Generalmente, si a una sustancia se le entrega calor a presión constante, aumenta su temperatura. Si en la sustancia se presenta una transición de fase, la temperatura no aumenta a pesar de seguir suministrándole calor, ya que el calor es requerido para la transición de fase. Tan pronto como la transición de fase concluye la temperatura aumenta nuevamente al suministrarse más calor. Así por ejemplo, para evaporar agua por unidad de masa se requiere un calor específico de evaporación Q_V y para fundir hielo por unidad de masa se requiere un calor específico de fusión Q_S .

Para determinar el calor específico de evaporación Q_V del agua en el experimento P2.4.1.1 y P2.4.1.3 se hace pasar vapor de agua pura hacia un calorímetro, en el que se calienta agua fría hasta la temperatura de mezcla ϑ_m . El vapor de agua se condensa a agua entregando calor de evaporación y enfriándose a la temperatura de la mezcla. Aquí se mide la temperatura inicial ϑ_2 y la masa m_2 del agua fría, la temperatura de mezcla ϑ_m y la masa total

$$m = m_1 + m_2$$

De la comparación entre cantidad de calor entregada y absorbida se tiene que

$$Q_V = \frac{m_1 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1) + m_2 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)}{m_1}$$

$$\vartheta_1 \approx 100 \text{ °C}, c: \text{ calor específico del agua}$$

En el experimento P2.4.1.2 y P2.4.1.4 se determina el calor específico de fusión. Para ello se llena hielo puro en un calorímetro, en el cual se enfría agua caliente hasta la temperatura de mezcla ϑ_m . El hielo se funde a agua absorbiendo calor de fusión y aumenta su temperatura hasta la temperatura de mezcla. Análogo al experimento P2.4.1.3, el calor específico de fusión viene dado por:

$$Q_S = \frac{m_1 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1) + m_2 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)}{m_1}$$

$$\vartheta_1 = 0 \text{ °C}$$

En los experimentos P2.4.1.1 y P2.4.1.2 la temperatura se mide con un termómetro. En los experimentos P2.4.1.3 y P2.4.1.4 la temperatura se mide con el Mobile-CASSY y el correspondiente sensor de temperatura.

MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR

P2.4.2.1

Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 1 bar

P2.4.2.2

Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 50 bar



Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 50 bar (P2.4.2.2)

N° de cat.	Descripción	P2.4.2.1	P2.4.2.2
664 315	Matraz fondo redondo, 2 bocas, 250 ml	1	
665 305	Pieza de reducción	1	
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø	1	
665 255	Llave de tres pasos, forma T	1	
378 031	Brida DN 16 KF con boquilla	1	
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	1	
378 050	Collarín apriete DN 10/16 KF	1	
378 701	Grasa para alto vacío P, 50 g	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 065	Sensor de presión absoluta S, 0...1500 hPa	1	
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	
688 808	Varilla de soporte, 10 x 223 mm, con rosca M6	1	
524 045	Unidad Temperatura NiCr-Ni/NTC	1	
666 216	Elemento termoeléctrico NiCr-Ni	1	
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	3	
666 573	Anillo soporte con varilla 100 mm Ø	1	
666 685	Rejilla de protección térmica 160 mm x 160 mm	1	
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano	1	1
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3	1	1
667 614	Guantes protectivos contra el calor	1	1
385 16	Aparato de vapor de alta presión		1
664 109	Vaso, 25 ml, forma baja		1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		1
667 6131	Gafas de seguridad para usar sobre las gafas		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

La presión de vapor p de una mezcla líquido y vapor en un sistema cerrado que depende de la temperatura T . Por encima de la temperatura crítica la presión de vapor no está definida, la sustancia es gaseosa y no puede hacerse líquida a tan alta presión. La pendiente de la curva de la presión de vapor $p(T)$ se determina por el calor de evaporación molar q_v de la sustancia:

$$T \cdot \frac{dp}{dT} = \frac{q_v}{v_1 - v_2} \quad (\text{Clausius-Clapeyron})$$

T : temperatura absoluta

v_1 : volumen molar del vapor

v_2 : volumen molar del líquido

En general, la fórmula v_2 se ignora, mientras que q_v no varía con T , obteniendo así la expresión

$$\ln p = \ln p_0 - \frac{q_v}{R \cdot T}$$

que es una buena aproximación a la ley de los gases ideales

En el experimento P2.4.2.1 se registra la curva de presión de vapor del agua por debajo del punto de ebullición normal utilizando el sistema de adquisición de datos asistido por ordenador CASSY. El agua se encuentra en un émbolo de vidrio, cerrado mientras que el agua ebulle a presión normal. La medición de la presión de vapor p en función de la temperatura T se efectúa cuando el sistema se enfría y cuando es calentado posteriormente.

Para medir presiones de hasta 50 bar en el experimento P2.4.2.2 se implementa un dispositivo de vapor de alta presión en cuyo manómetro se puede leer directamente la presión de vapor. Un termómetro suministra la temperatura respectiva. Los valores de la medición son registrados y evaluados manualmente.

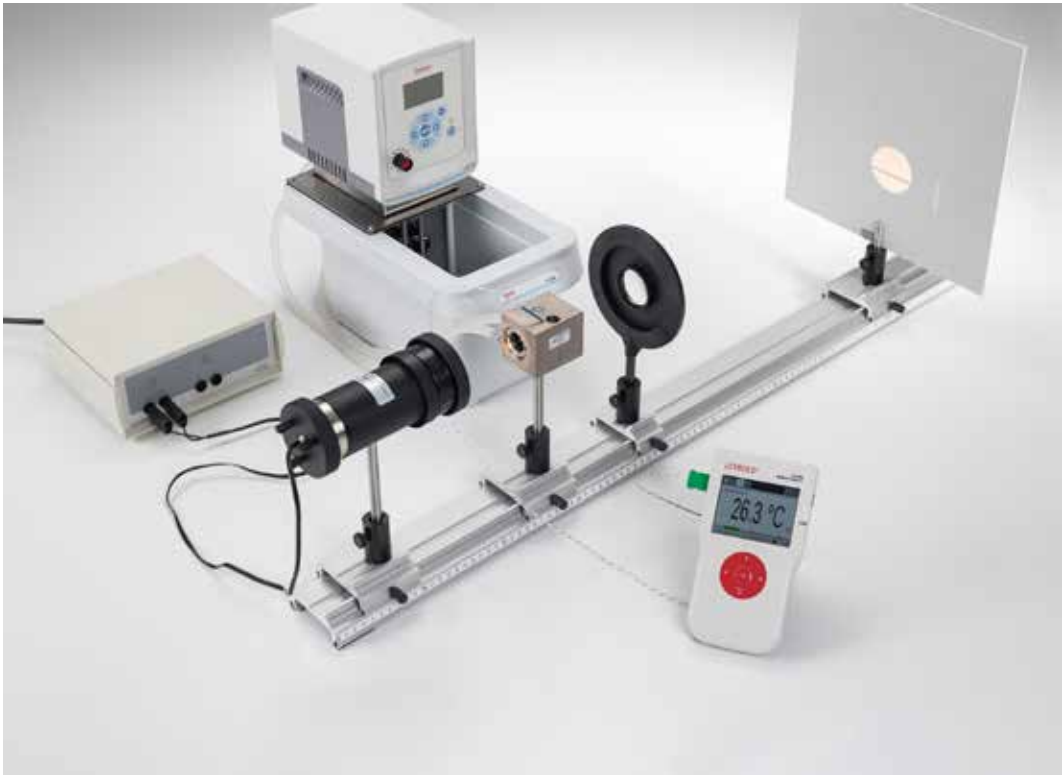


Registro de la curva de presión de vapor del agua - Presiones hasta 1 bar (P2.4.2.1).

TEMPERATURA CRÍTICA

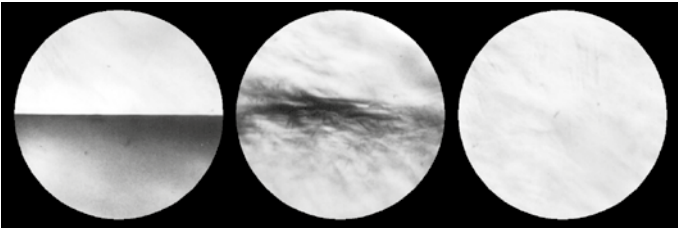
P2.4.3.1
Estudio de una mezcla entre el líquido
y vapor en el punto crítico

P2.4.3.2
Estudio de una mezcla entre el líquido
y vapor en el punto crítico - Medición
con Mobile-CASSY



Estudio de una mezcla entre el líquido y vapor en el punto crítico (P2.4.3.1)

Table with 4 columns: N° de cat., Descripción, P2.4.3.1, P2.4.3.2. It lists various equipment items and their quantities for two different experimental setups.



Ilustraciones del contenido de la cámara de presión: por debajo, estando por encima de la temperatura crítica (P2.4.3.1-2)

El punto crítico de un gas real está caracterizado por la presión crítica p_c, la densidad crítica rho_c y la temperatura crítica T_c. Por debajo de la temperatura crítica la sustancia es gaseosa cuando el volumen molar es suficientemente grande en este estado se le denomina vapor y para un volumen molar suficientemente pequeño es líquida. Entre ellas se encuentra una mezcla líquido y vapor, cuyo porcentaje de vapor aumenta cuando el volumen molar crece. Como el líquido y el vapor poseen densidades diferentes, en el campo gravitacional se separan. Con el incremento de la temperatura la densidad del líquido disminuye y la del vapor aumenta, hasta que en la temperatura crítica ambas densidades alcanzan el valor de la densidad crítica. Líquido y vapor se mezclan completamente entre sí, el límite de transición de fase desaparece. Por encima de la temperatura crítica la sustancia no depende del volumen molar.

En el experimento P2.4.3.1 et P2.4.3.2 se estudia el comportamiento del hexafluoruro de azufre SF6 en las cercanías del punto crítico. La temperatura crítica de esta sustancia es T_c = 318.7 K y la presión crítica p_c = 37.6 bar. La sustancia se encuentra en una cámara de presión, por cuya cubierta fluye agua caliente o vapor de agua. Con el propósito de observar el fenómeno, a través de dos visores se proyecta sobre una pared la desaparición de la superficie de transición de fase entre líquido y gas al calentar la sustancia. De igual manera al enfriarse la sustancia se observa la formación de la superficie. En la cercanía del punto crítico la sustancia difunde una luz de onda corta particularmente intensa, el contenido de la cámara a presión toma un color rojo-marrón. Esta opalescencia crítica es causada por las fluctuaciones de la densidad que en las inmediaciones del punto crítico es muy intensa. Nota: La desaparición de la superficie límite entre fases durante el calentamiento se puede observar de manera óptima cuando la cámara a presión es calentada lo más lento posible con un termostato de circulación.

LEYES DE LOS GASES

P2.5.2.1

Dependencia del volumen de un gas con respecto a la presión a temperatura constante (Ley de Boyle-Mariotte)

P2.5.2.2

Dependencia del volumen de un gas con respecto a la temperatura a presión constante (Ley de Gay-Lussac)

P2.5.2.3

Dependencia de la presión de un gas con respecto a la temperatura a volumen constante (Ley de Amonton)



Dependencia del volumen de un gas con respecto a la presión a temperatura constante (Ley de Boyle-Mariotte) (P2.5.2.1)

N° de cat.	Descripción	P2.5.2.1	P2.5.2.2	P2.5.2.3
382 00	Termómetro de gas	1	1	1
375 58	Bomba manual de vacío	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 064	Sensor de presión S, ±2000 hPa	1		1
665 223ET10	Empalme, forma en T, 8 mm Ø, 10 piezas	1		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1	1
301 11	Mordaza con pinza cilíndrica	2	2	2
666 767	Placa calentadora		1	1
664 103	Vaso, 250 ml, forma baja		1	1

Un termómetro de gas consiste de un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior y en el que un tapón de mercurio en la parte superior encierra una cantidad de aire dentro. El volumen de la columna de aire está determinado por la altura y la sección transversal del tubo de vidrio. Si mediante una bomba manual se hace variar la presión en el lado abierto, entonces en el lado encerrado también varía la presión. Con un baño de agua se varía la temperatura de todo el termómetro.

En el experimento P2.5.2.1 la columna de aire mantiene constante la temperatura ambiente T . La columna tiene un volumen V_0 para una presión exterior p_0 , el cual es encerrado por el tapón de mercurio. Haciendo evacuar aire por el lado abierto la presión p en la columna de aire disminuye y se puede determinar el volumen V incrementado de la columna de aire para diferentes valores de la presión p . La evaluación verifica la relación

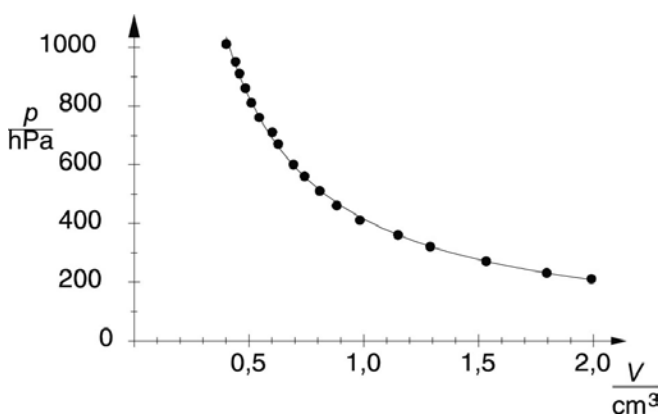
$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \text{ para } T = \text{const. (Ley de Boyle-Mariotte)}$$

En el experimento P2.5.2.2 el termómetro de gas se encuentra en un baño de agua temperado el cual se enfría lentamente. El lado abierto está expuesto a la presión exterior, por esta razón la presión en la columna de aire permanece constante. Aquí se mide el volumen V de la columna de aire en función de la temperatura T del baño de agua. La evaluación permite verificar la relación

$$V : T \text{ para } p = \text{const. (Ley de Gay-Lussac)}$$

En el experimento P2.5.2.3 se reduce constantemente la presión p de la columna de aire en el lado abierto evacuándolo hasta que el volumen V de la columna de aire permanezca constante aún cuando la temperatura disminuye. Se mide la presión p en la columna de aire en función de la temperatura T del baño de agua. La evaluación permite confirmar la relación

$$p : T \text{ para } V = \text{const. (Ley de Amontons)}$$



Presión en función del volumen a temperatura constante (P2.5.2.1)

CALOR ESPECÍFICO DE GASES

P2.5.3.1

Determinación del exponente adiabático c_p/c_v del aire según Rüchardt

P2.5.3.2

Determinación de los exponentes adiabáticos c_p/c_v de diferentes gases con el aparato de resonancia de columna de gas



Determinación del exponente adiabático c_p/c_v del aire según Rüchardt (P2.5.3.1)

Nº de cat.	Descripción	P2.5.3.1	P2.5.3.2
371 051	Tubo de oscilación con botella de Mariot	1	
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
317 20	Barómetro aneroide de precisión	1	
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1	
675 3120	Vaselina, 100 g	1	
371 07	Aparato de resonancia de columna de gas		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
522 561	Generador de funciones P		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
660 980	Válvula reguladora de gas		1
660 985	Botella de gas Minican Neón		1
660 999	Botella de gas Minican Dióxido de car		1
665 255	Llave de tres pasos, forma T		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
500 422	Cable de experimentación 50 cm azul		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1

En los cambios de estado adiabáticos para la presión p y el volumen V de un gas se cumple la relación:

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.}$$

en donde el exponente adiabático

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

es la relación de los calores específicos c_p and c_v del gas.

En el experimento P2.5.3.1 se determina el exponente adiabático del aire a partir del periodo de oscilación de una bola que encierra hacia arriba un volumen de gas en un tubo de ascensión, vertical, y que causa cambios adiabáticos del gas alrededor de la posición de reposo: En la posición de reposo la fuerza del peso y la fuerza resultante de la presión del gas encerrado se encuentran en equilibrio. Una desviación de la posición de reposo hace variar la presión

$$\Delta p = -\kappa \cdot p \cdot \frac{A \cdot \Delta x}{V}$$

A: sección transversal del tubo de ascensión

que hace que la esfera retorne a la posición de reposo. Por esta razón la esfera oscila con una frecuencia

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\kappa \cdot p \cdot A^2}{m \cdot V}}$$

alrededor de su posición de reposo.

En el experimento P2.5.3.2 se determina el exponente adiabático con el aparato de resonancia de columna de gas. En este aparato un émbolo magnético cierra la columna de aire, la cuales excitada por un campo electromagnético alterno para producir oscilaciones forzadas. Aquí se busca la frecuencia propia f_0 del sistema, esto es, la frecuencia con la que el émbolo oscila con máxima amplitud. En lugar de aire también se puede llenar otros gases, por ej. dióxido de carbono y neón.



Determinar el exponente adiabático c_p/c_v de varios gases utilizando el aparato de resonancia elástica de gases (P2.5.3.2).

LOS GASES REALES

P2.5.4.1 Efecto de Joule-Thomson



Efecto de Joule-Thomson (P2.5.4.1)

N° de cat.	Descripción	P2.5.4.1
371 56	Joule-Thomson-aparato	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 045	Unidad Temperatura NiCr-Ni/NTC	1
666 216	Elemento termoeléctrico NiCr-Ni	2
524 064	Sensor de presión S_1 ± 2000 hPa	1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm $\varnothing$	1
667 184	Abrazaderas para manguera	1
661 017	Válvula reductora	1
661 018	Válvula reductora	1
664 569	Llave de horquilla par botella de gas a	1
661 0082	Botella de gas, dióxido de carbono, 2 l	1
661 0083	Botella de gas, nitrógeno, 2 l	1
661 021	Soporte para botella de gas de 2 l	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm $\varnothing$	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1
Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

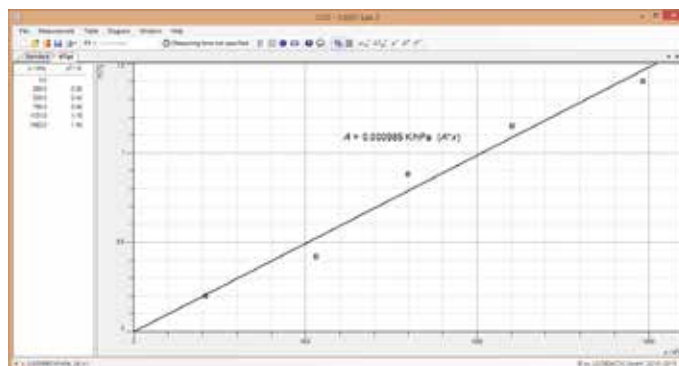
El efecto de Joule-Thomson ocurre cuando un gas real o una mezcla de gases experimenta un cambio en la temperatura por la reducción de la presión p . La fuerza y dirección del cambio de temperatura se describe por el coeficiente μ :

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_H$$

H : enthalpy = const.

de Joule-Thomson.

En el experimento P2.5.4.1, el gas que fluye se regula a través de una membrana y se expande detrás de ella. El volumen ocupado por el gas puede aumentar detrás del obstáculo, por lo que se incrementa la distancia media de las partículas. Esto provoca un cambio en la temperatura del gas. En este experimento se mide la diferencia de presión y temperatura antes y después de la membrana.



Cambio de temperatura contra presión (P2.5.4.1)

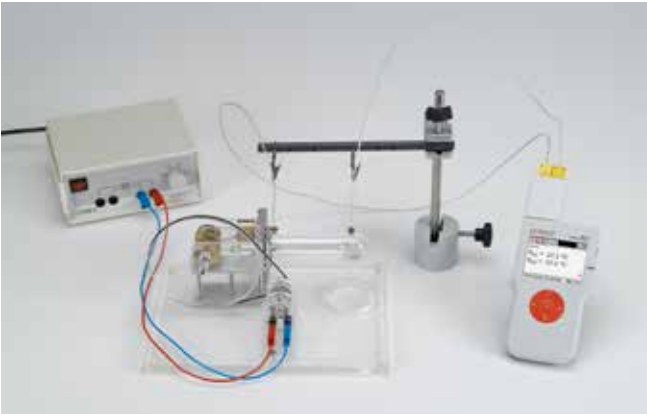
MOTOR DE AIRE CALIENTE: EXPERIMENTOS CUALITATIVOS

P2.6.1.5
Funcionamiento del motor de aire caliente P como máquina térmica, bomba térmica y máquina frigorífica



Funcionamiento del motor de aire caliente P como máquina térmica, bomba térmica y máquina frigorífica (P2.6.1.5)

Nº de cat.	Descripción	P2.6.1.5
388 176	Motor de aire caliente P	1
303 22	Mechero de alcohol, metálico	1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1
666 1261	Sonda rápida para gases y líquidos, tipo K	1
300 11	Zócalo	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm	2
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1



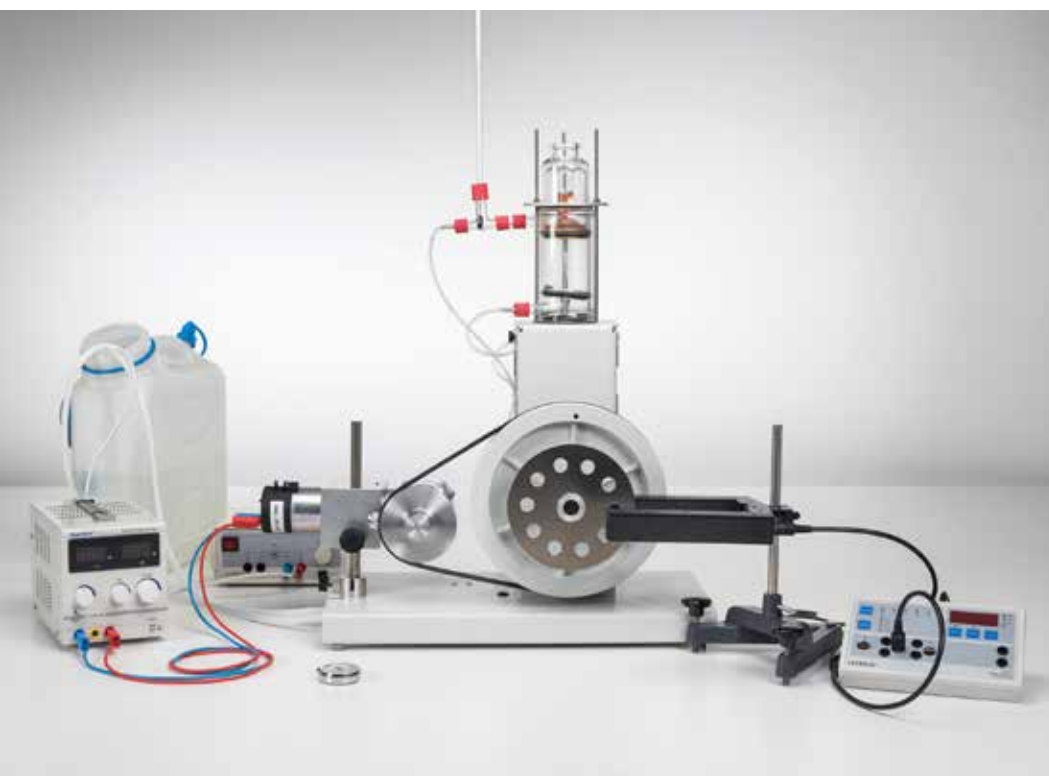
Funcionamiento del motor de aire caliente P como bomba de calor y refrigerador (P2.6.1.5)

Al lado de la máquina de vapor, el motor de aire caliente (*R. Stirling*, 1816) es una de las máquinas térmicas más antiguas. Idealmente su ciclo termodinámico está compuesto de una compresión isotérmica a baja temperatura, una alimentación térmica isócara, una expansión isotérmica a alta temperatura y una entrega de calor isócara. Los émbolos desplazador y de trabajo están unidos a un cigüeñal mediante bielas motrices, en donde el émbolo desplazador se adelanta al émbolo de trabajo en 90°. Mientras que el émbolo de trabajo se encuentra en el punto muerto superior (a), el émbolo desplazador se mueve hacia atrás y desplaza el aire hacia la parte caliente del cilindro. Aquí, el aire es calentado, se expande y empuja el émbolo de trabajo hacia abajo (b). Al mismo tiempo se entrega trabajo mecánico al disco volante. Mientras que el disco de trabajo se encuentra en el punto muerto inferior (c), el émbolo desplazador se mueve hacia delante y desplaza el aire hacia la parte fría del cilindro. El aire es enfriado y comprimido por el émbolo de trabajo (d). El trabajo mecánico lo suministra el disco volante.

El motor de aire caliente trabaja según el sentido de giro del cigüeñal como bomba térmica o máquina frigorífica, si su rueda volante es accionada mecánicamente o desde el exterior. Si el émbolo se mueve hacia atrás mientras que el émbolo de trabajo se encuentra en el punto muerto inferior, éste desplaza al aire hacia la parte superior del cilindro. Finalmente, el aire es comprimido por medio del émbolo de trabajo y entrega calor a la cabeza del cilindro, es decir, el motor de aire caliente trabaja como bomba térmica. En el sentido de giro contrario, el aire se expande por el émbolo de trabajo; en caso se encuentre en la parte superior del cilindro, el motor de aire caliente trabaja como máquina frigorífica.

El experimento P2.6.1.5 estudia de manera cualitativa el funcionamiento del motor de aire caliente P como motor térmico. El motor de aire caliente P es un modelo transparente que muestra los conceptos básicos de la transformación energética. El motor de aire caliente P funciona con un quemador de alcohol y se transforma mediante un pequeño generador de energía eléctrica en un voltaje que se puede medir.

Además, se muestra el funcionamiento del motor de aire caliente P como una bomba de calor y una máquina de refrigeración. Variando la velocidad del motor eléctrico, es decir, la potencia mecánica suministrada al motor de aire caliente P, se observa el impacto sobre la potencia de calefacción o refrigeración.



MOTOR DE AIRE CALIENTE: EXPERIMENTOS CUANTITATIVOS

P2.6.2.1
Determinación calórica de las pérdidas por fricción del motor de aire caliente

P2.6.2.2
Determinación de la eficiencia del motor de aire caliente como máquina térmica

P2.6.2.3
Determinación de la eficiencia del motor de aire caliente como máquina frigorífica

Determinación calórica de las pérdidas por fricción del motor de aire caliente (P2.6.2.1)

N° de cat.	Descripción	P2.6.2.1	P2.6.2.2	P2.6.2.3
388 182	Motor de aire caliente	1	1	1
388 221	Accesorio para el motor de aire caliente	1	1	1
347 38	Motor de experimentación de 93 W	1	1	1
521 547	Fuente de alimentación CC 0 ... 30 V / 0 ... 5 A	1	1	1
575 471	Contador S	1	1	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1	1	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1	1
382 35	Termómetro -10 ... +50°C	1	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	2	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1	1	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1	1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1
388 181	Bomba de inmersión	1*	1*	1*
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1*	1*	1*
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	2*	2*	2*
604 3131	Cisterna de gollote ancho 10 l	1*	1*	1*
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1	1	1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte	1	1	1
562 21	Bobina de red con 500 espiras	1	1	1
562 18	Bobina de tensión extrabaja de 50 espira	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1	1
531 130	Multímetro LDanalog 30	1	1	1
314 141	Dinamómetro de precisión 1,0 N	1	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1	1
300 51	Varilla de soporte, doblada en 90°	1	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2	2	2
342 63	Pesa 50 g	3	3	3
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1	1

N° de cat.	Descripción	P2.6.2.1	P2.6.2.2	P2.6.2.3
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro	3	2	2
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1	1

* se requiere adicionalmente

El motor de aire caliente como máquina térmica toma de un reservorio 1 por ciclo una cantidad de calor Q_1 y genera un trabajo mecánico W y suministra a un reservorio 2 la diferencia $Q_2 = Q_1 - W$. El motor funciona, en el mismo sentido de giro, como máquina frigorífica si se aplica desde fuera un trabajo mecánico W sobre él. En ambos casos se debe considerar el trabajo W_f que se convierte en calor por ciclo debido al fricción del émbolo.

Frecuentemente los ciclos termodinámicos son descritos como curvas cerradas en un diagrama pV (p : presión, V : volumen). El trabajo tomado del sistema o aplicado al sistema según el sentido del ciclo corresponde a la superficie encerrada por la curva.

En el experimento P2.6.2.1 se determina el incremento de temperatura ΔT_f en el agua de refrigeración para determinar el trabajo de la fricción W_f mientras que el motor de aire caliente es accionado por un motor eléctrico estando la cabeza del cilindro abierta.

En el experimento P2.6.2.2 se determina la eficiencia

$$\eta = \frac{W}{W + Q_2}$$

del motor de aire caliente como máquina térmica. El trabajo mecánico W por ciclo entregado en el eje, puede ser calculado a partir del momento de rotación externo N de un freno de Prony, que frena al motor de aire caliente al número de revoluciones f . La cantidad de calor entregada Q_2 corresponde a un incremento de temperatura ΔT en el agua de refrigeración.

En el experimento P2.6.2.3 se determina la eficiencia

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

del motor de aire caliente como máquina frigorífica. Con tal propósito el motor de aire caliente es accionado con un motor eléctrico estando la cabeza del cilindro cerrada y se determina Q_1 como la energía eléctrica de calentamiento que mantiene constante la temperatura de la cabeza del cilindro a la temperatura del ambiente.

MOTOR DE AIRE CALIENTE
CALIENTE: EXPERIMENTOS CUANTITATIVOS

P2.6.2.4
El motor de aire caliente como máquina térmica: Registro y evaluación del diagrama pV con CASSY



El motor de aire caliente como máquina térmica: Registro y evaluación del diagrama pV con CASSY (P2.6.2.4)

Table with 3 columns: N° de cat., Descripción, and P2.6.2.4. It lists various components like the hot air engine, U-shaped core, clamping device, coils, and sensors, along with their quantities for the experiment.

* se requiere adicionalmente

El motor de aire caliente como máquina térmica toma de un reservorio 1 por ciclo una cantidad de calor Q1 y genera un trabajo mecánico W y suministra a un reservorio 2 la diferencia Q2 = Q1 - W. El motor funciona, en el mismo sentido de giro, como máquina frigorífica si se aplica desde fuera un trabajo mecánico W sobre él. En ambos casos se debe considerar el trabajo Wf que se convierte en calor por ciclo debido al fricción del émbolo.
Frecuentemente los ciclos termodinámicos son descritos como curvas cerradas en un diagrama pV(p: presión, V: volumen). El trabajo tomado del sistema o aplicado al sistema según el sentido del ciclo corresponde a la superficie encerrada por la curva.

En el experimento P2.6.2.4 se registra el diagrama pV del motor de aire caliente como máquina térmica con el sistema de adquisición de datos CASSY asistido por ordenador: un sensor mide la presión p en el cilindro en función del tiempo t y un transductor de desplazamiento mide la posición s, a partir de la cual se calcula el volumen encerrado. Los datos son representados directamente en un diagrama pV en la pantalla del ordenador. Para la evaluación subsiguiente se calcula, a partir del trabajo mecánico realizado por la fricción del émbolo

W = - ∫ p · dV

en un ciclo, la potencia mecánica

P = W · f

f: número de revoluciones en marcha al vacío

y la representa en un diagrama en función del número de revoluciones para la marcha en vacío.

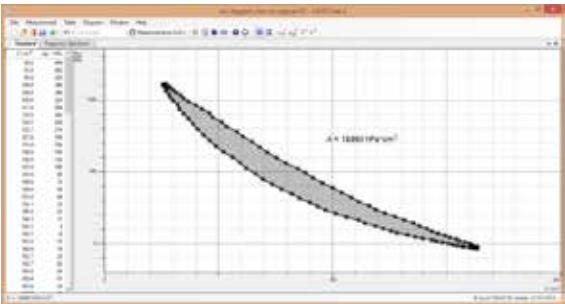


Diagrama pV del motor de aire caliente (P2.6.2.4)

LA BOMBA TÉRMICA

P2.6.3.1

Determinación del índice de rendimiento de la bomba térmica en función de la diferencia de temperaturas

P2.6.3.2

Estudio de la función de la válvula de expansión de la bomba térmica

P2.6.3.3

Análisis del ciclo de la bomba térmica con el diagrama de Mollier



Determinación del índice de rendimiento de la bomba térmica en función de la diferencia de temperaturas (P2.6.3.1)

N° de cat.	Descripción	P2.6.3.1	P2.6.3.2	P2.6.3.3
389 521	Bomba de calor PT	1	1	1
531 831	Juliómetro y vatímetro	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	1	1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2	2	3
313 12	Cronometro digital manual	1	1	1

Una bomba térmica toma calor de un reservorio de temperatura T_1 al evaporarse un medio refrigerante y entrega calor a un reservorio de temperatura T_2 al condensarse el refrigerante. Para ello se calienta un refrigerante (en estado gaseoso) en un compresor (a-b) mediante una compresión. El refrigerante se condensa en el licuefactor (c-d) y entrega el calor de condensación liberado ΔQ_2 al reservorio T_2 . El refrigerante licuefactado es filtrado y pasa sin burbujas a la válvula de expansión (e-f). En esta se dosifica el suministro de refrigerante al evaporizador (g-h). En el evaporizador el refrigerante pasa nuevamente a la fase gaseosa, tomando del reservorio T_1 el calor de compensación ΔQ_1 requerido.

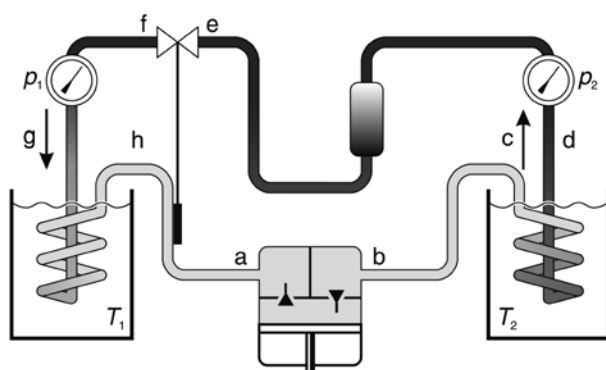
El objetivo de ensayo P2.6.3.1 es la determinación del índice de rendimiento

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_2}{\Delta W}$$

de la bomba térmica en función de la diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$. Del calentamiento del reservorio de agua T_2 se determina la cantidad de calor ΔQ_2 entregada y con un juliómetro y vatímetro se determina la energía eléctrica utilizada ΔW .

En el experimento P2.6.3.2 se registran las temperaturas T_f y T_h en las salidas de la válvula de expansión y del evaporador. Si el valor de la diferencia de ambas temperaturas está por debajo de un cierto valor límite, la válvula de expansión estrangula la alimentación del refrigerante hacia el evaporador. De esta manera se garantiza que el refrigerante en el evaporador siempre se evapore completamente.

En el experimento P2.6.3.3 se grafica un diagrama de Mollier. En este diagrama se representa la presión p en función de la entalpía específica h del refrigerante siendo muy útil para seguir las transformaciones energéticas que se dan en la bomba térmica. De las presiones p_1 y p_2 en el evaporador y licuefactor y de las temperaturas T_a , T_b , T_e y T_f del refrigerante se determinan las entalpías respectivas h_a , h_b , h_e y h_f . También se miden las cantidades de calor ΔQ_2 y ΔQ_1 entregadas y tomadas por unidad de tiempo. De aquí se determina la cantidad de refrigerante procesado Δm por unidad de tiempo.

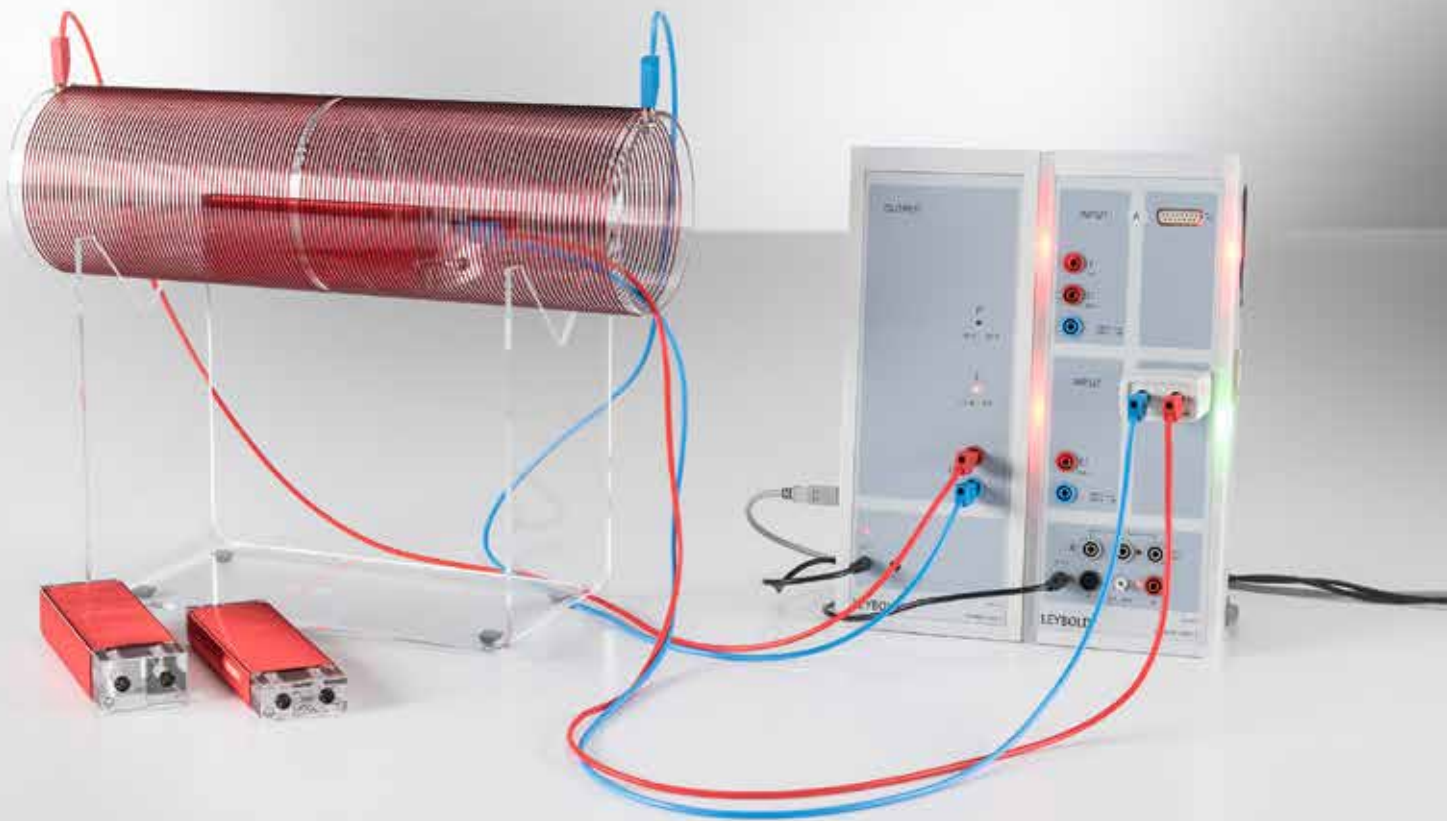


Bomba de calor (389 521) con representación esquemática de sus elementos funcionales (P2.6.3.1)

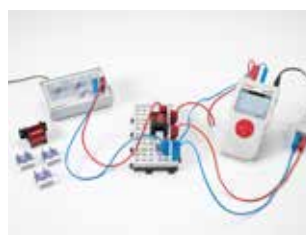
P3.4.3.2

Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con Power-CASSY como fuente de corriente variable

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 105.

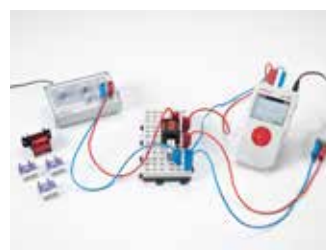


P3 ELECTRICIDAD



P3.1	ELECTROSTÁTICA	81
P3.2	FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	93
P3.3	MAGNETOSTÁTICA	98
P3.4	INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	103
P3.5	MÁQUINAS ELÉCTRICAS	109
P3.6	CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA	112
P3.7	OSCILACIONES ELECTROMAGNÉTICAS Y ONDAS	118
P3.8	PORTADORES DE CARGA MOVIÉNDOSE EN EL VACIO	124
P3.9	CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN GASES	127

P3 ELECTRICIDAD



P3.1 ELECTROSTÁTICA

P3.1.1	Experimentos básicos de electrostática	81
P3.1.2	Ley de Coulomb	82-83
P3.1.3	Líneas de fuerza y líneas equipotenciales	84-85
P3.1.4	Interacción eléctrica	86-87
P3.1.5	Distribuciones de cargas en conductores eléctricos	88
P3.1.6	Definición de capacitancia eléctrica	89
P3.1.7	Condensador de placas	90-92

P3.2 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD

P3.2.2	Ley de Ohm	93
P3.2.3	Ley de Kirchhoff	94-95
P3.2.4	Circuitos con instrumentos de medición eléctricos	96
P3.2.5	Conducción de electricidad por electrólisis	97

P3.3 MAGNETOSTÁTICA

P3.3.1	Experimentos básicos de magnetostática	98
P3.3.3	Interacción magnética	99-100
P3.3.4	Ley de Biot-Savart	101-102

P3.4 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

P3.4.1	Impulso de tensión	103
P3.4.2	Inducción en un lazo conductor en movimiento	104
P3.4.3	Inducción causada por un campo magnético variable	105
P3.4.5	Transformador	106-107
P3.4.6	Medición del campo magnético de la tierra	108

P3.5 MÁQUINAS ELÉCTRICAS

P3.5.2	Generadores eléctricos	109
P3.5.3	Motores eléctricos	110
P3.5.4	Máquinas de corriente trifásica	111

P3.6 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA

P3.6.1	Circuito con condensador	112
P3.6.2	Circuito con bobina	113
P3.6.3	Resistencias de corriente alterna	114
P3.6.4	Circuitos de medición con puente	115
P3.6.6	Trabajo eléctrico y potencia eléctrica	116-117

P3.7 OSCILACIONES ELECTROMAGNÉTICAS Y ONDAS

P3.7.1	Circuito de oscilación electromagnético	118
P3.7.2	Ondas decimétricas	119
P3.7.3	Propagación de ondas decimétricas en líneas	120
P3.7.4	Microondas	121
P3.7.5	Propagación de microondas en líneas	122
P3.7.6	Característica direccional de la radiación dipolar	123

P3.8 PORTADORES DE CARGA MOVIÉNDOSE EN EL VACÍO

P3.8.3	Tubo con cruz de Malta	124
P3.8.4	Tubo de Perrin	125
P3.8.5	Tubo de Thomson	126

P3.9 CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN GASES

P3.9.2	Descarga de gases con presión reducida	127
--------	--	-----

EXPERIMENTOS BÁSICOS
DE ELECTROSTÁTICA

P3.1.1.2
Experimentos básicos de electrostática
con el electrómetro amplificador



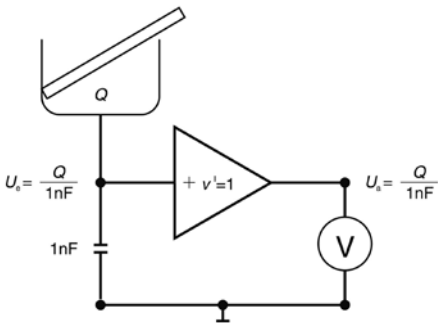
Experimentos básicos de electrostática con el electrómetro amplificador (P3.1.1.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.1.2
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
532 16	Barra de conexión	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico	1
541 22	Paño de cuero	1
686 63	Bolsas de polietileno (cargada por frotamiento), juego de 10	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
542 51	Placa de influencia 8 cm x 4 cm	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano	1*
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3	1*

* se requiere adicionalmente

El electrómetro amplificador es un transductor de impedancia. Se caracteriza por tener una impedancia de entrada extremadamente alta ($\geq 10^{13} \Omega$) y una impedancia de salida baja ($\leq 1 \Omega$). Este dispositivo es apropiado para medir cargas muy pequeñas si la entrada está conectada a un circuito capacitivo y si se emplea un vaso de Faraday para la acumulación de cargas. Aquí se pueden realizar experimentos con bastante confiabilidad sobre electricidad por contacto y electricidad por fricción.

En el experimento P3.1.1.2 se estudia la separación de cargas por fricción entre dos materiales: Se demuestra que un material porta las cargas positivas y el otro las cargas negativas, en donde el valor absoluto de las cargas es la misma. Si se miden simultáneamente las cargas de ambos materiales, entonces el efecto de los mismos desaparece. El signo de las cargas de uno de los materiales no sólo depende de la sustancia misma, sino también de la sustancia del otro material.



Medición de la carga con el amplificador del electrómetro (P3.1.1.2)

LEY DE COULOMB

P3.1.2.2

Verificación de la ley de Coulomb –
Medición con el sensor de fuerzas



Verificación de la ley de Coulomb - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.2.2)

Nº de cat.	Descripción	P3.1.2.2
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
337 00	Carro de medición	1
460 82	Riel metálico de precisión, 50 cm	1
460 95	Jinetillo con pinza	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1
521 721	Fuente de alimentación de alta tensión	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
300 11	Zócalo	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
532 16	Barra de conexión	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
501 42	Cable de experimentación, 100 cm, amaril	1
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1

Entre dos cargas eléctricas puntuales Q_1 y Q_2 separadas una distancia r actúa una fuerza que esta dada por la ley de Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$\text{con } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{ (constante dieléctrica del vacío)}$$

La misma fuerza actúa entre dos esferas cargadas, si la distancia r entre los centros de las esferas es mucho mayor que el diámetro de las esferas, de tal manera que no sea influenciada la distribución homogénea de las cargas de las esferas. Es decir, en esta geometría se puede suponer que las esferas son puntos.

La fuerza entre dos esferas cargadas también se puede medir con un sensor de fuerzas. Este consiste de dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensiométricas conectadas en un circuito de puente, sus resistencias eléctricas cambian cuando se aplica una carga. La variación de las resistencias es proporcional a la fuerza actuante.

Para la medición asistida por ordenador de la fuerza de Coulomb entre dos esferas cargadas se debe conectar el sensor de fuerzas a la interfaz CASSY. Además, para medir la distancia entre las esferas cargadas se debe implementar un sensor de movimiento (Sensor de giro S).

En el experimento P3.1.2.2 el sensor de fuerzas está conectado a un instrumento de medición que directamente indica la carga medida. No se requiere calibración alguna. Aquí se mide la fuerza de Coulomb en función de la distancia r entre los centros de las esferas, que va desde la carga Q_1 de la primera bola hasta la carga Q_2 de la segunda bola. Las cargas de las esferas se miden con el electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. La medición y la evaluación se realizan punto a punto. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{r^2}, \quad F \propto Q_1 \quad \text{y} \quad F \propto Q_2$$

y el cálculo de la constante dieléctrica del vacío ϵ_0 /SUB>.



LEY DE COULOMB

P3.1.2.3

Verificación de la ley de Coulomb –
Registro y evaluación con CASSY

Verificación de la ley de Coulomb - Registro y evaluación con CASSY (P3.1.2.3)

N° de cat.	Descripción	P3.1.2.3
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
337 00	Carro de medición	1
460 82	Riel metálico de precisión, 50 cm	1
460 95	Jinetillo con pinza	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1
524 082	Sensor de giro S	1
521 721	Fuente de alimentación de alta tensión	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
300 11	Zócalo	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
532 16	Barra de conexión	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
337 04	Pesas de impulsión, juego	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1
309 48	Sedal	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
501 43	Cable de experimentación, 200 cm, amaril	1

N° de cat.	Descripción	P3.1.2.3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Para la medición asistida por ordenador de la fuerza de Coulomb entre dos esferas cargadas se debe conectar el sensor de fuerzas a la interfaz CASSY. Además, para medir la distancia entre las esferas cargadas se debe implementar un sensor de movimiento (Sensor de giro S).

En el experimento P3.1.2.3 se utiliza el programa CASSY Lab para registrar y evaluar los valores medidos. Aquí se mide la fuerza de Coulomb para diferentes cargas Q_1 y Q_2 de ambas esferas en función de la distancia r . Las cargas de las esferas se miden con el electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. El objetivo de la evaluación es la verificación de la proporcionalidad

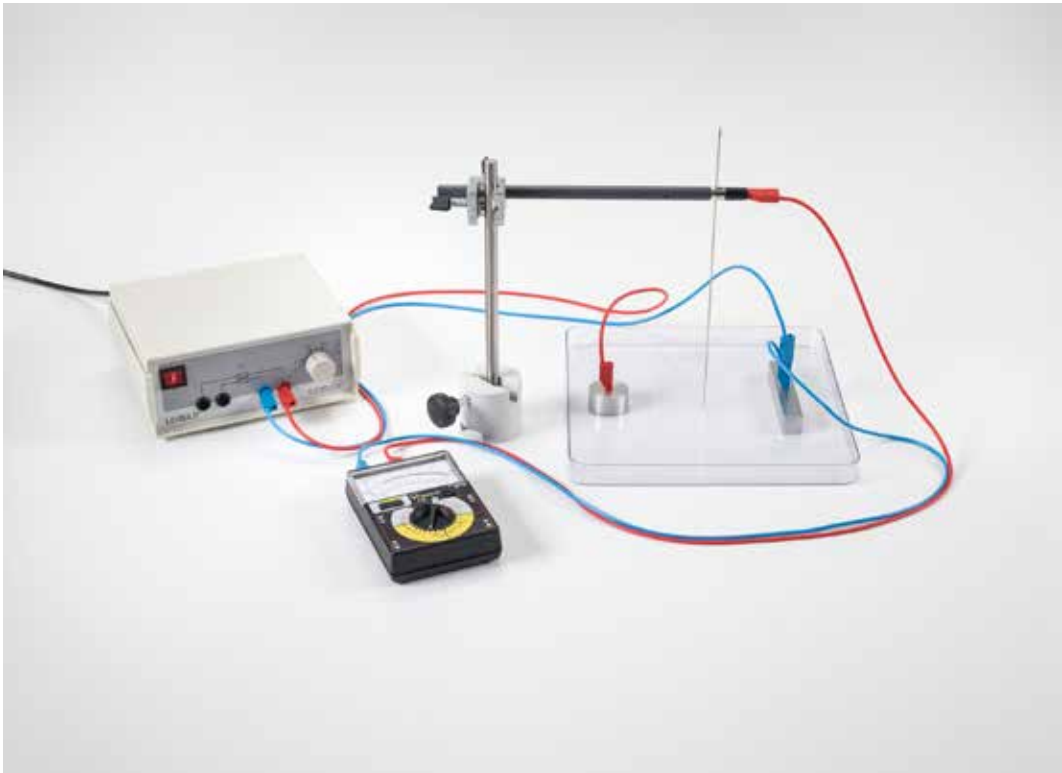
$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

y el cálculo de la constante dieléctrica del vacío $\epsilon_{0<}/\text{SUB}>$.

LÍNEAS DE FUERZA Y
LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

P3.1.3.1
Representación de las líneas de
campo eléctrico

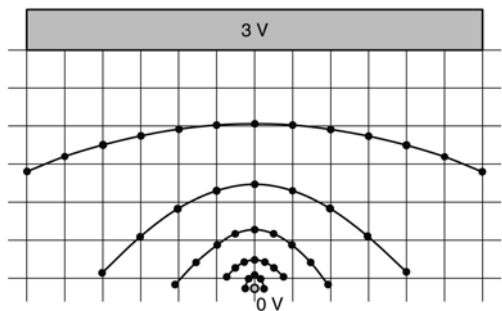
P3.1.3.2
Representación de las líneas equipo-
tenciales de campos eléctricos



Representación de las líneas equipotenciales de campos eléctricos (P3.1.3.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.3.1	P3.1.3.2
541 06	Equipo para líneas de campo eléctrico	1	
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2	
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	
MIK 747085	BMS SyncCam 12MP	1*	
545 09	Cubeta electrolítica		1
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6		1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
686 66	Aguja de acero		1
590 011	Enchufe de sujeción		1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
300 11	Zócalo		1
501 461	Par de cables, 100 cm, negro		2
	Adicionalmente se requiere: Computadora o aparato de visualización de imágenes	1	

* se requiere adicionalmente



Ejemplo de medición: líneas equipotenciales alrededor de la punta de una aguja (P3.1.3.2)

El efecto de fuerza mutua entre las cargas eléctricas puede ser descrito por un campo eléctrico. El campo eléctrico está también presente aún si no es detectado por la fuerza sobre una carga de prueba. Este puede ser descrito con líneas de campo que siguen la dirección de las líneas de campo eléctrico. El curso de las líneas de campo está determinado por el ordenamiento espacial de cargas que generan el campo.

En un corte bidimensional a través de un campo eléctrico, los puntos del mismo potencial conforman una línea. El curso de tales líneas equipotenciales, como el curso de las líneas de campo, está determinado por el ordenamiento espacial de las cargas eléctricas que generan el campo eléctrico.

Usando una muestra inflamable, el potencial eléctrico alrededor de un objeto cargado eléctricamente puede ser investigado en las tres dimensiones y las superficies equipotenciales también se pueden determinar.

En el experimento P3.1.3.1 se emplean granos de arena en una cubeta llena de aceite para representar las líneas de campo. Los granos de arena se orientan en el campo eléctrico y se ordenan encadenas a lo largo de las líneas de campo. Para generar campos eléctricos con distintas distribuciones espaciales se dispone de 4 pares de electrodos diferentes montados debajo de la cubeta y en los cuales se aplica una alta tensión de 10 kV. Se trata de imágenes de secciones transversales de: dos esferas, una bola delante de una placa, un condensador de placas paralelas y un condensador esférico.

En el experimento P3.1.3.2 se miden las líneas equipotenciales para diferentes cuerpos cargados. A tal fin se aplica una tensión al par de electrodos situados en una cubeta electrolítica llena de agua destilada. Para evitar los desplazamientos del potencial por electrólisis en los electrodos se trabaja con voltaje alterno. Un voltímetro mide la diferencia de potencial entre el electrodo de 0 V y una aguja de acero sumergida en el agua. Para representar las líneas equipotenciales se busca los lugares con la misma diferencia de potencial para registrarlos en papel milimetrado. De esta manera es posible observar un corte bidimensional del campo eléctrico en: un condensador de placas, en un vaso de Faraday, en un dipolo, en una carga imagen y en una pequeña curvatura.

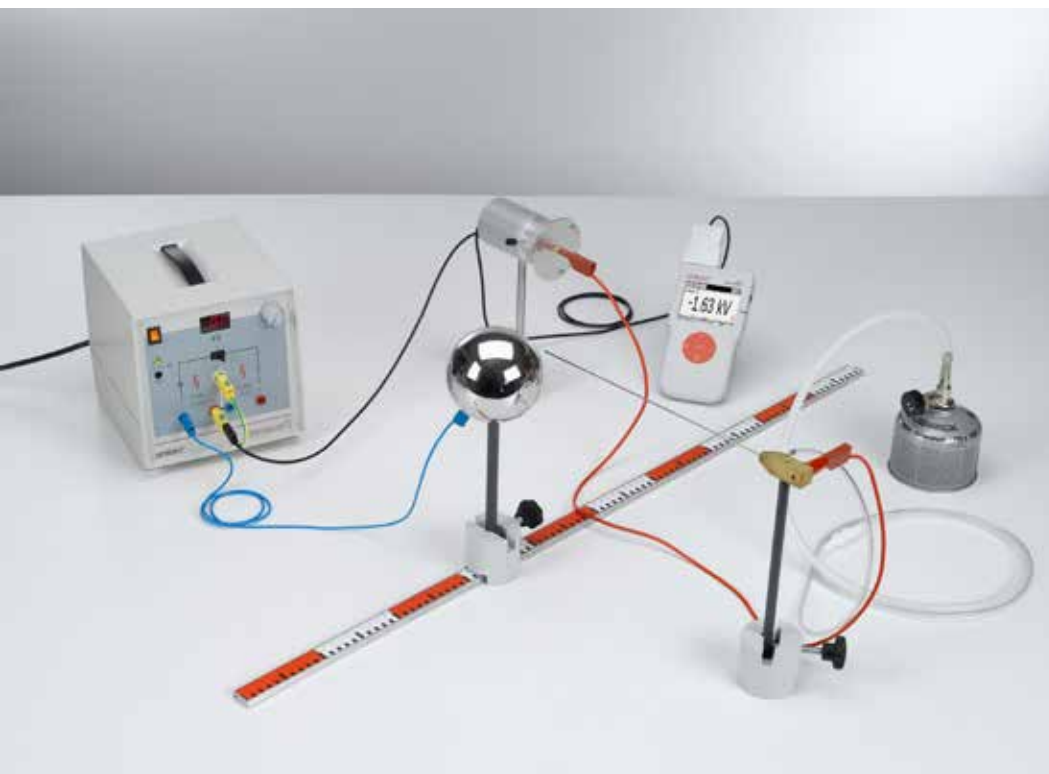
LÍNEAS DE FUERZA Y LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

P3.1.3.3

Medición del potencial dentro de un condensador de placas

P3.1.3.4

Medición del potencial alrededor de una esfera cargada



Medición del potencial alrededor de una esfera cargada (P3.1.3.4)

N° de cat.	Descripción	P3.1.3.3	P3.1.3.4
524 080	Sensor del campo eléctrico S	1	1
540 540	Accesorios para el sensor del campo eléc	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m	1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	
300 11	Zócalo	2	3
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	2	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	
500 600	Cable de seguridad, 10 cm, amarillo/verd	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1
667 193	Tubo PVC, 7 x 1,5 mm, 1 m	1	1
666 716	Válvula para cartucho de gas	1	1
666 715	Cartucho	1	1
543 021	Esfera sobre soporte aislante		1
500 95	6 Casquillos adaptador. de protección en		1

Usando una muestra inflamable, el potencial eléctrico alrededor de un objeto cargado eléctricamente puede ser investigado en las tres dimensiones y las superficies equipotenciales también se pueden determinar.

En el experimento P3.1.3.3 se estudia el potencial eléctrico de un condensador de placas. Las superficies equipotenciales paralelas a las placas del condensador son identificadas midiendo el potencial eléctrico en diferentes posiciones pero manteniendo la misma distancia a las placas del condensador. Además, la relación entre la variación del potencial eléctrico y la distancia a las placas del condensador es determinada y usada para calcular la intensidad de campo eléctrico.

El objetivo del experimento P3.1.3.4 es investigar el potencial eléctrico alrededor de una esfera cargada eléctricamente. Las superficies equipotenciales son capas esféricas concéntricas alrededor de la esfera cargada. Estas se identifican al medir el potencial eléctrico en diferentes posiciones pero manteniendo la misma distancia a la superficie de la esfera. Además, la relación entre la variación del potencial eléctrico y la distancia a la superficie de la esfera se determina y se usa para calcular la intensidad de campo eléctrico.



Medición del potencial dentro de un condensador de placa (P3.1.3.3)

INTERACCIÓN ELÉCTRICA

P3.1.4.2

Balanza de tensión de Kirchhoff:
Medición de la fuerza entre las placas
cargadas de un condensador de placas
- Medición con el sensor de fuerzas

P3.1.4.3

Medición de la fuerza entre una
esfera cargada y una placa de metal -
Medición con el sensor de fuerzas



Balanza de tensión de Kirchhoff: Medición de la fuerza entre las placas cargadas de un condensador de placas - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.4.2)

Nº de cat.	Descripción	P3.1.4.2	P3.1.4.3
516 37	Accesorios electrostáticos	1	1
516 31	Soporte de altura ajustable	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1	1
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	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
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	
500 620	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, amarillo/verde	1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico		1
541 22	Paño de cuero		1
500 440	Cable de experimentación 100 cm amarillo		1

En un campo eléctrico homogéneo la fuerza F sobre un cuerpo cargado es proporcional a la carga total Q y al campo eléctrico E . La fuerza viene dada por la relación

$$F = Q \cdot E$$

La fuerza en un campo eléctrico puede ser medida con un sensor de fuerzas conectado a un instrumento de medición. El sensor de fuerzas está compuesto de dos elementos de flexión montados en paralelo y con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, y que bajo carga cambian sus resistencias eléctricas. El cambio de las resistencias es proporcional a la fuerza actuante. El instrumento de medición indica directamente la fuerza que se está midiendo.

En el experimento P3.1.4.2 se monta una balanza de tensión de Kirchhoff para medir la fuerza

$$F = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{U^2}{d^2} \cdot A$$

$$\text{con } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{ (constante dieléctrica del vacío)}$$

entre las placas cargadas de un condensador de placas. La medición se lleva a cabo en función de la distancia d entre placas y de la tensión U para una determinada superficie A de placas. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{d^2} \text{ y } F \propto U^2$$

y la determinación de la constante dieléctrica del vacío ϵ_0 .

En el experimento P3.1.4.3 se estudia experimentalmente el principio de la carga imagen. Con tal finalidad se mide la fuerza de atracción sobre una esfera cargada que está situada delante de una placa metálica. La fuerza corresponde a la fuerza de una carga igual situada a una distancia $2d$ al otro lado de la placa. Esta fuerza está dada por

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{(2d)^2}$$

En primer lugar se mide la fuerza sobre una determinada carga Q en función de la distancia d . Finalmente se repite la medición con media carga. El objetivo del experimento es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{d^2} \text{ y } F \propto Q^2$$

INTERACCIÓN ELÉCTRICA

P3.1.4.4

Medición de la fuerza sobre una carga eléctrica en un campo eléctrico homogéneo - Medición con el sensor de fuerzas



Medición de la fuerza sobre una carga eléctrica en un campo eléctrico homogéneo - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.4.4)

N° de cat.	Descripción	P3.1.4.4
544 22	Condensador de placas	1
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 060	Sensor de fuerza S ₁ , ±1 N	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico	1
541 22	Paño de cuero	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

En el experimento P3.1.4.4 se deposita una carga Q sobre una plaquita metálica circular. La carga es la mayor carga posible obtenida por frotación de una varilla de plástico. La plaquita se encuentra en el campo eléctrico de un condensador de placas, paralela a éstas. Para verificar la proporcionalidad entre la fuerza y la intensidad de campo, se mide la fuerza F sobre la plaquita en función de la tensión del condensador, siendo conocida la distancia d entre placas. El campo eléctrico se obtiene de la relación

$$E = \frac{U}{d}$$

DISTRIBUCIONES DE CARGAS EN CONDUCTORES ELÉCTRICOS

P3.1.5.1

Estudio de la distribución de cargas sobre la superficie de conductores eléctricos

P3.1.5.2

Experimentos sobre influencia con las semiesferas de Cavendish



Experimentos sobre influencia con las semiesferas de Cavendish (P3.1.5.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.5.1	P3.1.5.2
543 071	Conductor cónico sobre soporte aislante	1	
546 12	Vaso de Faraday	2	
542 52	Plaquita de prueba de metal	1	
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
590 011	Enchufe de sujeción	1	
532 16	Barra de conexión	1	1
540 52	Aislador de experimentación	1	
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6	1	
300 11	Zócalo	1	3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1	1
501 42	Cable de experimentación, 100 cm, amaril	1	1
543 021	Esfera sobre soporte aislante		1
543 05	Par de hemisferios de Cavendish		1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		2
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm		1

En equilibrio estático, el interior de un conductor metálico o de un cuerpo hueco no contiene campos eléctricos y tampoco cargas eléctricas libres. Sobre la superficie conductora exterior se distribuyen las cargas libres, de tal manera que el campo eléctrico está distribuido por todo lugar perpendicular a la superficie y toda la superficie tiene el mismo potencial.

En el experimento P3.1.5.1, se recoge una carga eléctrica de una esfera metálica hueca cargada con una cuchara de carga y se mide con un medidor de culombio. Aquí se muestra que la densidad de carga es mayor, cuanto más pequeño es el radio de curvatura de la superficie. Además se verifica que del interior del cuerpo hueco no se puede tomar carga.

En el experimento P3.1.5.2 se lleva a cabo el histórico experimento de Cavendish. Sobre una base aislada se coloca una esfera de metal que está rodeada de dos semiesferas pero sin que estas se toquen. Si una de las semiesferas es cargada, entonces la carga se distribuye homogéneamente por ambas semiesferas, mientras que la esfera interior permanece sin carga. Si por el contrario se carga a la esfera interior y luego se la rodea con ambas semiesferas, entonces ambas semiesferas indican la misma carga; y la esfera interior, ninguna carga.



DEFINICIÓN DE CAPACITANCIA ELÉCTRICA

P3.1.6.1

Determinación de la capacitancia de una esfera en el espacio libre

P3.1.6.2

Determinación de la capacitancia de una esfera delante de una placa de metal

Determinación de la capacitancia de una esfera en el espacio libre (P3.1.6.1)

N° de cat.	Descripción	P3.1.6.1	P3.1.6.2
543 00	Juego de 3 esferas conductoras	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
546 12	Vaso de Faraday	1	1
590 011	Enchufe de sujeción	1	1
532 16	Barra de conexión	1	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1	1
300 11	Zócalo	2	3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1	1
501 43	Cable de experimentación, 200 cm, amaril	1	1
587 66	Placa de reflexión		1
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro		1

La diferencia de potencial U de un conductor cargado, aislado, situado en el espacio libre, respecto a un punto de referencia situado en el infinito es proporcional a la carga Q del cuerpo. Se escribe

$$Q = C \cdot U$$

en donde C es la capacidad del cuerpo. Así por ejemplo la capacidad de una esfera cargada de radio r en el espacio libre es

$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot r$$

pues la diferencia de potencial de la esfera cargada respecto a un punto de referencia situado en el infinito está dada por:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

$$\text{con } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} (\text{constante dieléctrica del vacío})$$

En el experimento P3.1.6.1 se determina la capacidad de una esfera en el espacio libre, cargando primero una esfera con una alta tensión U conocida y luego midiendo su carga Q con un electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. La medición se lleva a cabo con diferentes radios de esfera r . El objetivo de la evaluación es la confirmación de las proporcionalidades

$$Q \propto U \text{ y } C \propto r$$

En el experimento P3.1.6.2 se muestra que la capacidad de un cuerpo depende también de su entorno, como por ejemplo, de la distancia a otros conductores puestos a tierra. Para ello se colocan esferas de radio r , situadas a distancias s de la placa de metal puesta a tierra, para luego cargarlas con una alta tensión U . La capacidad de todo el montaje es entonces:

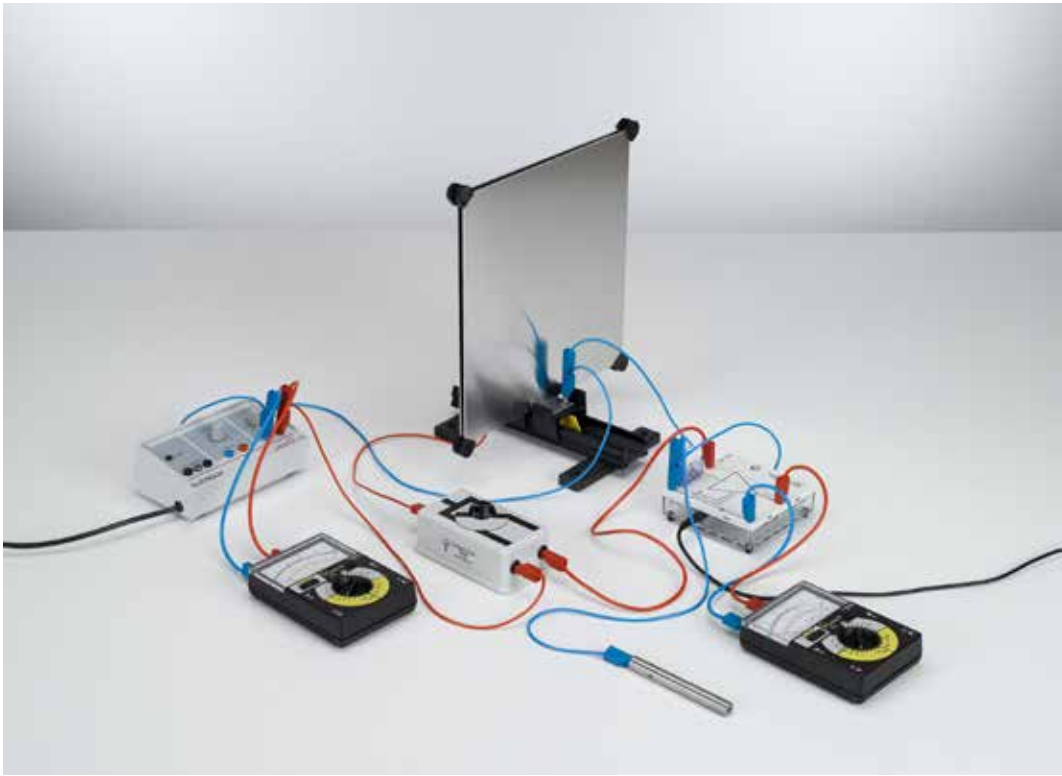
$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot r \cdot \left(1 + \frac{r}{2s}\right)$$

El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades entre la carga Q y la diferencia de potencial U para una distancia s cualquiera de las esferas a la placa de metal.

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.1
Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro

P3.1.7.2
Conexión en paralelo y en serie de condensadores - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro



Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro (P3.1.7.1)

N° de cat.	Descripción	P3.1.7.1	P3.1.7.2
544 23	Condensador desmontable	1	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1	1
504 48	Conmutador de inversión	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V	1	1
532 16	Barra de conexión	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	4	5
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	1

La forma más simple de construcción de un condensador es la de un condensador de placas. Su capacidad depende de la superficie de las placas A y de la distancia d entre ellas. Esta capacidad aumenta cuando se coloca un material entre las placas cuya constante dieléctrica es ϵ_r . La capacidad viene dada entonces por:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

con $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ (constante dieléctrica del vacío)

Esta relación es estudiada en el experimento P3.1.7.1 con una construcción de condensador de geometría variable. Aquí se dispone de condensadores de superficies $A = 40 \text{ cm}^2$ y $A = 80 \text{ cm}^2$ y de diferentes materiales dieléctricos que tienen forma de placas. La distancia entre placas se puede variar en pasos milimétricos.

En el experimento P3.1.7.2 se determina la capacidad total C del condensador montado, conectando ambos condensadores de placa en paralelo y luego en serie para una distancia fija entre placas para luego compararla con las capacidades C_1 y C_2 de cada uno. La evaluación verifica la conexión en paralelo de la relación

$$C = C_1 + C_2$$

y para la conexión en serie

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.3

Determinación de la capacitancia de un condensador de placas
- Medición de la carga con el amplificador D de medida I



Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador D de medida I (P3.1.7.3)

N° de cat.	Descripción	P3.1.7.3
544 22	Condensador de placas	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1
504 48	Conmutador de inversión	1
532 00	Amplificador D de medida I	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	3
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

En el cálculo de la capacidad de un condensador plano según la expresión

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

A : superficie de las placas

d : distancia entre placas

con $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ (constante dieléctrica del vacío)

se desprecia una parte del campo eléctrico que sobresale por sobre el borde del condensador y el hecho de que la energía almacenada sea mayor para una diferencia de potencial entre las placas dadas. Así por ejemplo, para un condensador de placas, con una de ellas puesta a tierra, y una superficie

$$A = \pi \cdot r^2$$

la capacidad viene descrita por

$$C = \epsilon_0 \left(\frac{\pi \cdot r^2}{d} + 3,7724 \cdot r + r \cdot \ln \left(\frac{\pi r}{d} \right) + K \right)$$

En el experimento P3.1.7.3 se mide, de la manera más precisa posible, la capacidad C de un condensador de placas en función de la distancia d entre placas. La medición se realiza en un condensador de placas de 13 cm de radio, cuya distancia entre placas se puede variar continuamente entre 0 y 70 mm. El objetivo de la evaluación es la representación de los valores medidos en la forma

$$C = f \left(\frac{1}{d} \right)$$

y su comparación con los valores teóricos.

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.4

Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas

P3.1.7.5

Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas en función de dieléctricos

P3.1.7.6

Medición de la intensidad del campo de una esfera cargada frente a una placa conductora (Carga de imagen)



Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas (P3.1.7.4)

Nº de cat.	Descripción	P3.1.7.4	P3.1.7.5	P3.1.7.6
524 080	Sensor del campo eléctrico S	1	1	1
540 540	Accesorios para el sensor del campo eléc	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1		1
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m	1	1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2	
500 600	Cable de seguridad, 10 cm, amarillo/verd	1		1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1		1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	
522 27	Fuente de alimentación 450 V		1	
504 45	Conmutador monopolar		1	
500 421	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, rojo		3	
500 422	Cable de experimentación 50 cm azul		1	
500 442	Cable de experimentación 100 cm azul		1	
543 021	Esfera sobre soporte aislante			1
311 02	Regla de metal, l = 1 m			1
300 11	Zócalo			2
500 95	6 Casquillos adaptador. de protección en			1

Con ayuda del medidor de campo eléctrico S, la intensidad de campo eléctrico E puede ser medida en un condensador de placas. La intensidad de campo eléctrico depende de la tensión aplicada U y de la distancia entre las placas del condensador:

$$E = \frac{U}{d}$$

Alternativamente, la intensidad de campo eléctrico E puede ser calculada a partir de la carga Q que recae sobre las placas del condensador:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}$$

En esta relación, E depende del área de las placas A y también de la permitividad, del medio que se encuentra entre las placas del condensador.

En el experimento P3.1.7.4, la dependencia entre la intensidad de campo eléctrico E , la tensión aplicada U y la distancia entre las placas del condensador d , es determinada. Primero, manteniendo la distancia d a un valor constante, el valor de la tensión aplicada U es variado y la intensidad de campo eléctrico es medido. Luego, la tensión U se mantiene a un valor constante y la relación entre la intensidad de campo eléctrico E y se determina la distancia entre las placas del condensador d .

El objetivo del experimento P3.1.7.5 es investigar la influencia de la permitividad ϵ_r sobre la intensidad de campo eléctrica. Primero, manteniendo el voltaje aplicado U constante, un material dieléctrico (vidrio, plástico) es colocado entre las placas del condensador, y la intensidad de campo eléctrico es medida. Luego, el condensador ya cargado eléctricamente es desconectado de la fuente de energía. Finalmente, el material dieléctrico es retirado y la intensidad de campo eléctrico es medida una vez más.

En el experimento P3.1.7.6 se mide la intensidad de campo eléctrico sobre la superficie de una placa conductora, colocada a una distancia r de una esfera cargada eléctricamente. El gradiente de campo en la parte anterior del la placa es equivalente al caso cuando una esfera con carga opuesta es situada a una distancia dos veces mas larga (carga imagen). Esto conduce a que la intensidad de campo eléctrico se duplique en comparación a una esfera independiente.



LEY DE OHM

P3.2.2.1

Comprobación de la ley de Ohm y medición de resistencias específicas

P3.2.2.2

Comprobación de la ley de Ohm - Medición con CASSY

Comprobación de la ley de Ohm y medición de resistencias específicas (P3.2.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.2.2.1	P3.2.2.2
550 57	Aparato para mediciones de resistencia	1	
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	2	
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	2	
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10		2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1
567 18	Placa de bobinado de alambre		1
550 46	Alambre de cromo-níquel, 0,25 mm Ø		1
579 331	Soporte enchufable STE		2
579 13	Interruptor basculante STE 2/19		1
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19		1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		1

En circuitos eléctricos de conductores metálicos se cumple la ley de Ohm con una muy buena aproximación:

$$U = R \cdot I$$

Es decir, la caída de tensión U en un conductor es proporcional a la corriente I del conductor. A la constante de proporcionalidad R se le denomina resistencia del conductor. Esta resistencia viene expresada por:

$$R = \rho \cdot \frac{s}{A}$$

ρ resistencia específica del material conductor

s longitud del alambre

A sección transversal del alambre

En el experimento P3.2.2.1 se verifica la proporcionalidad entre corriente y tensión en alambres metálicos diversos, de espesor y longitudes diferentes. También se calcula la resistencia específica del material de prueba.

En el experimento P3.2.2.2 se verifica la proporcionalidad entre corriente y tensión en alambre metálico mediante el sistema CASSY.

LEY DE KIRCHHOFF

P3.2.3.1
Medición de corriente y tensión en
resistencias conectadas en paralelo y
en serie



Medición de corriente y tensión en resistencias conectadas en paralelo y en serie (P3.2.3.1)

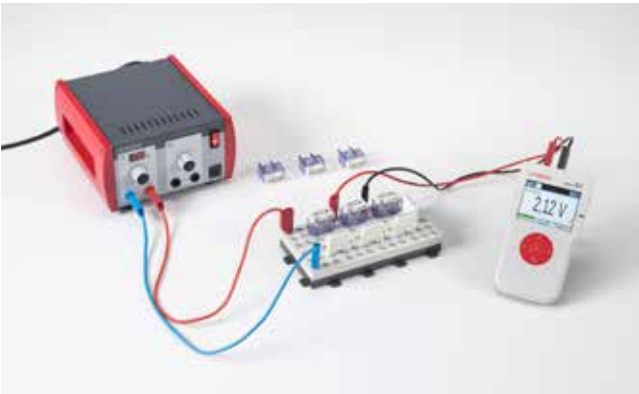
Nº de cat.	Descripción	P3.2.3.1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1
577 36	Resistencia 220 Ohmios, 1,4 W	1
577 38	Resistencia 330 Ohmios, 1,4 W	1
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19	1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1
577 53	Resistencia 5,6 kOhmios, 1,4 W	1
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W	1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	1

Para el cálculo de corrientes y tensiones parciales en circuitos ramificados son fundamentales las leyes de Kirchhoff. La llamada ley de los nudos nos dice que la suma de todas las corrientes que llegan a un punto de ramificación es igual a la suma de todas las corrientes que salen de este punto. De acuerdo con la ley de mallas, en el recorrido de un lazo cerrado en un sentido cualquiera, la suma de todas las tensiones es cero. La aplicación de las leyes de Kirchhoff consiste en establecer un sistema de ecuaciones lineales cuyas soluciones son las corrientes y tensiones parciales. Normalmente para medir resistencias eléctricas se utiliza casi exclusivamente el circuito de puente elaborado por Ch. Wheatstone en 1843. En el experimento P3.2.3.1 se verifica la validez de las leyes de Kirchhoff en circuitos de corriente con resistencias conectadas en paralelo y en serie. Se muestra que dos resistencias conectadas en serie tienen una resistencia total R

R = R1 + R2

mientras que para dos resistencias conectadas en paralelo la resistencia total R viene dada por la expresión

1/R = 1/R1 + 1/R2

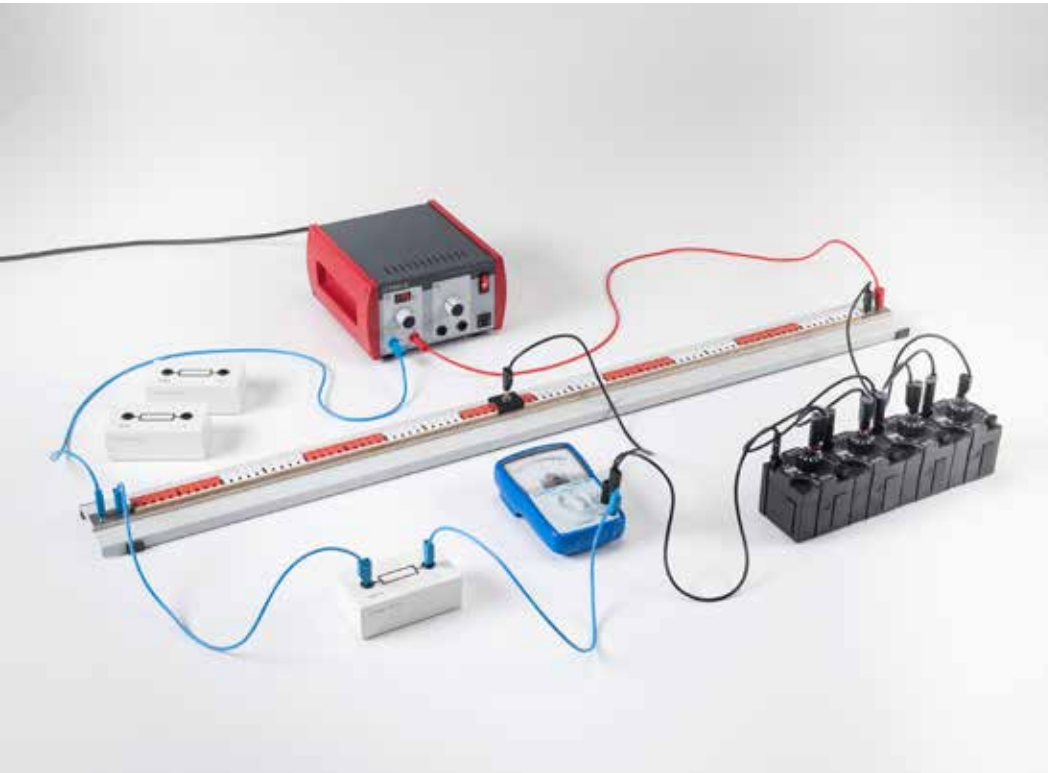


Medición de la corriente y el voltaje en una conexión en serie (P3.2.3.1)

LEY DE KIRCHHOFF

P3.2.3.4

Determinación de resistencias con el puente de Wheatstone



Determinación de resistencias con el puente de Wheatstone (P3.2.3.4)

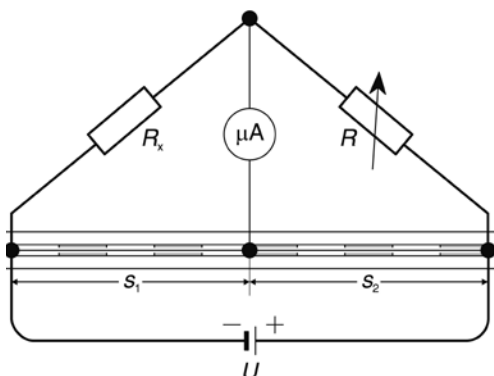
N° de cat.	Descripción	P3.2.3.4
536 02	Puente de medida	1
536 121	Resistencia de medida 10 Ohmios	1
536 131	Resistencia de medida 100 Ohmios	1
536 141	Resistencia de medida 1 kOhmio	1
536 776	Resistencia regulable por décadas 0...1	1
536 777	Resistencia regulable por décadas 0...10	1
536 778	Resistencia regulable por décadas 0...10	1
536 779	Resistencia regulable por décadas 0...1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
531 131	Galvanómetro PT 3204	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	2
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	3
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1

Normalmente para medir resistencias eléctricas se utiliza casi exclusivamente el circuito de puente elaborado por *Ch. Wheatstone* en 1843.

En el experimento P3.2.3.4 se aplica una tensión U a un alambre de 1 m de largo con sección transversal constante. Los extremos del alambre están unidos a una resistencia R_x desconocida y a una resistencia conocida R y variable conectada en serie a la anterior. Un contacto deslizante divide el alambre de medición en dos longitudes parciales s_1 y s_2 . El contacto deslizante está unido con el punto nodal entre R_x y R a través de un amperímetro usado como instrumento indicador del cero. Si la corriente en el amperímetro es cero entonces se cumple que

$$R_x = \frac{s_1}{s_2} \cdot R$$

Para este montaje experimental la mayor precisión en la medición se alcanza cuando el montaje es simétrico, es decir, cuando el contacto deslizante se encuentra en la mitad del alambre, o mejor dicho, cuando s_1 y s_2 tienen la misma longitud.



Esquema de conexiones del puente de Wheatstone (P3.2.3.4)

CIRCUITOS CON
INSTRUMENTOS DE
MEDICIÓN ELÉCTRICOS

- P3.2.4.1
El amperímetro como resistencia
óhmica en un circuito
- P3.2.4.2
El voltímetro como resistencia óhmica
en un circuito



El amperímetro como resistencia óhmica en un circuito (P3.2.4.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.2.4.1	P3.2.4.2
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1
577 33	Resistencia 82 Ohmios, 1,4 W	3	
577 52	Resistencia 4,7 kOhmios, STE 2/19	1	1
531 110	Multímetro LDanalog 10	2	2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	3	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	3	3
577 75	Resistencia 680 kOhmios, 0,5 W		1
577 71	Resistencia 220 kOhmios, 0,5 W		1

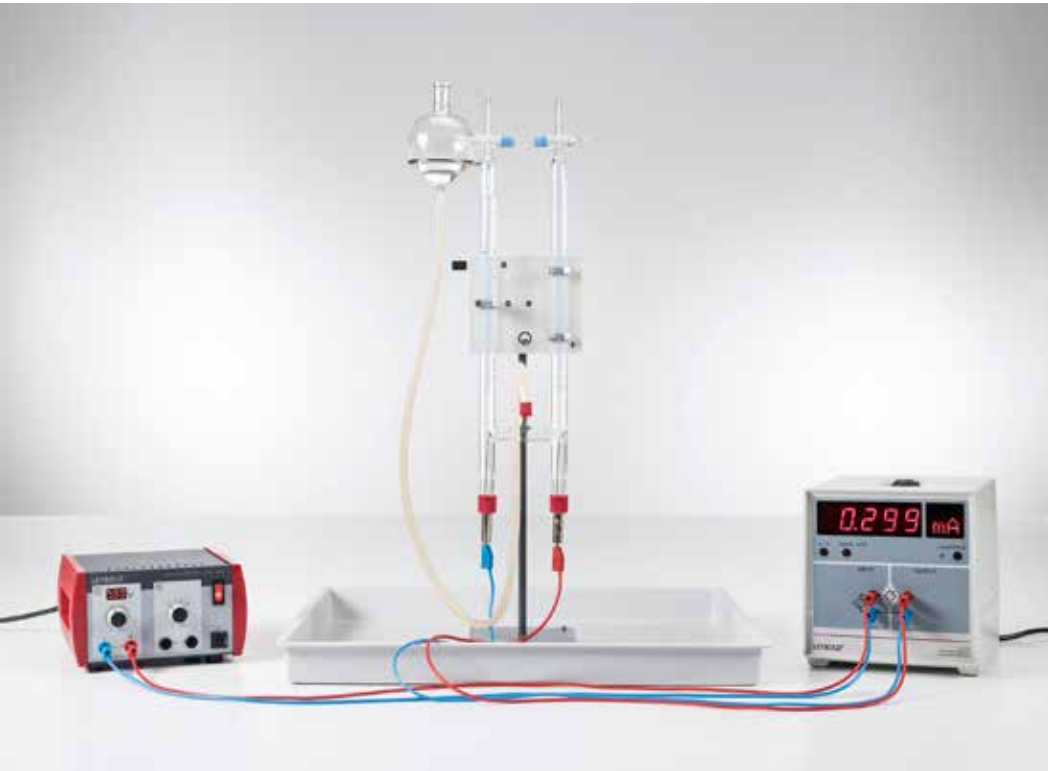
Una consecuencia importante de las leyes de Kirchhoff es el hecho de que la resistencia interna de los instrumentos de medición de corriente y tensión influye sobre la medición. Esto hace que un amperímetro aumente la resistencia total de un circuito eléctrico a causa de su propia resistencia interna y que por esta razón se mida una corriente más pequeña cuando la resistencia interna no es lo suficientemente pequeña como para ser despreciada. Un voltímetro mide una tensión más pequeña cuando su resistencia interna no es mayor que la resistencia en donde se mide la caída de tensión.

En el experimento P3.2.4.1 se determina la resistencia interna de un amperímetro midiendo la tensión que cae en el amperímetro durante la medición de la tensión. Por último se muestra que al conectar en paralelo al amperímetro una segunda resistencia cuyo valor concuerda con la resistencia interna, la desviación del amperímetro disminuye a la mitad, es decir, el rango de medición es ampliado al doble.

En el experimento P3.2.4.2 se determina la resistencia interna de un voltímetro midiendo la corriente que fluye a través de ella. Para ampliar el rango de medición al voltímetro se le conecta en serie una segunda resistencia de igual valor a su resistencia interna.

CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR ELECTRÓLISIS

P3.2.5.1
Determinación de la constante de Faraday



Determinación de la constante de Faraday (P3.2.5.1)

N° de cat.	Descripción	P3.2.5.1
664 350	Aparato de Hofmann para electrólisis	1
382 35	Termómetro -10 ...+50°C	1
531 832	Multímetro digital P	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
649 45	Bandeja 6 x 5 RE	1
674 7920	Acido sulfúrico, diluido, 500 ml	1

En una electrólisis los procesos de conducción están asociados con la precipitación de sustancias. La cantidad de sustancia precipitada es proporcional a la carga transportada Q que fluida hacia los electrolitos. Esta carga puede ser calculada por medio de la constante de Faraday F , una constante universal que está vinculada a la carga elemental e mediante el número de Avogadro N_A

$$F = N_A \cdot e$$

Si para la cantidad de sustancia se coloca el número de moles n y si se considera la valencia z de los iones precipitados se obtiene la relación

$$Q = n \cdot F \cdot z$$

En el experimento P3.2.5.1 se genera una determinada cantidad de hidrógeno con el aparato de Hofmann para determinar la constante de Faraday. Para los iones de hidrógeno la valencia z es igual a 1. El número de moles n de los átomos de hidrógeno precipitados se calcula con ayuda de la ecuación de gases ideales a partir del volumen V del hidrógeno molecular recolectado para una presión exterior p y una temperatura ambiente T :

$$n = 2 \cdot \frac{pV}{RT}$$

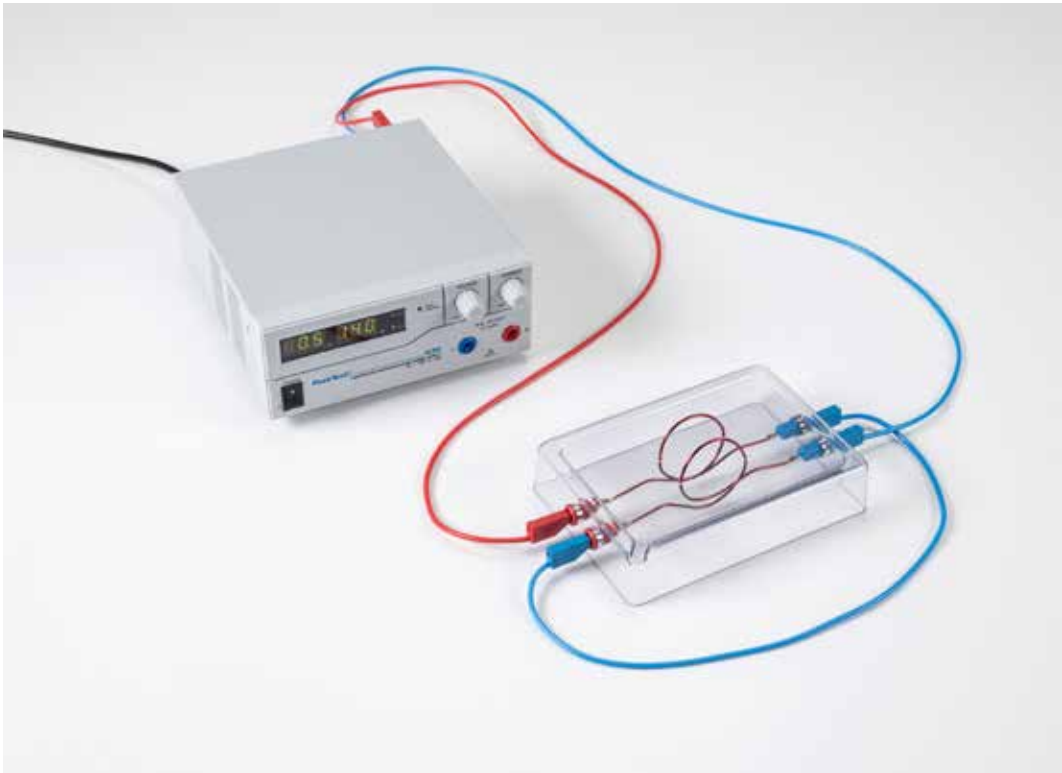
$$\text{con } R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \text{ (constante universal de los gases)}$$

Simultáneamente se mide el trabajo eléctrico W que se aplica en la electrólisis manteniendo una tensión constante U_0 . La cantidad de carga buscada resulta entonces de la relación:

$$Q = \frac{W}{U_0}$$

EXPERIMENTOS BÁSICOS DE
MAGNETOSTÁTICA

P3.3.1.1
Representación de las líneas de
campo magnético



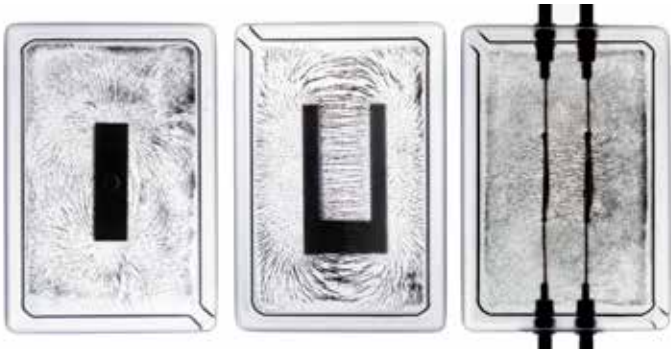
Representación de las líneas de campo magnético (P3.3.1.1)

N° de cat.	Descripción	P3.3.1.1
560 701	Juego de Aparatos para demostracion de c	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1
MIK 747085	BMS SyncCam 12MP	1*
	Adicionalmente se requiere: Computadora o aparato de visualización de imágenes	1

* se requiere adicionalmente

En la magnetostática se estudia la distribución espacial de campos magnéticos en las inmediaciones de imanes permanentes y corrientes estacionarias, así como el efecto de la fuerza del campo magnético sobre imanes y corrientes. Aquí se pueden llevar a cabo experimentos básicos con un equipo experimental muy simple.

Para representar campos magnéticos En el experimento P3.3.1.1 se utilizan limaduras de hierro dispersas sobre una superficie plana, para que estas se orienten a lo largo de las líneas de campo. De este modo se visualiza mejor el campo magnético de un conductor recto, el de un lazo conductor y el de una bobina.



Representación de las líneas de campo magnético (P3.3.1.1)

INTERACCIÓN MAGNÉTICA

P3.3.3.1

Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo de un imán de herradura

P3.3.3.2

Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en un campo magnético homogéneo - Registro con CASSY



Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo de un imán de herradura (P3.3.3.1)

N° de cat.	Descripción	P3.3.3.1	P3.3.3.2
510 22	Gran imán de herradura, incluye yugo	1	
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
516 34	Juego de bucles conductores para la medi	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 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
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	2
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	2
562 11	Núcleo en forma de U con yugo		1
562 14	Bobina de 500 espiras		2
562 25	Dispositivo adicional de zapata polar		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 0431	Caja de 30 amperios		1
531 183	Multímetro Digital 3340		1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A		1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul		3
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

A un sensor de fuerzas se sujetan lazos conductores para la medición de las fuerzas sobre conductores que transportan corriente y que están situados en un campo magnético. El sensor de fuerzas contiene dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, que bajo carga cambian su resistencia eléctrica de forma proporcional a la fuerza actuante. El sensor es conectado a la interface del sistema CASSY. Con el interfaz de la computadora CASSY se recomienda el uso de la unidad 30 Amperios para medir la corriente.

En el experimento P3.3.3.1 los lazos conductores se encuentran en el campo magnético de un imán de herradura. Aquí se mide la fuerza F en función de la intensidad de corriente I , de la longitud del conductor s y del ángulo α entre el campo magnético y el conductor. Se verifica la siguiente relación

$$F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin \alpha$$

En el experimento P3.3.3.2 se genera un campo magnético homogéneo mediante un electroimán con núcleo en U y un dispositivo adicional de zapata polar. Se mide la fuerza F en función de la intensidad de corriente I . Los resultados obtenidos de la medición con diferentes longitudes de conductor s se representan en conjunto en una gráfica para ser evaluados posteriormente.

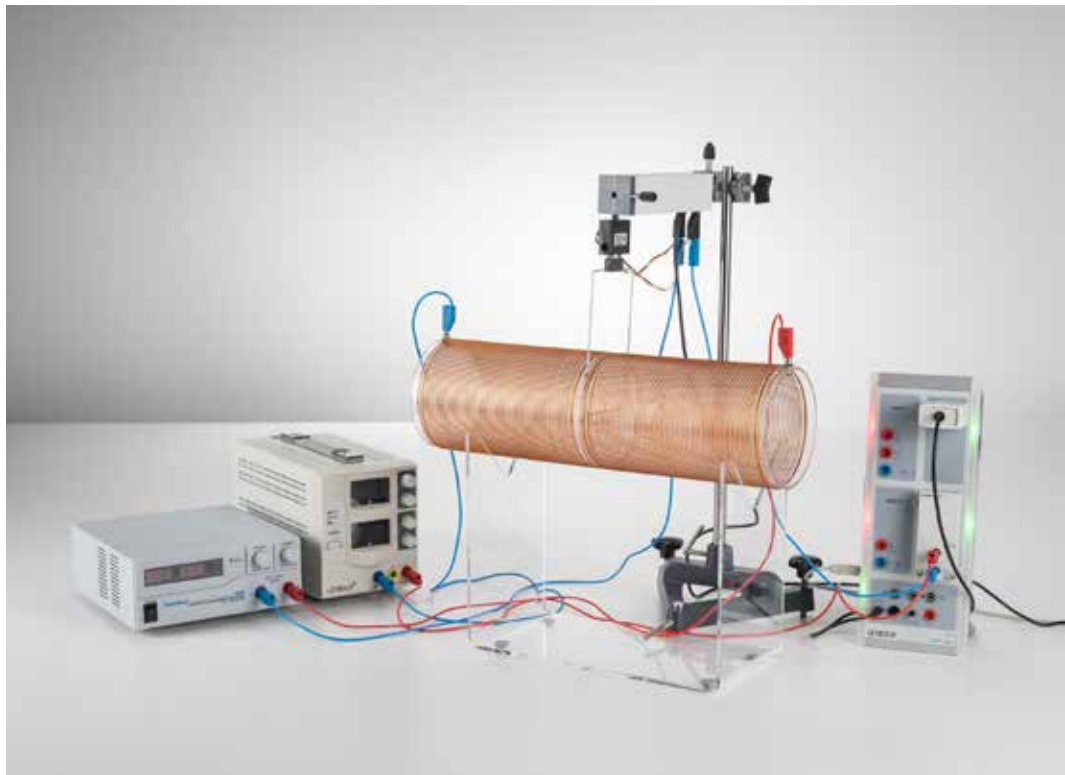
INTERACCIÓN MAGNÉTICA

P3.3.3.3

Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo magnético de una bobina - Registro con CASSY

P3.3.3.4

Mediciones básicas para la definición electrodinámica del amperio



Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo magnético de una bobina - Registro con CASSY (P3.3.3.3)

N° de cat.	Descripción	P3.3.3.3	P3.3.3.4
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
516 34	Juego de bucles conductores para la medi	1	
516 244	Bobina de excitación, 120 mm de diámetro	1	
516 249	Soporte para tubos y bobinas	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 0431	Caja de 30 amperios	1	
524 060	Sensor de fuerza $S_f \pm 1$ N	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	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
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	2	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	2	1
516 33	Bucles conductores para la definición el		1
516 31	Soporte de altura ajustable		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

A un sensor de fuerzas se sujetan lazos conductores para la medición de las fuerzas sobre conductores que transportan corriente y que están situados en un campo magnético. El sensor de fuerzas contiene dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, que bajo carga cambian su resistencia eléctrica de forma proporcional a la fuerza actuante. El sensor es conectado a la interface del sistema CASSY. Con el interfaz de la computadora CASSY se recomienda el uso de la unidad 30 Amperios para medir la corriente.

En el experimento P3.3.3.3 se implementa una bobina sin núcleo para generar un campo magnético. El campo magnético es calculado a partir de los parámetros de la bobina y luego comparado con el resultado obtenido de la medición de la fuerza.

El objetivo del experimento P3.3.3.4 es la definición electrodinámica del amperio. Aquí se define la intensidad de corriente como la fuerza ejercida entre dos conductores paralelos de largo infinito, por los que fluye la misma corriente. Si r es la distancia entre conductores, la fuerza por unidad de longitud del conductor está dada por:

$$\frac{F}{s} = \mu_0 \cdot \frac{I_1 I_2}{2\pi \cdot r}$$

En este ensayo se utilizan dos conductores de unos 30 cm de largo con una distancia entre ellos de algunos milímetros. Se mide la fuerza F para diferentes intensidades de corriente I y distancias r .

LEY DE BIOT-SAVART

P3.3.4.1

Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares

P3.3.4.2

Medición del campo magnético en una bobina sin núcleo

P3.3.4.4

Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares a bajas corrientes

P3.3.4.5

Medición del campo magnético en una bobina sin núcleo a bajas corrientes



Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares (P3.3.4.1)

N° de cat.	Descripción	P3.3.4.1	P3.3.4.2	P3.3.4.4	P3.3.4.5
516 235	Juego de 4 conductores de corriente	1		1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1			
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1		
460 21	Soporte para elemento enchufable	1		1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1		1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1		1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	1		1	
501 644	Juego de 6 acopladores, negros	1		1	
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	1
516 242	Bobina con densidad de espiras variable		1		1
516 249	Soporte para tubos y bobinas		1		1
524 0382	Sonda B axial S, ±1000 mT		1		
300 11	Zócalo		1		
524 0383	Sonda B axial S, ±0,3 mT			1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A			1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD			1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø			1	

En principio, aplicando la ley de Biot y Savart se puede calcular el campo magnético de cualquier conductor por donde fluye corriente. Sin embargo, también es posible especificar soluciones analíticas sólo para conductores con determinadas simetrías, por ejemplo, para un alambre recto de largo infinito, para un lazo conductor circular o para una bobina cilíndrica. En tales conductores es posible verificar fácilmente la ley de Biot y Savart.

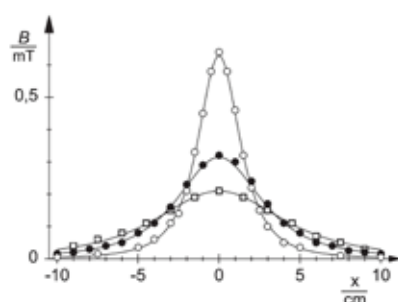
En el experimento P3.3.4.1 y P3.3.4.4 se mide el campo magnético de un conductor rectilíneo, con diferentes intensidades de corriente I , en función de la distancia r al conductor. Cuantitativamente se verifica la relación:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$$

Además, también se mide el campo magnético de bobinas circulares con diferentes radios R en función de la distancia x sobre un eje que pasa por el centro de la bobina. Los valores medidos se comparan con la relación

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I \cdot R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

Las mediciones se pueden llevar a cabo con una sonda B multiuso. Esta contiene dos sensores Hall: uno paralelo al eje de la sonda sensible y el otro perpendicular al eje de la sonda.

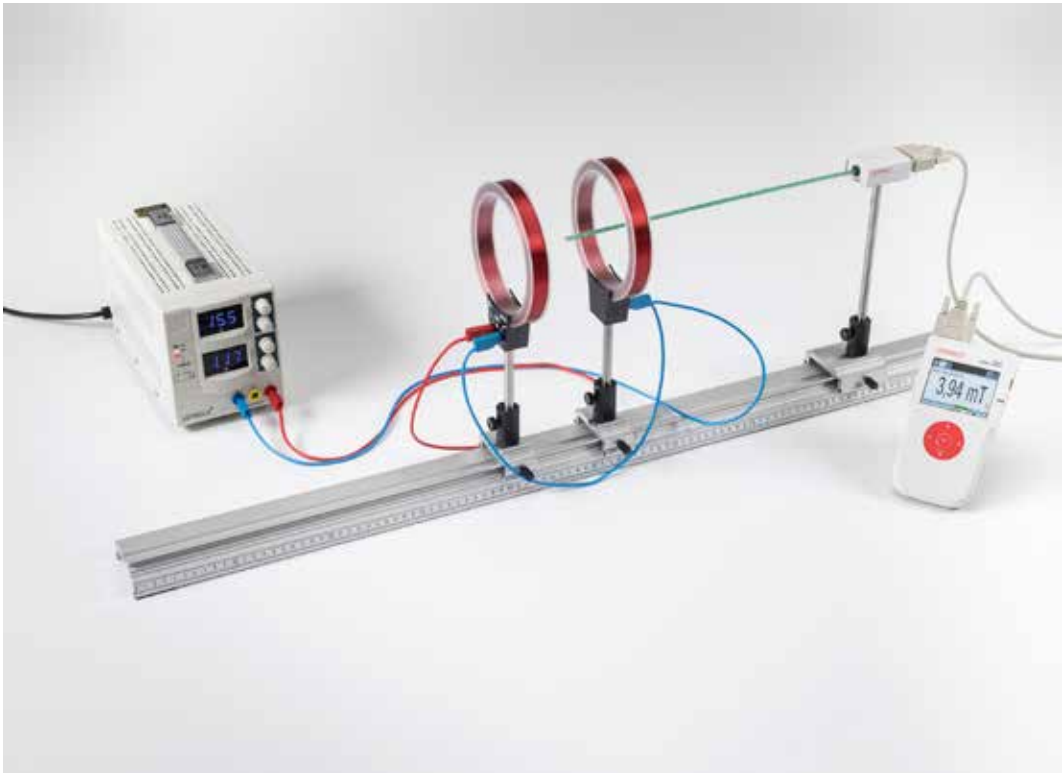


El conductor circular del campo magnético B forma bucles con el radio R en función de la coordenada espacial x (P3.3.4.1)

LEY DE BIOT-SAVART

P3.3.4.3
Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz

P3.3.4.6
Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz a bajas corrientes



Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz (P3.3.4.3)

N° de cat.	Descripción	P3.3.4.3	P3.3.4.6
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 0382	Sonda B axial S, ±1000 mT	1	
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	2
524 0383	Sonda B axial S, ±0,3 mT		1

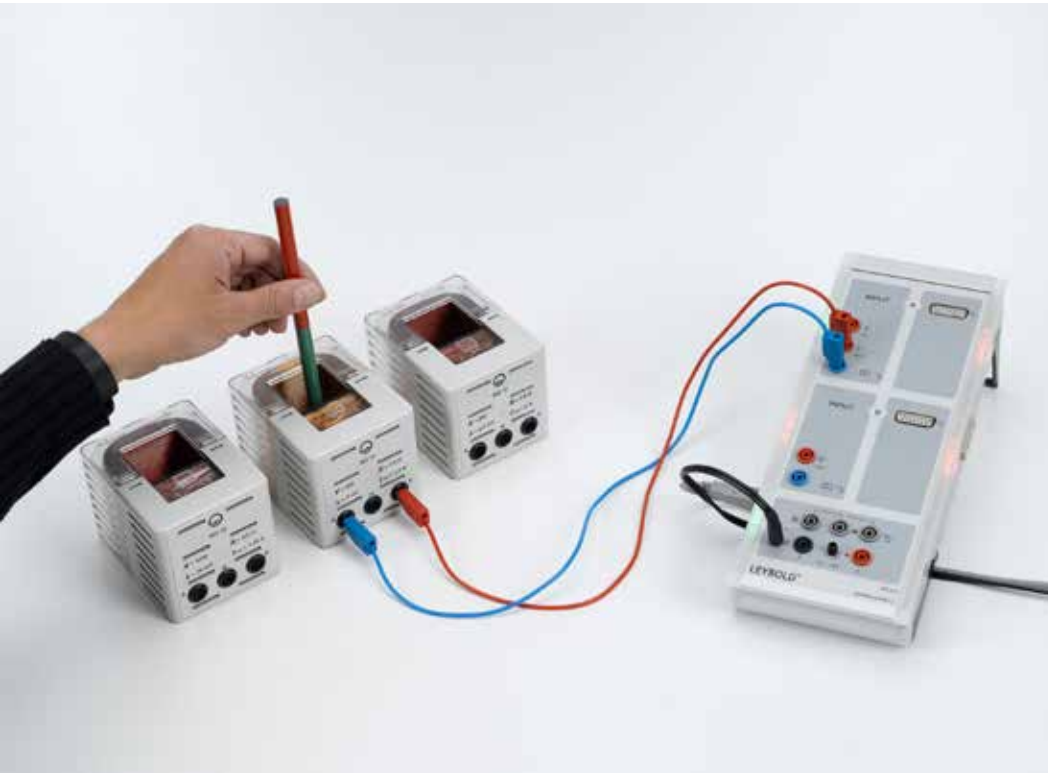
En principio, aplicando la ley de Biot y Savart se puede calcular el campo magnético de cualquier conductor por donde fluye corriente. Sin embargo, también es posible especificar soluciones analíticas sólo para conductores con determinadas simetrías, por ejemplo, para un alambre recto de largo infinito, para un lazo conductor circular o para una bobina cilíndrica. En tales conductores es posible verificar fácilmente la ley de Biot y Savart.

En el experimento P3.3.4.3 y P3.3.4.6 se estudia la homogeneidad del campo magnético en un par de bobinas de Helmholtz. Con tal propósito se registra el campo magnético en varias series de mediciones a lo largo del eje por el centro de la bobina, en donde la distancia a entre las bobinas varía de una serie de mediciones a otra. Si la distancia a concuerda con el radio de la bobina, entonces el campo magnético es independiente de la posición x del eje de la bobina.

IMPULSO DE TENSION

P3.4.1.1

Generación de un impulso de tensión en un lazo conductor con un imán permanente en movimiento



Generación de un impulso de tensión en un lazo conductor con un imán permanente en movimiento (P3.4.1.1)

N° de cat.	Descripción	P3.4.1.1
510 12	Par de barras imantadas	1
562 13	Bobina de 250 espiras	1
562 14	Bobina de 500 espiras	1
562 15	Bobina de 1000 espiras	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	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

Cada variación del flujo magnético Φ a través de un lazo conductor induce una tensión $\mathcal{U}$, cuya intensidad es proporcional a la variación del flujo. Tal variación del flujo es causada, por ejemplo, por el desplazamiento de un imán permanente a través de un lazo conductor fijo. En este caso es usual observar la tensión en función del tiempo

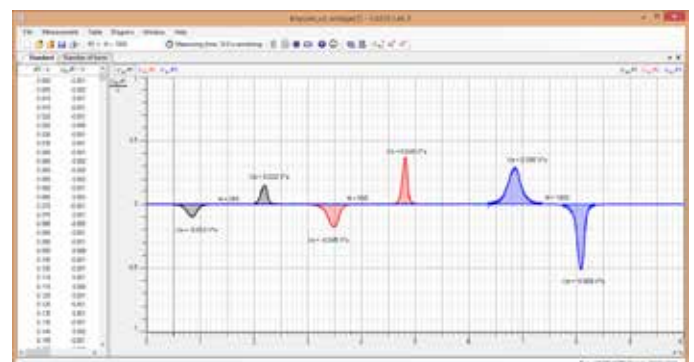
$$U = -\frac{d\Phi}{dt}$$

y el transitorio de tensión

$$\int_{t_1}^{t_2} U(t) dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

Este transitorio corresponde a la diferencia de flujos magnéticos antes y después de la variación.

En el experimento P3.4.1.1 se genera un transitorio de tensión introduciendo con la mano un imán de barra al interior de una bobina sin núcleo o sacándolo de la misma. Se mide la tensión U en función del tiempo y se evalúa el área bajo la señal. Esta área es independiente de la velocidad con que el imán se mueve, y es siempre igual al flujo Φ del imán permanente en el interior de la bobina, esto es, si la superficie de la bobina es la misma, el área bajo la curva es proporcional al número de espiras de la bobina.



Voltajes inducidos de un imán en movimiento (P3.4.1.1)

INDUCCIÓN EN UN LAZO CONDUCTOR EN MOVIMIENTO

P3.4.2.1
Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor movido por un campo magnético



Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor movido por un campo magnético (P3.4.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.4.2.1
516 40	Aparato inductor con bucles	1
510 48	Par de imanes	6
347 38	Motor de experimentación de 93 W	1
521 547	Fuente de alimentación CC 0 ... 30 V / 0 ... 5 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0401	Sensor de µV S	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

Si un lazo conductor de ancho constante b se desplaza con la velocidad

$$v = \frac{dx}{dt}$$

hacia fuera de un campo magnético B , el flujo magnético cambia en el tiempo dt en el valor

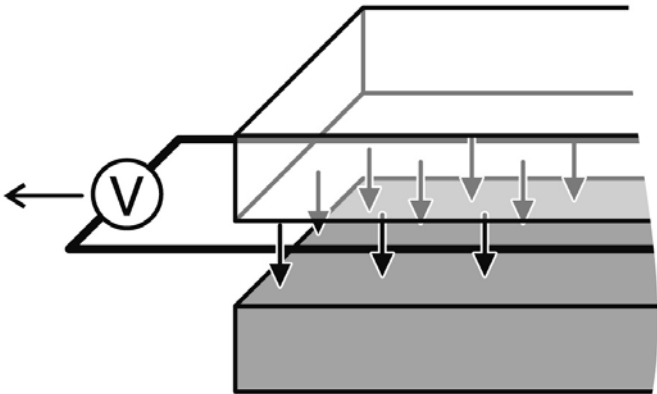
$$d\Phi = -B \cdot b \cdot dx$$

Debido a la variación del flujo en el lazo conductor se induce una tensión

$$U = B \cdot b \cdot v$$

En el experimento P3.4.2.1 un carrito es desplazado entre dos zapatas polares de un imán, sobre las cuales se han montado lazos inductores de diferentes anchos. Se mide la tensión de inducción U en función de la densidad de flujo magnético B , así como del ancho b y la velocidad v de los lazos inductores. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades:

$$U \propto B, U \propto b, U \propto v$$



Tensión de inducción en un bucle conductor desplazado (P3.4.2.1).

INDUCCIÓN CAUSADA POR UN CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE

P3.4.3.2

Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con Power-CASSY como fuente de corriente variable



Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con Power-CASSY como fuente de corriente variable (P3.4.3.2)

N° de cat.	Descripción	P3.4.3.2
516 249	Soporte para tubos y bobinas	1
516 244	Bobina de excitación, 120 mm de diámetro	1
516 241	Juego de 3 bobinas de inducción	1
524 011USB	Power-CASSY USB	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 0401	Sensor de μV S	1
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

Una variación temporal del campo magnético homogéneo B en el interior de una bobina con espiras N_1 y el área A_1 induce en la bobina la tensión

$$U = N_1 \cdot A_1 \cdot \frac{dB}{dt}$$

En el experimento P3.4.3.2 las bobinas de inducción de diferentes áreas y número de espiras son colocadas dentro de una bobina de forma cilíndrica, por la cual fluyen corrientes alternas de diferente frecuencia, amplitud y forma de señal. En la bobina las corrientes generan el campo magnético

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L_2} \cdot I$$

$$\text{con } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \text{ (permeabilidad magnética absoluta del vacío)}$$

en donde $I(t)$ es la intensidad de corriente que depende del tiempo, N_2 es el número de espiras y L_2 es la longitud total de la bobina. El curso temporal $U(t)$ de las tensiones inducidas en las bobinas inductoras es registrado con el sistema CASSY. Se estudia la dependencia del área y el número de espiras de las bobinas inductoras, así como la frecuencia, amplitud y forma de señal de la corriente de excitación.

TRANSFORMADOR

P3.4.5.1
Conversión de tensión y corriente
con un transformador

P3.4.5.2
Transformación de tensión con un
transformador bajo carga

P3.4.5.3
Registro de la tensión y corriente
en función del tiempo de un
transformador bajo carga



Voltage and current transformation with a transformer (P3.4.5.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.4.5.1	P3.4.5.2	P3.4.5.3
562 801	Transformador para prácticas de laborato	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2	
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1	1	
500 444	Cable de experimentación 100 cm negro	6	7	6
537 34	Reóstato de cursor 100 ohmios		1	1
459 23	Pantalla de vidrio acrílico sobre mango		1	
514 72	Rociador para limadura de hierro		1	
514 73	Limadura de hierro		1	
524 013	Sensor-CASSY 2			1
524 011USB	Power-CASSY USB			1
524 220	CASSY Lab 2			1
500 414	Cable de experimentación 25 cm negro			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1



Transformación de la tensión con un transformador en carga (P3.4.5.2)

La transformación de tensión en un transformador sin carga está dada por la relación entre el número de espiras

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ (en el caso que } I_2 = 0 \text{)}$$

independientemente de la construcción del transformador. La transformación de corriente cuando el transformador funciona en cortocircuito es inversamente proporcional a la relación entre el número de espiras

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \text{ (en el caso que } U_2 = 0 \text{)}$$

Por el contrario, el comportamiento bajo carga depende de la construcción especial del transformador. Este hecho puede ser muy bien explicado utilizando el transformador para prácticas.

Como alternativa al transformador para prácticas se dispone de un transformador desmontable con numerosas bobinas que se pueden ensamblar e intercambiar con facilidad por sobre la columna del núcleo en U. Naturalmente, los experimentos especificados para el transformador de prácticas (véase P3.4.5.1-3) también se pueden llevar a cabo en el transformador desmontable, junto con otros tres experimentos adicionales.

El objetivo del experimento P3.4.5.1 es la medición de la transformación de tensión de un transformador sin carga y la transformación de corriente de un transformador funcionando en cortocircuito. Simultáneamente se demuestra la diferencia entre un transformador de separación y un autotransformador.

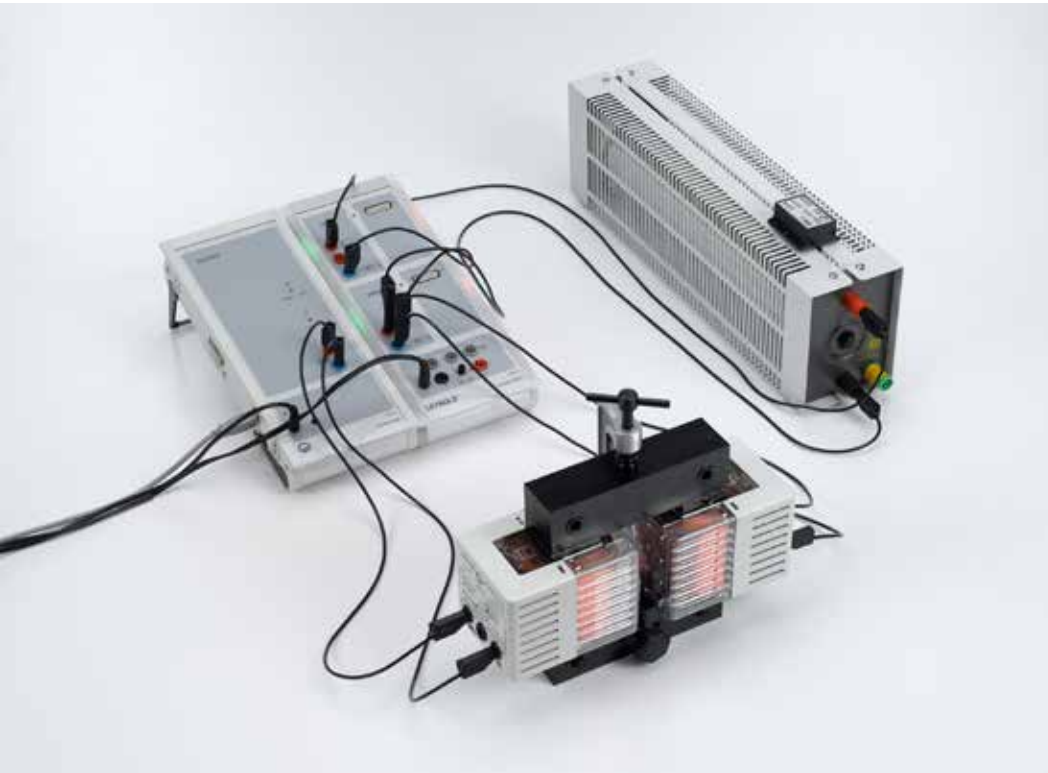
En el experimento P3.4.5.2 se estudia la relación entre la tensión del primario y la tensión del secundario en el caso de un transformador cargado «duro» y uno «blando». En ambos casos las líneas de campo magnético se visualizan mediante hierro en polvo sobre una placa de vidrio colocada sobre el transformador.

En el experimento P3.4.5.3, en un transformador con carga se registra la tensión del primario y del secundario, así como la corriente del primario y del secundario como variables dependientes del tiempo utilizando el sistema CASSY. El software de CASSY determina directamente las relaciones de fase entre las cuatro variables y calcula además, las potencias dependientes del tiempo en el circuito del primario y en el del secundario.

TRANSFORMADOR

P3.4.5.4

Transferencia de la potencia de un transformador



Transferencia de la potencia de un transformador (P3.4.5.4)

N° de cat.	Descripción	P3.4.5.4
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 011USB	Power-CASSY USB	1
524 220	CASSY Lab 2	1
537 34	Reóstato de cursor 100 ohmios	1
500 414	Cable de experimentación 25 cm negro	1
500 444	Cable de experimentación 100 cm negro	6
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

La transformación de tensión en un transformador sin carga está dada por la relación entre el número de espiras

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ (en el caso que } I_2 = 0 \text{)}$$

independientemente de la construcción del transformador. La transformación de corriente cuando el transformador funciona en cortocircuito es inversamente proporcional a la relación entre el número de espiras

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ (en el caso que } U_2 = 0 \text{)}$$

Por el contrario, el comportamiento bajo carga depende de la construcción especial del transformador. Este hecho puede ser muy bien explicado utilizando el transformador para prácticas.

Como alternativa al transformador para prácticas se dispone de un transformador desmontable con numerosas bobinas que se pueden ensamblar e intercambiar con facilidad por sobre la columna del núcleo en U. Naturalmente, los experimentos especificados para el transformador de prácticas (véase P3.4.5.1-3) también se pueden llevar a cabo en el transformador desmontable, junto con otros tres experimentos adicionales.

En el experimento P3.4.5.4 se estudia la transformación de potencia de un transformador. Con el sistema CASSY se mide simultáneamente los valores eficaces de la tensión del primario y la del secundario, así como la corriente del primario y la del secundario para una resistencia de carga variable R de 0 a 100 Ω usando el sistema CASSY; al mismo tiempo se determina el desplazamiento de fase entre la tensión y la corriente en el lado del primario y del secundario. Para la evaluación se calcula la potencia del primario P_1 , la potencia del secundario P_2 y la eficiencia

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

para construir después una gráfica en función de la resistencia de carga R .

MEDICIÓN DEL CAMPO
MAGNÉTICO DE LA TIERRA

P3.4.6.2
Medición del campo magnético
terrestre con una bobina de inducción
que gira y CASSY



Medición del campo magnético terrestre con una bobina de inducción que gira y CASSY (P3.4.6.2)

Nº de cat.	Descripción	P3.4.6.2
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
348 22	Eje de giroscopio	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0401	Sensor de µV S	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
666 615	Nuez universal	1
501 44	Par de cables 25 cm, rojo/azul	1

Un lazo inductor de forma circular de N espiras y de radio R gira en un campo magnético homogéneo B alrededor de su diámetro como eje, de manera que es atravesada por el flujo

$$\Phi(t) = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n(t) \cdot B$$

$$n(t): \text{vector normal al lazo que gira}$$

Para el caso de velocidad angular constante ω se cumple

$$\Phi(t) = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B_{\perp} \cdot \cos \omega t$$

Aquí B es el componente efectivo del campo magnético perpendicular al eje de giro. De la amplitud de la tensión inducida

$$U_0 = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B_{\perp} \cdot \omega$$

se puede determinar el componente del campo magnético. Para aumentar la precisión en la medición se elige la bobina más grande posible y una mayor velocidad angular posible.

En el experimento P3.4.6.2 el voltaje U(t), inducido en el campo magnético de la tierra, se mide en el sistema giratorio y se almacena o transmite de forma inalámbrica utilizando el sistema de medición del Mobile-CASSY basado en computadora. La amplitud y frecuencia de las señales registradas se utilizan para calcular el componente horizontal del campo magnético terrestre.

GENERADORES ELÉCTRICOS

P3.5.2.1

Generación de tensión alterna con generador de polos interiores (dínamo) y un generador de polos exteriores

P3.5.2.2

Generación de tensión continua con generador de polos exteriores

P3.5.2.3

Generación de tensión alterna con un generador de central eléctrica (generador con polo interior electromagnético)

P3.5.2.4

Generador de tensión con un generador de CA y CC (generador con polo exterior electromagnético)



Generación de tensión alterna con un generador de central eléctrica (generador con polo interior electromagnético) (P3.5.2.3)

N° de cat.	Descripción	P3.5.2.1	P3.5.2.2	P3.5.2.3	P3.5.2.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
727 81	Unidad Básica de Máquina	1	1	1	1
563 303	ELM Accionamiento manual	1	1	1	1
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	1	2	2
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1			
537 36	Reostato de cursor 1000 ohmios	1			
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1		1	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1		1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2	1	2	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2	1	1	2
563 23	ELM Rotor tripolar		1*		
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265		1*		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1*		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A			1	1

* se requiere adicionalmente

Los generadores eléctricos utilizan la inducción electromagnética descubierta por Faraday para convertir energía mecánica en energía eléctrica. Se diferencia entre generadores de polos exteriores (excitación del campo magnético en el estator, inducción en el rotor) y generadores de polos interiores (excitación del campo magnético en el rotor, inducción en el estator).

En el experimento P3.5.2.1 se montan ambas variantes de generadores con imanes permanentes y se mide la tensión alterna inducida U en función del número de revoluciones f del rotor. Además, para un número de revoluciones fijo se determina la potencia eléctrica P entregada en función de la resistencia de carga R .

En el experimento P3.5.2.2 se demuestra el uso de un conmutador para la rectificación de una tensión alterna generada en el rotor de un generador de polos exteriores. El número de semiondas rectificadas por vuelta del rotor aumenta si el rotor de dos polos se reemplaza por uno de tres polos.

En los experimentos P3.5.2.3 y P3.5.2.4 se estudian generadores en los que se ha sustituido a los imanes permanentes por electroimanes. En este caso la tensión inducida depende de la corriente de excitación. Con la corriente de excitación se puede variar la potencia entregada sin tener que variar el número de revoluciones del rotor y la frecuencia de la tensión alterna. Este principio se utiliza en los generadores de las centrales hidroeléctricas. En los generadores de corrientes alterna y continua, se puede tomar la tensión mediante un conmutador e incluso se puede rectificar.

MOTORES ELÉCTRICOS

P3.5.3.1

Estudio de un motor de corriente continua con rotor de dos polos

P3.5.3.2

Estudio de un motor de corriente continua con rotor de tres polos

P3.5.3.3

Estudio de un motor universal en conexión en derivación

P3.5.3.4

Montaje de un motor síncrono de corriente alterna



Estudio de un motor universal en conexión en derivación (P3.5.3.3)

N° de cat.	Descripción	P3.5.3.1	P3.5.3.2	P3.5.3.3	P3.5.3.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
727 81	Unidad Básica de Máquina	1	1	1	1
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1	1	1	1
451 281	Estroboscopio	1	1	1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	2
563 23	ELM Rotor tripolar		1	1*	
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	1	
314 151	Dinamómetro de precisión 2,0 N		1	1	
314 161	Dinamómetro de precisión 5,0 N		1	1	
309 50	Hilo para demostraciones, l = 20 m		1	1	
666 470	Soporte CPS con mordaza, regulable en al		1	1	
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	2	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			2	
563 303	ELM Accionamiento manual				1
726 501	Placa de enchufe de seguridad, 297 mm x 200 mm				1
579 13	Interruptor basculante STE 2/19				1
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba				1
505 181	Lámparas de incandescencia 24 V/3 W, E10, juego de 5				1

* se requiere adicionalmente

Para convertir energía eléctrica en energía mecánica los motores eléctricos utilizan la fuerza de los campos magnéticos sobre conductores por donde fluye corriente. Existe una diferencia entre motores asíncronos, en los cuales se suministra corriente alterna o continua al rotor mediante un conmutador, y motores síncronos que no tienen un conmutador y cuya frecuencia de giro está sincronizada con la frecuencia de la tensión aplicada.

En el experimento P3.5.3.1 se estudia el funcionamiento básico de un motor eléctrico con conmutador. El motor está construido de un imán permanente como estator y de un rotor de dos polos. El sentido de giro del rotor queda fijado debido a la polaridad de la corriente del rotor. Se mide la relación entre la tensión aplicada U y el número de revoluciones f_0 .

El objetivo del experimento P3.5.3.2 es el empleo de un rotor de tres polos. El rotor marcha independiente, ya que para cada posición del rotor en el campo magnético actúa un torque sobre el motor. Para registrar la curva del torque $M(f)$ se mide el número de revoluciones f del rotor en función de un contratorque M . Además se compara la potencia mecánica entregada con la potencia eléctrica absorbida.

En el experimento P3.5.3.3 se estudia el denominado motor universal, para el cual el campo del estator y el del rotor son excitados eléctricamente. Las bobinas del rotor y del estator se conectan en serie (excitación en serie) o en paralelo (excitación en derivación) a una fuente de alimentación común. El motor puede funcionar con tensión continua y con tensión alterna, ya que al cambiar la polaridad, el torque sobre el rotor no cambia. Para ambas conexiones se registra la curva del torque $M(f)$. Se muestra que el número de revoluciones de un motor excitado en derivación depende mucho menos de la carga que un motor conexión en serie.

En el experimento P3.5.3.4 se sincroniza la bobina del rotor del motor síncrono de corriente alterna a la frecuencia de la tensión aplicada mediante un accionamiento manual para que siga marchando por sí solo.

MÁQUINAS DE CORRIENTE TRIFÁSICA

P3.5.4.1

Estudio de un generador de polos exteriores de corriente trifásica

P3.5.4.2

Estudio de un generador de polos interiores de corriente trifásica

P3.5.4.3

Comparación entre conexiones en estrella y delta en un generador trifásico

P3.5.4.4

Montaje de motores síncronos y asíncronos de corriente trifásica



Comparación entre conexiones en estrella y delta en un generador trifásico (P3.5.4.3)

N° de cat.	Descripción	P3.5.4.1	P3.5.4.2	P3.5.4.3	P3.5.4.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
563 481	ELM Colección suplementaria	1	1	1	1
727 81	Unidad Básica de Máquina	1	1	1	1
563 303	ELM Accionamiento manual	1	1	1	
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	3	3	2	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	6	6	7	4
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1*	1*		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2*	2*		
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1*	1*		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A		1	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	3	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1	2	1
726 501	Placa de enchufe de seguridad, 297 mm x 200 mm			1	
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba			3	
505 14	Juego 10 lámparas de incandescencia 6V/3			1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10			1	
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros			3	3
563 12	ELM Rotor de cortocircuito				1
521 291	Transformador trifásico de tensión extrabaja				1

* se requiere adicionalmente

La realización técnica del suministro energético continúa siendo la generación de corriente alterna trifásica denominada comúnmente „corriente trifásica“. De aquí la importancia práctica de generadores y motores trifásicos. En principio, su funcionamiento concuerda totalmente con el de la máquina de corriente alterna. Como en las máquinas de corriente alterna, los generadores de polos exteriores se diferencian de los generadores de polos interiores, y los motores síncronos se diferencian de los motores asíncronos.

En el experimento P3.5.4.1 se realiza un montaje experimental simple para generar corriente trifásica con un generador de polos exteriores a partir de un rotor de tres polos que gira dentro de un campo magnético permanente.

En el experimento P3.5.4.2 se estudia la variante más frecuente del generador de polos interiores, en el que el campo magnético del rotor induce tensiones alternas en las bobinas del estator con desplazamiento de fase contrarias. En ambos casos se conecta un instrumento de medición entre dos tomas para medir la corriente y la tensión y observar el desplazamiento de fase cuando el rotor gira lentamente. Cuando el número de revoluciones es alto se utiliza un osciloscopio. En el experimento P3.5.4.3 a un generador trifásico se le conectan cargas en circuitos estrella y delta. En la conexión en estrella se verifica la relación

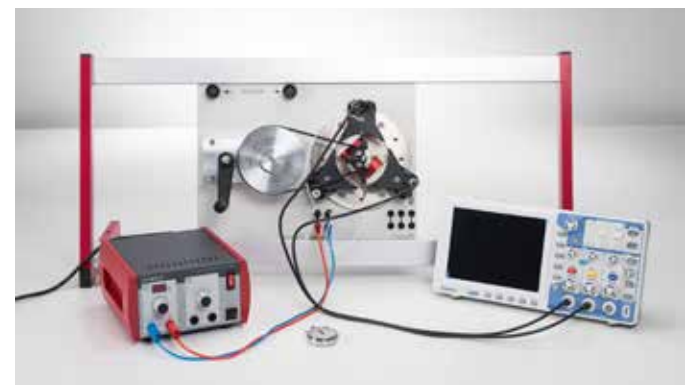
$$\frac{U_{aa}}{U_{a0}} = \sqrt{3}$$

para las tensiones U_{aa} entre dos conductores exteriores y las tensiones U_{a0} entre una línea exterior y la línea neutra. Para las corrientes I_1 que fluyen por la carga en un circuito delta y las corrientes I_2 que fluyen por las bobinas del generador se obtiene:

$$\frac{I_1}{I_2} = \sqrt{3}$$

En el experimento P3.5.4.4 se estudia el comportamiento de motores asíncronos y síncronos al variar el sentido de giro.

The experiment P3.5.4.4 examines the behavior of asynchronous and synchronous machines when the direction of rotation is reversed.



La visualización también puede hacerse con un osciloscopio (P3.5.4.2)

CIRCUITO CON CONDENSADOR

P3.6.1.1

Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua

P3.6.1.2

Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna

P3.6.1.3

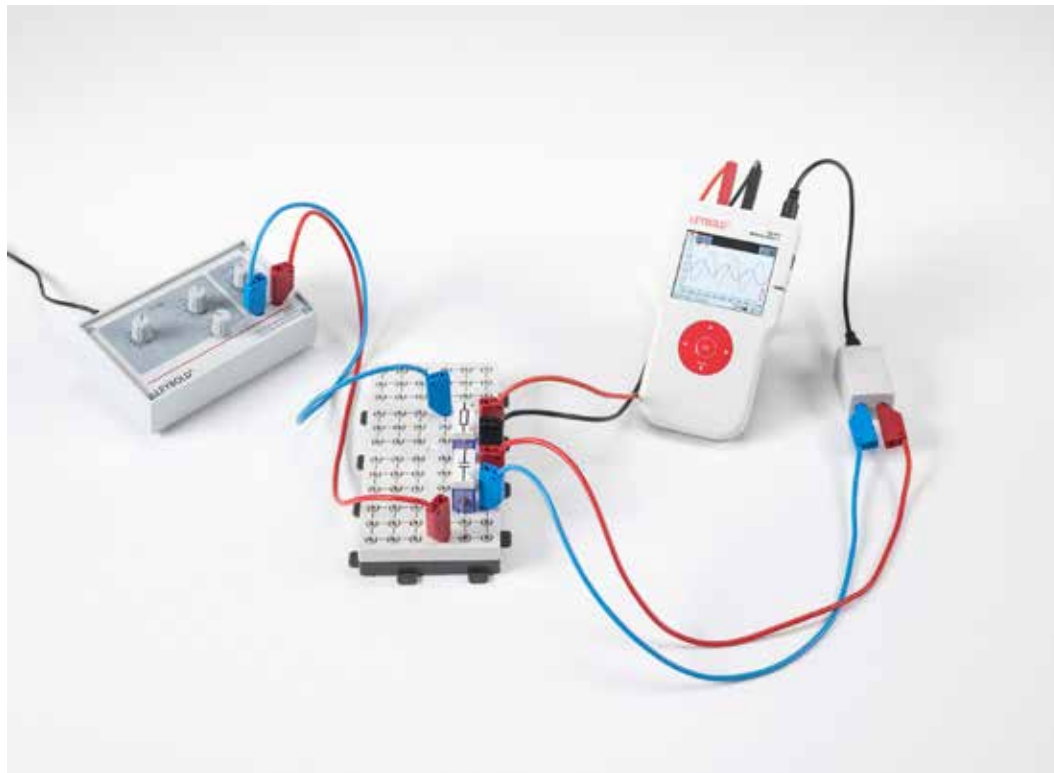
Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua - Medición con un multímetro

P3.6.1.4

Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.1.5

Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.1.5)

N° de cat.	Descripción	P3.6.1.1	P3.6.1.2	P3.6.1.3	P3.6.1.4	P3.6.1.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1
578 15	Condensador 1 μF , 100 V	3	3		3	3
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19	1			1	
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1			1	
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W	1			1	
522 621	Generador de funciones S 12	1	1		1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2			
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1		3	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1		2	2
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W		1			
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W		1			1
578 16	Condensador 4,7 μF , 63 V			1		
578 12	Condensador 10 μF , 100 V			1		
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W			1		
582 81	Conmutador STE 4/50			1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10			1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A			1		
531 120	Multímetro LDanalog 20			1		
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s			1		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo			2		
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			2		
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V				1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1

Para estudiar el comportamiento de condensadores en circuitos de corriente continua y corriente alterna con un osciloscopio de dos canales se mide la tensión U_C en un condensador y la corriente I_C que fluye por el condensador a partir de la caída de tensión en una resistencia óhmica R conectada en serie. Los circuitos requeridos para el experimento son montados sobre un tablero de conexiones del sistema de elementos de conexión STE. Un generador de funciones sirve como fuente de tensión de amplitud y frecuencias variables.

En el experimento P3.6.1.1 el generador de funciones genera señales rectangulares periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. Las señales rectangulares son representadas en el canal I del osciloscopio, la tensión o la corriente del condensador en el canal II. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = R \cdot C$$

para diferentes capacidades C a partir de la curva exponencial de la corriente de carga y descarga I_C .

En el experimento P3.6.1.2 a y P3.6.1.5 a este condensador se le aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y frecuencia f . La tensión $U_C(t)$ y la corriente $I_C(t)$ se representan simultáneamente en el osciloscopio. Se muestra que la corriente está adelantada a la tensión en 90° .

En el experimento P3.6.1.3 un gran condensador con una constante de tiempo largo se carga y se descarga lentamente. La curva de tensión se registra utilizando un multímetro y un cronómetro.

En el experimento P3.6.1.4 el generador de funciones genera señales de ondas cuadráticas periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. La corriente y la tensión se registran con el Mobile-CASSY 2. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = R \cdot C$$

para diferentes capacidades C a partir de la curva exponencial de la corriente de carga y descarga I_C .

En el experimento P3.6.1.5 a un condensador se le aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y la frecuencia f . La tensión $U_C(t)$ y la corriente $I_C(t)$ se registran en el Mobile-CASSY 2. Se muestra que la corriente está adelantada a la tensión en 90° .

CIRCUITO CON BOBINA

P3.6.2.1

Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua

P3.6.2.2

Determinación de la resistencia inductiva de una bobina en un circuito de corriente alterna

P3.6.2.3

Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua -
Medición con Mobile-CASSY

P3.6.2.4

Determinación de la resistencia inductiva de una bobina en un circuito de corriente alterna -
Medición con Mobile-CASSY



Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua -
Medición con Mobile-CASSY (P3.6.2.3)

N° de cat.	Descripción	P3.6.2.1	P3.6.2.2	P3.6.2.3	P3.6.2.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50	2	2	2	2
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W	1	1		
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W	1	1	1	1
577 24	Resistencia 22 Ohmios, 1,4 W	1		1	
577 28	Resistencia 47 Ohmios, STE 2/19	1		1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2		
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	3	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	2	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V			1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros			1	1

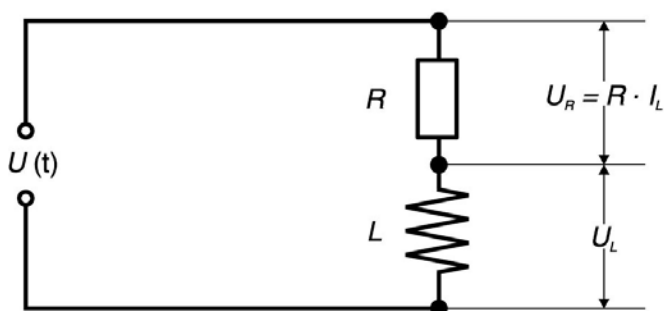
En el experimento P3.6.2.1 el generador de funciones genera señales rectangulares periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. Las señales rectangulares son representadas en el canal I del osciloscopio, la tensión de la bobina o la corriente de la bobina en el canal II. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = \frac{L}{R}$$

para diferentes inductancias L a partir de la curva exponencial de la tensión U_L en la bobina.

En el experimento P3.6.2.2 a y P3.6.2.4 est una bobina se aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y frecuencia f . La tensión $U_L(t)$ y la corriente $I_L(t)$ se representan simultáneamente en el osciloscopio. Se muestra que la corriente está atrasada respecto de la tensión en 90° .

En el experimento P3.6.2.3 el generador de funciones genera señales de ondas cuadráticas periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. La corriente y la tensión se registran con el Mobile-CASSY 2.



Esquema del cicuito básico (P3.6.2.2+4)

RESISTENCIAS DE CORRIENTE ALTERNA

P3.6.3.1

Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas

P3.6.3.2

Determinación de la impedancia en circuitos con bobinas y resistencias óhmicas

P3.6.3.3

Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y bobinas

P3.6.3.4

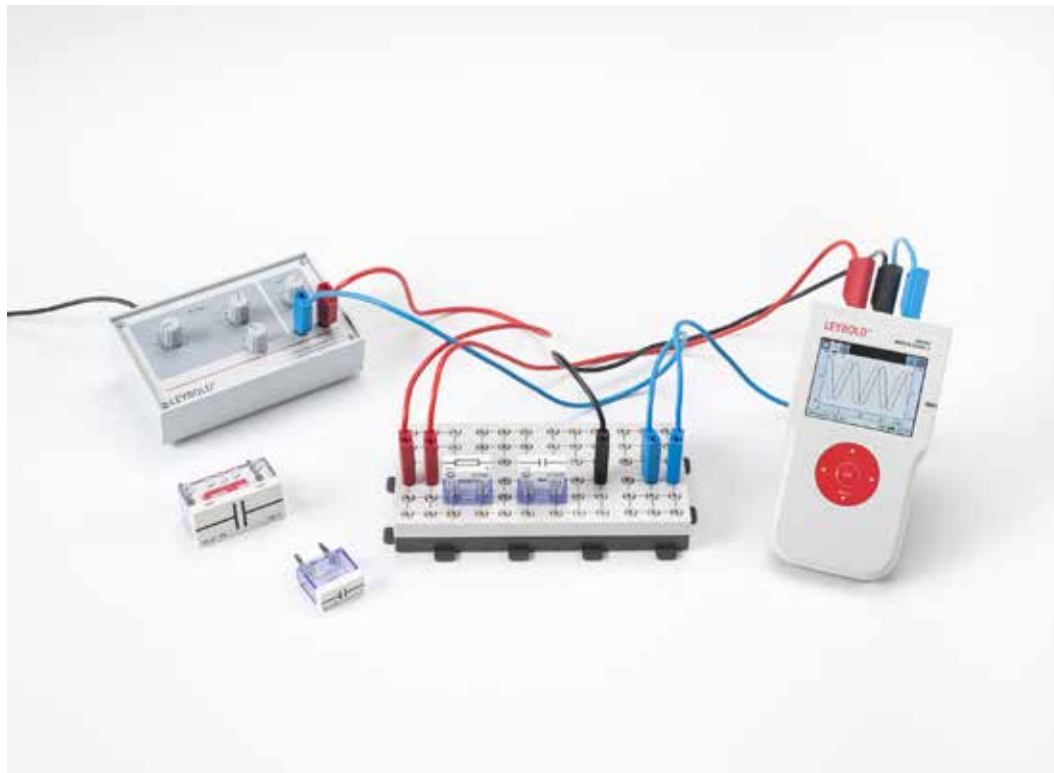
Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.3.5

Determinación de la impedancia en circuitos con bobinas y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.3.6

Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y bobinas - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.3.4)

Nº de cat.	Descripción	P3.6.3.1	P3.6.3.2	P3.6.3.3	P3.6.3.4	P3.6.3.5	P3.6.3.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1	1
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W	1	1				
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1	1	1
578 12	Condensador 10 µF, 100 V	1			1		
578 15	Condensador 1 µF, 100 V	1		1	1		1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V	1			1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2	2			
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	2	2	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	2	2	2
590 83	Bobina de 500 espiras STE 2/50		1	1		1	1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50		1	1		1	1
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W			1			1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V			1			1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1	1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V						1

En el experimento P3.6.3.1 se combina una resistencia R con una capacidad C y en el experimento P3.6.3.2 con una inductancia L . Para una conexión en serie se verifica la relación

$$Z_s = \sqrt{R^2 + Z_l^2} \text{ y } \tan \varphi_s = \frac{Z_l}{R}$$

$$\text{con } Z_l = -\frac{1}{2\pi f \cdot C} \text{ o } Z_l = 2\pi f \cdot L$$

y para una conexión en paralelo se verifica la expresión

$$\frac{1}{Z_p} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{Z_l^2}} \text{ y } \tan \varphi_p = \frac{R}{Z_l}$$

En el experimento P3.6.3.3 se estudia un circuito oscilatorio conectando en serie y en paralelo una capacidad y una inductancia.

Su resistencia en el caso de resonancia es infinita, es decir, para una tensión dada U la corriente total I en la alimentación es cero, ya que las corrientes individuales I_C y I_L son iguales y están en sentido contrario una respecto a la otra.

En el experimento P3.6.3.4 se combina una resistencia R con una capacidad C y en el experimento P3.6.3.5 con una inductancia L . Para una conexión en serie se verifica la relación y para una conexión en paralelo se verifica la expresión.

En el experimento P3.6.3.6 se estudia un circuito oscilatorio conectando en serie y en paralelo una capacidad y una inductancia. La resistencia total de la conexión en serie desaparece para el caso de resonancia es decir, para una corriente dada I , la tensión total U en el condensador y bobina es cero, porque las tensiones individuales U_C y U_L son iguales y tienen sentidos opuestos. Para la conexión en paralelo se cumple.

En un circuito de corriente alterna se mide con un osciloscopio de dos canales la corriente $I(t)$ y la tensión $U(t)$ como variables dependientes del tiempo. Un generador de funciones sirve como fuente de tensión de amplitud U_0 variable y frecuencia f variable. A partir de las variables medidas se determina el valor absoluto de la resistencia total

$$Z = \frac{U_0}{I_0}$$

y el desplazamiento de fase φ entre la corriente y la tensión.

CIRCUITOS DE MEDICIÓN CON PUENTE

P3.6.4.1

Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien

P3.6.4.2

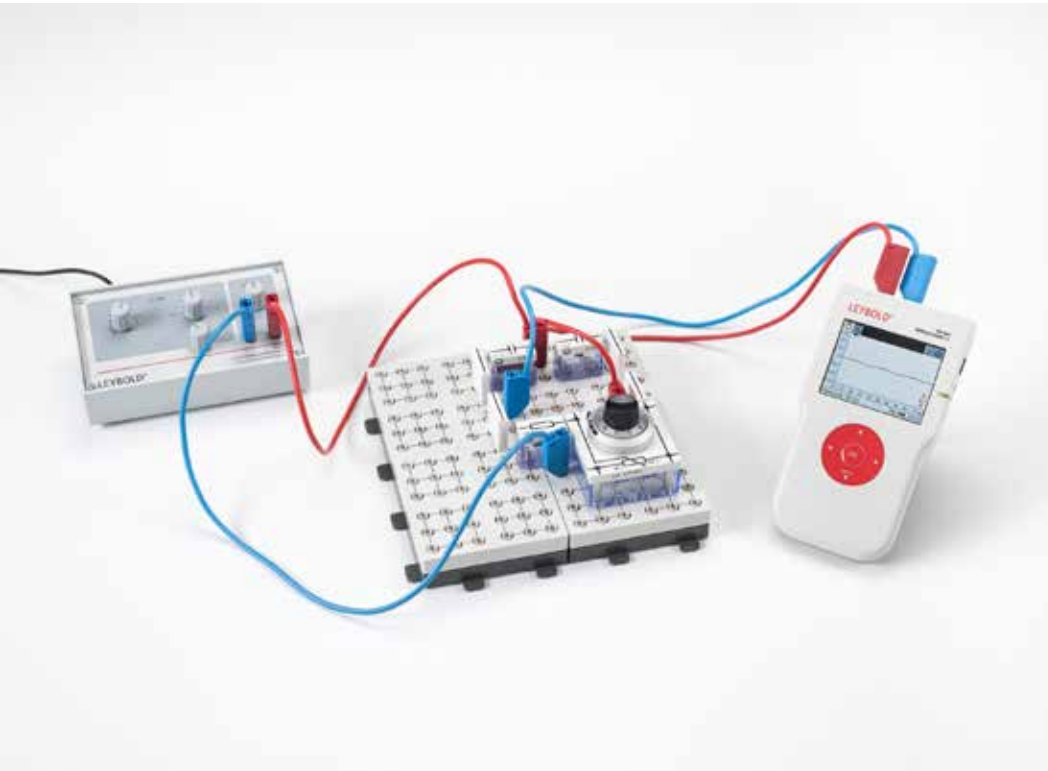
Determinación de las resistencias inductivas con un puente de medición de Maxwell

P3.6.4.3

Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.4.4

Determinación de las resistencias inductivas con un puente de medición de Maxwell - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.4.3)

N° de cat.	Descripción	P3.6.4.1	P3.6.4.2	P3.6.4.3	P3.6.4.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	2	2	2	2
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1
577 93	Potenciometro de 10 pasos 1 kOhmios	1	2	1	2
578 15	Condensador 1 µF, 100 V	1		1	
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	1	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	1	1	1
590 83	Bobina de 500 espiras STE 2/50		1		1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50		1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros			1	1

El puente de medición de Wheatstone es óptimo para determinar resistencias óhmicas en circuitos de corriente continua o alterna. En circuitos analógicos de puentes se pueden determinar resistencias capacitivas e inductivas. Estos puentes de medición se componen de cuatro ramas pasivas conectadas en forma de un rectángulo; una rama medir el cero con un instrumento indicador y otra rama de alimentación con la fuente de tensión. Ajustando los elementos variables en la rama del puente, la corriente del indicador de la rama de medición es puesta a cero. Entonces para las resistencias participantes la condición fundamental del ajuste a cero es

$$Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

de la cual se calcula la variable a medir.

En el experimento P3.6.4.1 y P3.6.4.3 se estudia el principio del puente de medición de Wien para medir una resistencia capacitiva Z_1 . Aquí Z_2 es una resistencia capacitiva fija, Z_3 una resistencia óhmica fija y Z_4 una resistencia óhmica y Z_4 una resistencia variable óhmica. Independiente de la frecuencia de la tensión alterna, en el ajuste a cero se cumple que

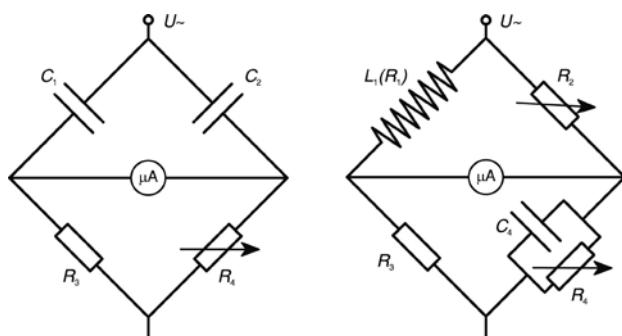
$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Como indicador del cero también se puede utilizar Mobile-CASSY.

En el experimento P3.6.4.2 y P3.6.4.4 se monta un puente de medición de Maxwell para determinar una resistencia inductiva Z_1 . El circuito es un poco más complicado porque se debe compensar la componente óhmica de Z_1 . Aquí Z_2 es una resistencia óhmica variable, Z_3 es una resistencia óhmica fija y Z_4 un circuito en paralelo compuesto de una resistencia capacitiva y una resistencia óhmica variable. En el ajuste a cero se cumple para la componente inductiva

$$2\pi f \cdot L_1 = R_2 \cdot R_3 \cdot 2\pi f \cdot C_4$$

f : frecuencia de la tensión alterna



Circuitos conceptuales: Puente de Wien - Puente de Maxwell (P3.6.4.1-4)

TRABAJO ELÉCTRICO Y POTENCIA ELÉCTRICA

P3.6.6.1

Determinación de la potencia térmica de una carga óhmica en un circuito de corriente alterna en función de la tensión aplicada



Determinación de la potencia térmica de una carga óhmica en un circuito de corriente alterna en función de la tensión aplicada (P3.6.6.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.6.6.1
384 21	Funda para calorímetro	1
384 22	Alambre calefactor para tapa de calorímetro	1
384 52	Calorímetro de aluminio	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	4

Entre la potencia P , en una resistencia R óhmica, y la tensión continua aplicada U existe la relación

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Lo mismo se cumple para tensiones alternas, si P es la potencia promediada en el tiempo y donde U es reemplazada por su valor de media cuadrática

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

U_0 : amplitud de la tensión alterna

La relación

$$P = U \cdot I$$

también puede ser aplicada a resistencias óhmicas en circuitos de corriente alterna, si la corriente continua I es reemplazada por el valor de media cuadrática de la corriente

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

I_0 : amplitud de la corriente alterna

La potencia eléctrica de una tensión $U(t)$ en una resistencia de carga también depende del tiempo:

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

$I(t)$: corriente dependiente del tiempo

que pasa a través de la resistencia de carga

Para tensiones y corrientes periódicas mayormente se toma en cuenta la potencia promediada en un periodo T . Estas magnitudes denominadas frecuentemente potencia activa P_W y se puede medir electrónicamente cualquier tensión continua y alterna con el julímetro y vatímetro.

En el experimento P3.6.6.1 se determina la potencia eléctrica de un calefactor de inmersión, apropiado para pequeñas tensiones, a partir del calor del julímetro emitido por unidad de tiempo. Esta potencia es comparada con la tensión U_{rms} aplicada. Se verifica la relación

$$P : U_{\text{ef}}^2$$

TRABAJO ELÉCTRICO Y POTENCIA ELÉCTRICA

P3.6.6.3
Comparación cuantitativa entre las potencias de corriente continua y de corriente alterna en una lámpara incandescente

P3.6.6.4
Determinación de los factores de cresta de diferentes formas de señales de corriente alterna

P3.6.6.5
Determinación de la potencia activa y la potencia reactiva en circuitos de corriente alterna



Determinación de la potencia activa y la potencia reactiva en circuitos de corriente alterna (P3.6.6.5)

N° de cat.	Descripción	P3.6.6.3	P3.6.6.4	P3.6.6.5
531 831	Juliómetro y vatímetro	1	1	1
505 14	Juego 10 lámparas de incandescencia 6V/3	1		
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	2		
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1		
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1		
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2		
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2		
522 621	Generador de funciones S 12		1	
536 131	Resistencia de medida 100 Ohmios		1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265		1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par		2	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna/corriente continua 0... 24 V / 5 A			1
537 35	Reóstato de cursor 330 ohmios			1
517 021	Condensador 40 µF			1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo			1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte			1
562 15	Bobina de 1000 espiras			1
575 35	Adaptador BNC/clavijero de 4 mm, 2 polos			1
504 45	Conmutador monopolar			1
500 421	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, rojo			2
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul			2

En el experimento P3.6.6.3 se encienden dos lámparas incandescentes del mismo tipo y que tienen la misma potencia eléctrica: una de ellas con tensión continua y la otra con tensión alterna. La igualdad de la potencia se verifica directamente con el juliómetro y vatímetro y también al comparar las intensidades luminosas. Esta igualdad se obtiene cuando el valor de la tensión continua es igual al valor eficaz de la tensión alterna.

En el experimento P3.6.6.4 se determina experimentalmente los factores de cresta, es decir, los cocientes de la amplitud U_0 y el valor eficaz U_{rms} para diferentes formas de señales de tensión alterna generadas con un generador de funciones. La amplitud se mide con un juliómetro y vatímetro conectados a una PC. El valor de la media cuadrática se calcula de la potencia P medida con el juliómetro y vatímetro en una resistencia óhmica R según

$$U_{eff} = \sqrt{P \cdot R}$$

En el experimento P3.6.6.5 se mide la corriente I_{rms} que fluye por una carga manteniendo la tensión alterna P_w constante y se mide también la potencia U_{rms} . Para verificar la relación:

$$P_w = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

se determina el desplazamiento de fase φ entre la tensión y la corriente. El experimento muestra además que la potencia activa es cero en el caso de una carga puramente inductiva o capacitiva, ya que el desplazamiento de fase es $\varphi = 90^\circ$. En este caso, la potencia aparente

$$P_s = U_{ef} \cdot I_{ef}$$

es denominada también potencia reactiva.

CIRCUITO DE OSCILACIÓN

ELECTROMAGNÉTICO

P3.7.1.1

Oscilaciones electromagnéticas libres



Oscilaciones electromagnéticas libres (P3.7.1.1)

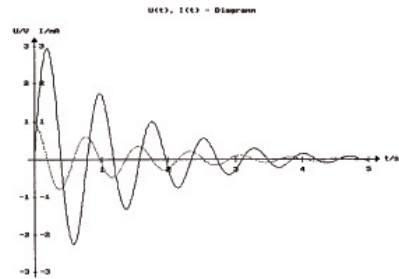
Nº de cat.	Descripción	P3.7.1.1
517 011	Bobina de alta inductividad	1
517 021	Condensador 40 µF	1
301 339	Par de pies de soporte	2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2

Las oscilaciones electromagnéticas tienen lugar normalmente en rangos de frecuencia en las que el ojo humano no puede observarlas. Otra es la situación en un circuito oscilatorio montado con un condensador de alta capacidad ($C = 40\text{ }\mu\text{F}$) y una bobina de alta inductancia ($L = 500\text{ H}$). Aquí el periodo de las oscilaciones es de 1 s, de tal forma que las oscilaciones de tensión y corriente se pueden observar directamente con un instrumento indicador.

El experimento P3.7.1.1 tiene por objeto el estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres. La atenuación es tan pequeña que es posible observar varios periodos oscilatorios y su duración puede ser medida. Aquí se comparan las desviaciones entre el periodo medido y el calculado a partir de la ecuación de Thomson

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

Las desviaciones se deben a que la inductancia depende de la corriente, ya que la permeabilidad del núcleo de hierro de la bobina depende de la intensidad del campo magnético.



Oscilación electromagnética amortiguada en el rango de 1 Hz (P3.7.1.1)



ONDAS DECIMÉTRICAS

P3.7.2.1

Características de radiación y polarización de ondas decimétricas

P3.7.2.2

Amplitud modulada de ondas decimétricas

P3.7.2.4

Estimación de las constantes dieléctricas del agua en el rango de las ondas decimétricas

Estimación de las constantes dieléctricas del agua en el rango de las ondas decimétricas (P3.7.2.4)

N° de cat.	Descripción	P3.7.2.1	P3.7.2.2	P3.7.2.4
587 551	Generador de ondas decimétricas	1	1	1
531 110	Multímetro LDanalog 10	1		
300 11	Zócalo	2	3	1
501 38	Cable de experimentación, 200 cm, negro	2		
522 621	Generador de funciones S 12		1	
532 20	Amplificador de c.c./c.a. 30 W		1	
587 08	Altavoz de banda ancha		1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1	
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro		4	
587 54	Dipolos en cubeta de agua			1

En un conductor rectilíneo se pueden excitar oscilaciones electromagnéticas tal como sucede en un circuito oscilatorio. Tales osciladores emiten ondas electromagnéticas, en donde la intensidad irradiada es máxima cuando la longitud del conductor es equivalente a media longitud de onda (aquí se habla de un dipolo $\lambda/2$). Los experimentos sobre este tema dan muy buenos resultados con longitudes de onda en el rango decimétrico. La detección de tales ondas decimétricas se consigue con un segundo dipolo, cuya longitud es igualmente $\lambda/2$ y cuya tensión es aplicada a una lámpara incandescente o a un instrumento de medición a través de un rectificador de alta frecuencia.

En el experimento P3.7.2.1 se estudian las características de irradiación de un dipolo $\lambda/2$ para ondas decimétricas. Para ello se coloca al receptor en paralelo con el emisor y al mismo tiempo se le desplaza alrededor del mismo. Luego, se gira al receptor respecto al emisor para verificar la polarización de las ondas decimétricas emitidas.

El objetivo del experimento P3.7.2.2 es la transmisión de señales de audio frecuencia mediante ondas decimétricas moduladas en amplitud. En el caso de la modulación de amplitud a una señal de onda decimétrica

$$E(t) = E_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$$

se superpone la señal con frecuencia de sonido $u(t)$ de la forma

$$E_{AM}(t) = E_0 \cdot (1 + k_{AM} \cdot u(t)) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$$

k_{AM} : factor de acoplamiento

En el experimento P3.7.2.4 se demuestra la propiedad dieléctrica del agua. En el agua, las ondas decimétricas se propagan con la misma frecuencia pero con longitudes de onda más cortas que en el aire. Aquí se cumple que un dipolo receptor sintonizado óptimamente a la longitud de onda en el aire no lo es para el agua.

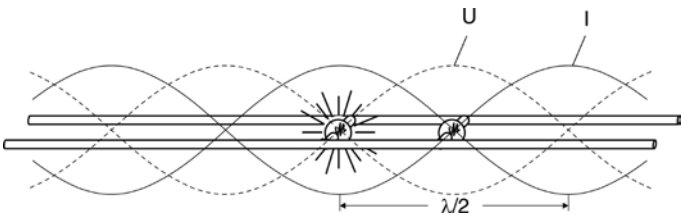
PROPAGACIÓN DE ONDAS DECIMÉTRICAS EN LÍNEAS

- P3.7.3.1
- Determinación de los máximos de corriente y de tensión en una línea de Lecher
- P3.7.3.2
- Estudio de la corriente y tensión en una línea Lecher con dipolo en bucle



Determinación de los máximos de corriente y de tensión en una línea de Lecher (P3.7.3.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.7.3.1-2
587 551	Generador de ondas decimétricas	1
587 56	Sistema lecher con accesorios	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
300 11	Zócalo	3



Máximos de corriente y tensión en una línea de Lecher (P3.7.3.1)

E. Lecher (1890) propuso la utilización de la transmisión dirigida de ondas electromagnéticas mediante dos hilos paralelos. Con tal línea de Lecher es posible guiar ondas electromagnéticas hacia un lugar cualquiera en el espacio. Estas se miden a lo largo de la línea como una tensión que se propaga en forma de onda $U(x,t)$ o como corriente $I(x,t)$.

En el experimento P3.7.3.1 se estudia una línea de Lecher con extremo abierto y otra en cortocircuito. En los extremos de la línea se reflejan las ondas formándose ondas estacionarias. En el extremo abierto la corriente es nula, en el extremo cortocircuitado la tensión es nula. La corriente y la tensión están desplazadas entre sí en $\lambda/4$, es decir, los antinodos de una onda de tensión concuerdan con los nodos de la corriente. Los máximos de la tensión son buscados con una sonda en la cual se ha conectado una lámpara incandescente. Para determinar los máximos de corriente se utiliza una bobina de inducción a la que se le conecta una lámpara incandescente. A partir de las distancias d entre los máximos de corriente o entre los máximos de tensión se determina la longitud de onda λ . Se cumple que

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

En el experimento P3.7.3.2 se conecta un segundo dipolo emisor (dipolo $\lambda/2$ plegado) al extremo de la línea de Lecher. Sobre la misma línea de Lecher no se encuentran máximos de tensión ni de corriente. En el centro del dipolo se detecta un máximo de corriente, en los extremos del dipolo máximo de tensión.

MICROONDAS

P3.7.4.1
Curso del campo y polarización de microondas delante de una antena de bocina

P3.7.4.2
Absorción de microondas

P3.7.4.3
Determinación de la longitud de onda en microondas estacionarias

P3.7.4.4
Difracción de microondas

P3.7.4.5
Refracción de microondas

P3.7.4.6
Estudio de la reflexión total con microondas



Difracción de microondas (P3.7.4.4)

N° de cat.	Descripción	P3.7.4.1-2	P3.7.4.3	P3.7.4.4	P3.7.4.5	P3.7.4.6
737 01	Oscilador Gunn	1	1	1	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1	1	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1	1	1	1
737 35	Sonda de campo eléctrico	1	1	1	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	1	1	1	1	1
737 27	Accesorios para física de microondas I	1	1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1	1	1	1
300 11	Zócalo	2	2	4	2	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	2	2	2	2	2
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1	1	1	1
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1*	1*	1*	1*	1*
737 275	Accesorios para física de microondas II		1	1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1			
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño					1

* se requiere adicionalmente

Las microondas son ondas electromagnéticas en el rango de longitudes de onda entre 0,1 mm y 100 mm. Estas son generadas, por ejemplo, en una cavidad resonante, en donde la frecuencia está prefijada por el volumen de la cavidad resonante. Como detector se utiliza la sonda de campo eléctrico con la que mide la componente del campo eléctrico paralela a la sonda. La señal de salida de la sonda es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo y con ello a la intensidad de las ondas electromagnéticas.

En el experimento P3.7.4.1 se estudia el curso y polarización del campo de microondas delante de la antena de bocina irradiadora. Con tal propósito, con la sonda de campo eléctrico se mide punto a punto el campo delante de la antena de bocina en dirección longitudinal y transversal. Para determinar la polarización se dispone de una rejilla de polarización pivotante compuesta de tiras delgadas de metal, en la que el campo eléctrico sólo puede formarse perpendicularmente a las tiras metálicas. La rejilla de polarización se sitúa entre la antena de bocina y la sonda E. El experimento muestra que el vector de campo eléctrico de la microonda irradiada es perpendicular al lado ancho del radiador de bocina.

El objetivo del experimento P3.7.4.2 es la absorción de microondas. Bajo el supuesto que la reflexión puede ser despreciada se calcula la absorción en diferentes materiales a partir de la intensidad incidente y transmitida. De aquí se obtienen resultados importantes de aplicación práctica en la cocina moderna como la fuerte absorción de microondas por el agua.

En el experimento P3.7.4.3 se generan microondas estacionarias por reflexión en una placa metálica. La intensidad, medida en un punto fijo entre la antena de bocina y una placa metálica, cambia si la placa es desplazada en dirección longitudinal. Aquí la distancia entre dos máximos de intensidad corresponde a media longitud de onda. Pero al colocar un dieléctrico en el recorrido de los rayos la longitud de onda se acorta.

Los dos experimentos P3.7.4.4 y P3.7.4.5 muestran que muchas propiedades de las microondas pueden compararse con las de la luz visible. Por un lado se estudia la difracción de microondas en un borde, en una ranura simple, en una ranura doble y en un obstáculo. Por otro lado se verifica la refracción de microondas y la validez de la ley de refracción de Snell.

En el experimento P3.7.4.6 se estudia la reflexión total de microondas en medio óptico con índices bajos de refracción. De la mecánica de ondas es conocido que la onda reflectada penetra unas 3 a 4 longitudes de onda en el medio óptico con índices bajos de refracción, y desde allí se propaga superficialmente a lo largo de la superficie límite. Esto se verifica experimentalmente colocando un absorbente (por ejemplo la mano) al lado del medio óptico en la cercanía de la superficie límite y se observa la reducción de la intensidad reflejada.

PROPAGACIÓN DE MICROONDAS EN LÍNEAS

P3.7.5.1
Conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher

P3.7.5.2
Verificación cualitativa de la conducción de microondas a través de una guía de ondas metálicas flexibles



Conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher (P3.7.5.1)

N° de cat.	Descripción	P3.7.5.1	P3.7.5.2
737 01	Oscilador Gunn	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1
737 35	Sonda de campo eléctrico	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	1	1
737 275	Accesorios para física de microondas II	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
300 11	Zócalo	2	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	2	2
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1*	
737 27	Accesorios para física de microondas I		1

* se requiere adicionalmente

La conducción de microondas a través de una línea permite una transmisión casi libre de pérdidas en recorridos largos. En este caso se emplean guías de ondas metálicas, y es menos usual utilizar una línea Lecher de dos hilos paralelos. Sin embargo en el experimento P3.7.5.1 se estudia la conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher. Aquí se mide la tensión a lo largo de la línea mediante una sonda de campo eléctrica. De la distancia de los máximos se determina la longitud de onda.

En el experimento P3.7.5.2 se demuestra la conducción de microondas a través de una guía de ondas metálica. En primer lugar, con la sonda de campo eléctrica se verifica que en una posición al lado de la antena de bocina la intensidad irradiada es muy reducida. Por último se implementa una guía de ondas metálicas flexible y doblada de tal manera que las microondas sean conducidas a la sonda de campo eléctrica y se mida una mayor intensidad.



CARACTERÍSTICA
DIRECCIONAL DE LA
RADIACIÓN DIPOLAR

P3.7.6.1
Características direccionales de una
antena de hélice - Registro a pulso

P3.7.6.2
Características direccionales de una
antena Yagi - Registro a pulso

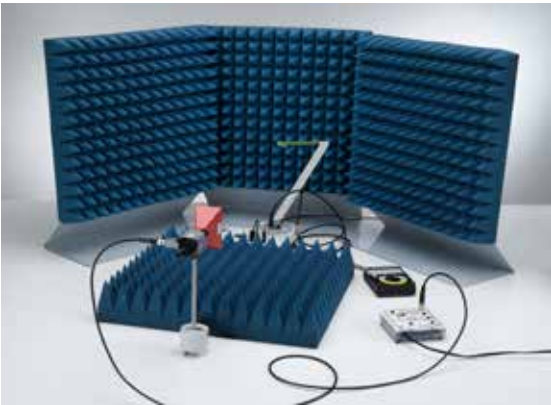
Características direccionales de una antena de hélice - Registro a pulso (P3.7.6.1)

N° de cat.	Descripción	P3.7.6.1	P3.7.6.2
737 440	Juego de antenas helicoidales	1	
737 03	Detector coaxial	1	
737 407	Soporte para antenas con amplificador	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1
737 01	Oscilador Gunn	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	2	2
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
300 11	Zócalo	1	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	1
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	2	2
737 415	Juego de antenas de hilo		1

Las antenas direccionales irradian energía electromagnética en una dirección preferencial y la reciben con preferencia de esa dirección. Todas las antenas direccionales requieren dimensiones en el orden de varias longitudes de ondas. Esta exigencia se puede cumplir en el rango de microondas sin mucha aparatosis. Por esta razón las microondas son especialmente apropiadas para los experimentos sobre características direccionales de antenas.

En el experimento P3.7.6.1 se registra la característica direccional de una antena de hélice. Como la excitación se realiza con una antena de bocina de polarización lineal, el sentido de rotación de la antena de hélice puede ser cualquiera (en sentido horario o antihorario). Los resultados de la medición se representan en forma de un diagrama polar del cual se puede leer fácilmente el efecto direccional dominante de la antena helicoidal.

En el experimento P3.7.6.2 se implementa una antena dipolar como una antena Yagi utilizando un elemento acoplador radiador para mejorar las características direccionales del montaje experimental. Cuatro elementos cortos situados delante del dipolo sirven de directores y un elemento largo minúsculo situado detrás del dipolo sirve como reflector. En el diagrama polar se determina el factor direccional del montaje.



TUBO CON CRUZ DE MALTA

P3.8.3.1

Demstración de la propagación lineal de los electrones en el espacio libre

P3.8.3.2

Desviación de los electrones en un campo magnético axial



Desviación de los electrones en un campo magnético axial (P3.8.3.2)

N° de cat.	Descripción	P3.8.3.1	P3.8.3.2
555 620	Tubo con cruz de Malta	1	1
555 600	Portatubo	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
510 48	Par de imanes	1	
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2	2
555 604	Par de bobinas de Helmholtz		1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1

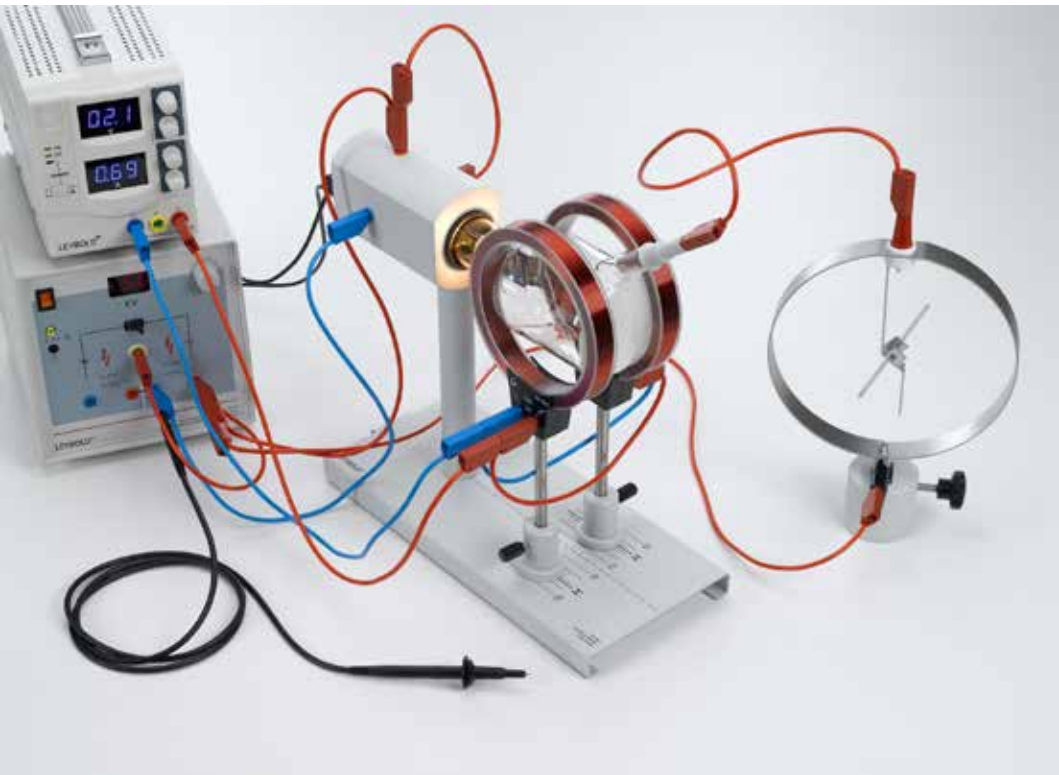
En el tubo con cruz de Malta los electrones son acelerados desde el ánodo hacia una pantalla fosforescente para ser observados como un fenómeno luminoso. Entre el ánodo y la pantalla se encuentra una cruz de Malta, cuya sombra puede ser vista sobre una pantalla. La cruz de Malta puede ser puesta a un potencial cualquiera a través de una conexión externa.

En el experimento P3.8.3.1 se verifica la propagación lineal de los electrones en el espacio libre. La cruz de Malta al potencial está conecta al ánodo y se compara la sombra de la misma en el rayo de electrones con la sombra producida con la luz. De la misma cobertura observada entre ambas sombras se concluye que los electrones se propagan linealmente. Por último, la cruz de Malta permanece sin potencial alguno. En este caso las cargas espaciales que surgen alrededor de la cruz de Malta generan un potencial repulsor que hace que la imagen de la pantalla aumente.

En el experimento P3.8.3.2 se aplica un campo magnético axial con un electroimán. La cruz de Malta gira y su imagen disminuye en tamaño dependiendo de la corriente de la bobina. Si se elige una relación apropiada entre alta tensión y corriente de bobina, se puede focalizar la cruz en casi un punto; para corrientes mayores la cruz empieza a crecer nuevamente. La explicación de la focalización magnética se basa en la trayectoria en espiral de los electrones en el campo magnético.



Sombra de la cruz maltesa en la pantalla fluorescente (P3.8.3.1)



TUBO DE PERRIN

P3.8.4.1
Emisión termoiónica en el vacío:
Determinación de la polaridad y
estimación de la carga específica de
los portadores de carga emitidos

Emisión termoiónica en el vacío: Determinación de la polaridad y estimación de la carga específica de los portadores de carga emitidos (P3.8.4.1)

N° de cat.	Descripción	P3.8.4.1
555 622	Tubo de Perrin	1
555 600	Portatubo	1
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
540 091	Electroscopio	1
300 11	Zócalo	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	4
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2

En el tubo de Perrin los electrones son acelerados por un ánodo con diafragma de agujero hacia una pantalla fosforescente. A la entrada del diafragma de agujero se han colocado placas de desviación horizontal para desviar electrostáticamente el rayo de electrones. A un ángulo de 45° respecto al rayo de electrones se encuentra un vaso de Faraday que puede ser cargado con los electrones desviados en dirección vertical hacia arriba. Mediante una conexión externa se puede medir la corriente de carga.

En el experimento P3.8.4.1 se ajusta la corriente de un par de bobinas de Helmholtz de tal manera que el rayo de electrones incida sobre el vaso de Faraday del tubo de Perrin. El vaso de Faraday está conectado a un electroscopio previamente cargado con una polaridad conocida. De la orientación de la desviación al presentarse el rayo de electrones, se deduce el signo de la carga electrónica. Simultáneamente se puede estimar la carga específica del electrón.

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{(B \cdot r)^2} \quad U_A: \text{tensión del ánodo}$$

El radio de curvatura r de la trayectoria circular está predeterminado por la geometría del tubo. El campo magnético B se calcula a partir de la corriente I que fluye por las bobinas de Helmholtz.

TUBO DE THOMSON

P3.8.5.1

Estudio de la desviación de electrones en campos eléctricos y magnéticos

P3.8.5.2

Montaje de un filtro de velocidad (filtro de Wien) para determinar la carga específica del electrón



Estudio de la desviación de electrones en campos eléctricos y magnéticos (P3.8.5.1)

Nº de cat.	Descripción	P3.8.5.1-2
555 624	Tubo de desviación de electrones	1
555 600	Portatubo	1
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	2
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	4
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2

En el tubo de Thomson los electrones pasan por un diafragma de ranura detrás del ánodo e inciden rasantes sobre una pantalla inclinada situada en el trayecto del rayo de electrones, en donde puede verse el curso de los electrones. En la entrada de la ranura del diafragma se coloca un condensador de placas para desviar electrostáticamente los electrones en dirección vertical. Además, con las bobinas de Helmholtz se puede generar un campo magnético externo para desviar el rayo de electrones.

En el experimento P3.8.5.1 se estudia la desviación de los electrones en campos eléctricos y magnéticos. Se observa por un lado, el curso del rayo electrónico al variar la tensión de desviación U_p en el condensador de placas para diferentes tensiones de ánodo U_A . Por otro lado, los electrones en el campo magnético de las bobinas de Helmholtz se desvían al variar la corriente I de las bobinas. El radio de curvatura r de la trayectoria se mide a partir del punto de salida del rayo electrónico en la pantalla. Al aplicar la tensión del ánodo se obtiene un valor experimental para la carga específica del electrón:

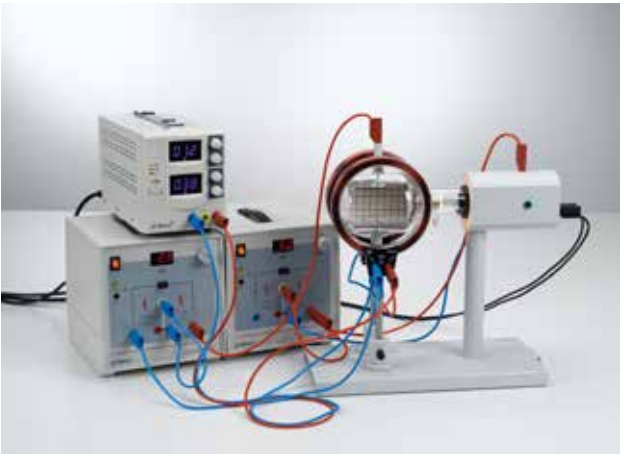
$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{(B \cdot r)^2}$$

en donde el campo magnético B se calcula a partir de la corriente I

En el experimento P3.8.5.2 se construye un filtro de velocidad (filtro de Wien) con un campo eléctrico y magnético cruzados, que entre otros, permite la determinación exacta de la carga específica del electrón. Si con una tensión del ánodo U_A fija se ajusta la corriente I de las bobinas de Helmholtz y la tensión de desviación U_p de tal forma que los efectos del campo eléctrico y magnético justo se compensen, entonces la trayectoria del rayo es casi una recta y se cumple que:

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A} \cdot \left(\frac{U_p}{B \cdot d} \right)^2$$

d : distancia entre las placas del condensador



DESCARGA DE GASES CON PRESIÓN REDUCIDA

P3.9.2.1

Descarga de gas automantenida en el aire en función de la presión



Descarga de gas automantenida en el aire en función de la presión (P3.9.2.1)

N° de cat.	Descripción	P3.9.2.1
554 161	Tubo de descarga, rayos canales	1
378 752	Bomba de vacío rotativa de paletas D 2,5 E	1
378 023	Esmerilado de acoplamiento macho NS 19/26	1
378 015	Pieza en cruz DN 16 KF	1
378 050	Collarín apriete DN 10/16 KF	5
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	5
378 777	Llave p. vacío fino DN 16 KF	1
378 776	Valvula dosificadora DN 16 KF	1
378 5131	Vacuómetro según Pirani con display	1
378 701	Grasa para alto vacío P, 50 g	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2
378 764	Filtro de escape AF 8	1*

* se requiere adicionalmente

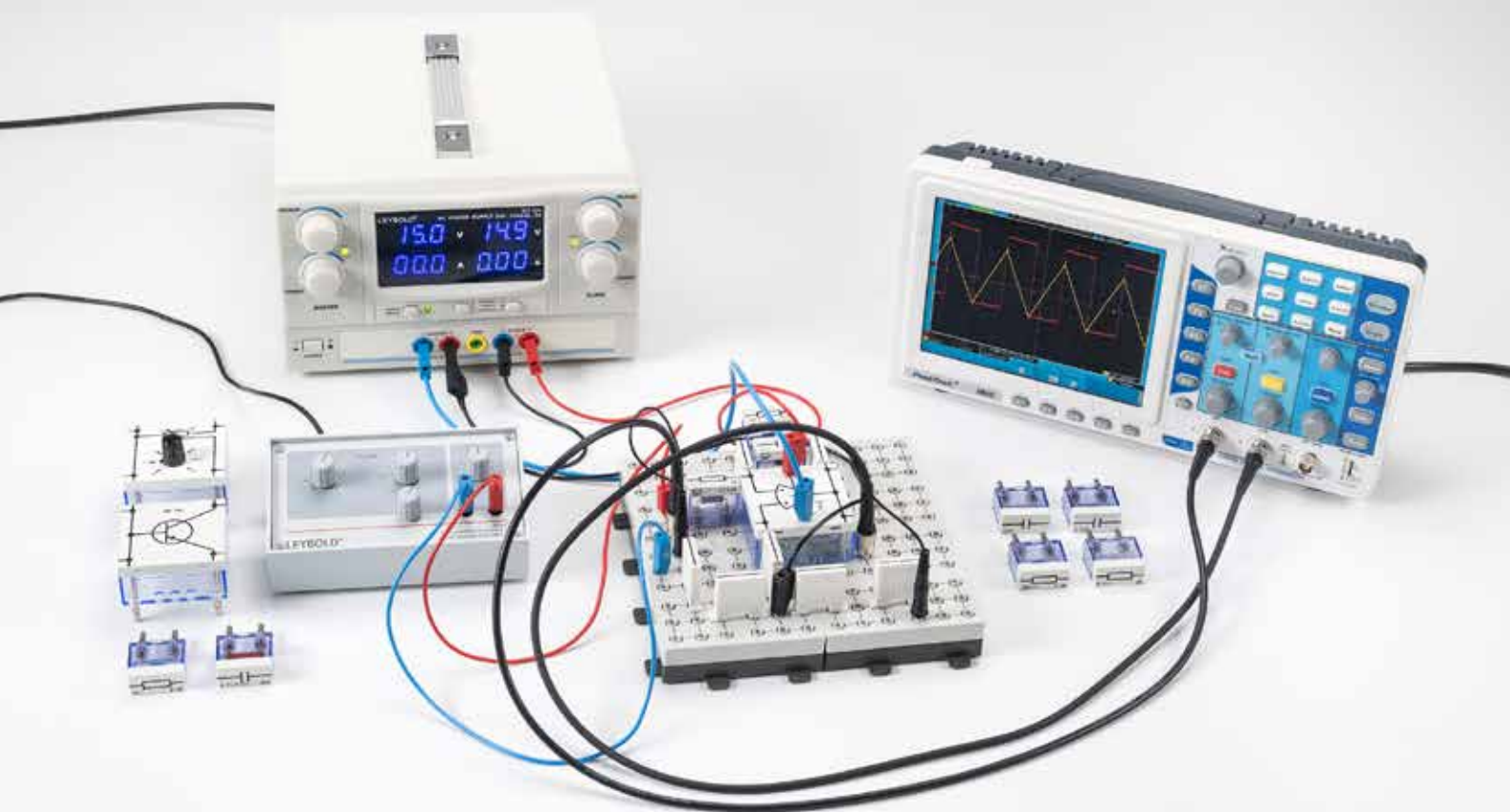
Una forma especial de descarga es la descarga luminiscente que se enciende automáticamente cuando se tienen pequeñas presiones con densidades relativamente bajas. Esta descarga está asociada a un fenómeno luminoso llamativo. La investigación de este fenómeno ha suministrado conocimientos fundamentales sobre la estructura del átomo.

En el experimento P3.9.2.1 se conecta un tubo de vidrio cilíndrico a una bomba de vacío para evacuar el tubo lentamente. Una alta tensión es aplicada en los electrodos situados en el lado frontal del tubo de vidrio. Bajo presión normal no se presenta ninguna descarga. Sólo después de alcanzar una determinada presión se muestra un paso de corriente luminoso. Luego de seguir reduciendo la presión del gas se observan varias fases: En primer lugar se observa un hilo luminoso que va desde el ánodo al cátodo. Luego una columna luminosa llena todo el espacio desde el ánodo. Sobre el cátodo se forma una capa luminiscente. La columna se hace cada vez más corta y se extingue en varias capas, la capa luminiscente aumenta. La estratificación de la zona luminiscente es causada porque los electrones excitados deben recorrer un trayecto de aceleración después del choque excitador, para tener suficiente energía para una nueva excitación de los átomos. La distancia entre capas ilustra la longitud de recorrido libre.

P4.2.2.5

Diferenciador e integrador

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 138.



P4 ELECTRÓNICA



P4.1	COMPONENTES ELECTRÓNICOS, CIRCUITOS BÁSICOS	130
P4.2	AMPLIFICADORES OPERACIONALES	138
P4.5	ELECTRÓNICA DIGITAL	139

P4 ELECTRÓNICA



P4.1 COMPONENTES ELECTRÓNICOS, CIRCUITOS BÁSICOS

P4.1.1	Fuentes de corriente y tensión	131
P4.1.2	Resistencias especiales	132
P4.1.3	Diodos	133
P4.1.4	Circuitos con diodos	134
P4.1.5	Transistores	135
P4.1.6	Circuitos con transistores	136
P4.1.7	Optoelectrónica	137

P4.2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

P4.2.2	Circuitos con amplificadores operacionales	138
--------	--	-----

P4.5 ELECTRÓNICA DIGITAL

P4.5.1	Combinaciones simples	139
P4.5.2	Circuitos lógicos	140
P4.5.3	Entradas y salidas digitales y analógicas	141



FUENTES DE CORRIENTE Y TENSIÓN

P4.1.1.1

Determinación de la resistencia interna de una batería

P4.1.1.3

Registro de las curvas características de corriente y tensión de una batería solar en función de la intensidad de irradiación

Registro de las curvas características de corriente y tensión de una batería solar en función de la intensidad de irradiación (P4.1.1.3)

N° de cat.	Descripción	P4.1.1.1	P4.1.1.3
576 86	Soporte de celda mono STE 2/50	1	
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	3
685 48	Pila 1,5 V JEC R20	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2
537 32	Reostato de cursor 10 ohmios	1	
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	5	
577 90	Potenciómetro 220 Ohmios, STE 4/50		1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A		1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		2

Generalmente la tensión U_0 generada por una fuente de tensión se diferencia de la tensión U medida en las bornes, tan pronto como se toma de la fuente una corriente I . Esto se debe a que en la fuente de tensión actúa una resistencia R_i en la que cae una parte del voltaje. A esta resistencia se le denomina resistencia interna de la fuente de tensión.

La celda solar es un fotoelemento semiconductor con una unión pn en donde la energía de irradiación solar es convertida directamente en energía eléctrica. Frecuentemente se combinan varias celdas solares para conformar una batería solar.

En el experimento P4.1.1.1, un reóstato se conecta como carga óhmica a una batería para determinar la resistencia interna. Se mide la tensión U en los bornes de la batería para diferentes cargas y se grafica esta tensión en función de la corriente I que pasa por el reóstato. La resistencia interna R_i se determina con la expresión

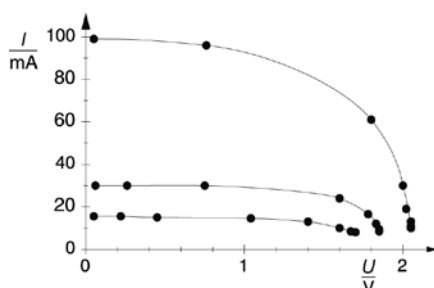
$$U = U_0 - R_i \cdot I$$

por medio del ajuste de una recta a los valores medidos. Un segundo diagrama representa la potencia

$$P = U \cdot I$$

en función de la resistencia de carga. La potencia es máxima cuando la resistencia de carga toma el valor de la resistencia interna R_i .

En el experimento P4.1.1.3 se registran las curvas características corriente-tensión de una batería solar para diferentes intensidades de irradiación. Para variar la intensidad de la irradiación se varía la distancia a la fuente de luz. Las curvas características muestran un comportamiento característico: para pequeñas resistencias de carga la batería solar suministra una corriente cuasi constante. Después de sobrepasar una tensión crítica, que depende de la intensidad de la irradiación, la batería solar empieza a trabajar cada vez más como una fuente de tensión constante.



Curvas características de corriente-tensión de una batería para diferentes intensidades de iluminación (P4.1.1.3)

RESISTENCIAS ESPECIALES

P4.1.2.1

Registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente

P4.1.2.2

Registro de la curva característica de corriente y tensión de un varistor

P4.1.2.3

Medición de las resistencias PTC y NTC en función de la temperatura

P4.1.2.4

Medición de fotoresistencias en función de la iluminación



Registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente (P4.1.2.1)

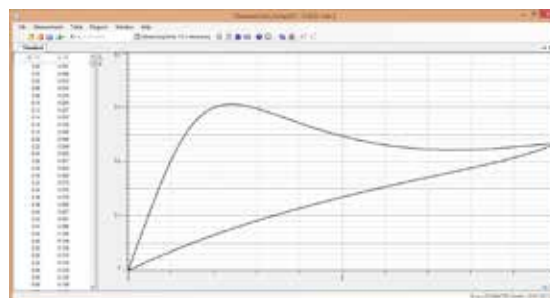
N° de cat.	Descripción	P4.1.2.1	P4.1.2.2	P4.1.2.3	P4.1.2.4
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1			
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	1			
524 011USB	Power-CASSY USB	1			
524 220	CASSY Lab 2	1			
578 00	Resistencia VDR		1		
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10		1	1	
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A		1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20		2	2	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2	2	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2	2	
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul		1	1	
578 061	Sonda PTC resistiva STE 2/19			1	
578 04	Sonda resistencia NTC 4,7 kOhmios			1	
666 767	Placa calentadora			1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C			1	
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja			1	
578 02	Fotorresistencia LDR 05, STE 2/19				1
579 05	Portalámparas con rosca E10, lateral, STE 2/19				1
505 131	Lámparas de incandescencia 6 V/5 W, E10, juego de 10				1
460 21	Soporte para elemento enchufable				2
521 210	Transformador 6/12 V				1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m				1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35				2
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par				2
500 422	Cable de experimentación 50 cm azul				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1			

Para el registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente, En el experimento P4.1.2.1 se utiliza el sistema CASSY. Como el filamento incandescente se calienta al suministrarse corriente y su resistencia depende de la temperatura, al encender o apagar la corriente se obtienen diferentes curvas características. Además, la curva característica depende de la velocidad de aumento dU/dt de la tensión.

En el experimento P4.1.2.2 se registra la curva característica de la corriente y tensión de un varistor (VDR resistencia depende del voltaje). En el denominado rango de operación la curva característica no es lineal. En corrientes más altas la curva alcanza el denominado rango de aumento, en el que crece la componente óhmica detoda la resistencia.

En el experimento P4.1.2.3 se miden las características de temperatura de una resistencia NTC y de una resistencia PTC. Los valores medidos pueden ser descritos mediante ecuaciones empíricas, en las que aparecen como parámetros el valor nominal R_0 , la temperatura de referencia T_0 y una constante del material.

El objetivo del experimento P4.1.2.4 es encontrar la característica de una fotoresistencia de CdS (LDR resistencia depende de la luz): su resistencia varía según la iluminación entre aproximadamente 100Ω y aproximadamente $10 M\Omega$. La resistencia se mide en función de la distancia a una lámpara incandescente que ilumina a la fotoresistencia.



Características de corriente y voltaje en la bombilla de luz (P4.1.2.1)



DIODOS

- P4.1.3.1
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos
- P4.1.3.2
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos Zener (diodos-Z)
- P4.1.3.3
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos luminosos (LED)
- P4.1.3.4
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos con CASSY
- P4.1.3.5
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos Zener con CASSY
- P4.1.3.6
Registro de las curvas características corriente-tensión de diodos luminosos (LED) con CASSY

Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos luminosos (LED) (P4.1.3.3)

N° de cat.	Descripción	P4.1.3.1	P4.1.3.2	P4.1.3.3	P4.1.3.4	P4.1.3.5	P4.1.3.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1	1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	1			1		
578 50	Diodo Ge AA 118	1			1		
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1	1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1			
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2	2			
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	2	2	2	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	2	2	2	2	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1			
578 55	Diodo zener 6,2, STE 2/19		1			1	
578 54	Diodo zener ZPD 9,1		1			1	
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19			1			1
578 47	Diodo luminoso amarillo, LED3, arriba STE 2/19			1			1
578 48	Diodo luminoso rojo, STE 2/19			1			1
578 49	Diodo luminoso infrarrojo; lateral			1			1
524 013	Sensor-CASSY 2				1	1	1
524 220	CASSY Lab 2				1	1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)				1	1	1

Los componentes electrónicos semiconductores son parte imprescindible de casi todas las áreas de los circuitos electrónicos. Entre los componentes electrónicos más simples se tiene a los diodos semiconductores. Estos contienen un cristal semiconductor en el que se encuentran colindantes una zona conductora n y una zona conductora p. Por recombinación de los portadores de carga, esto es, los electrones de la zona conductora n y los huecos de la zona conductora p, se forma una zona de juntura de poca conductividad. Esta aumenta cuando se aplica un campo eléctrico que arrastra a los electrones o a los huecos fuera de la juntura. El sentido del campo eléctrico se denomina sentido de bloqueo. En el sentido inverso al campo eléctrico los electrones o los huecos son arrastrados hacia la juntura y facilitan el paso de la corriente por el diodo.

En el experimento P4.1.3.1 se mide manualmente y registra punto a punto la curva característica de corriente y tensión de un diodo de silicio y un diodo de germanio. Se compara la corriente en sentido de bloqueo y la tensión umbral como los datos más importantes de ambos diodos.

El objetivo del experimento P4.1.3.2 es medir la curva característica de corriente y tensión de un diodo Z. La particularidad de este diodo es la tensión de ruptura en el sentido de bloqueo, a partir de la cual la corriente crece en avalancha. La corriente se debe a los portadores en la zona de bloqueo que, acelerados por la tensión aplicada, ionizan por choques de otros átomos del semiconductor.

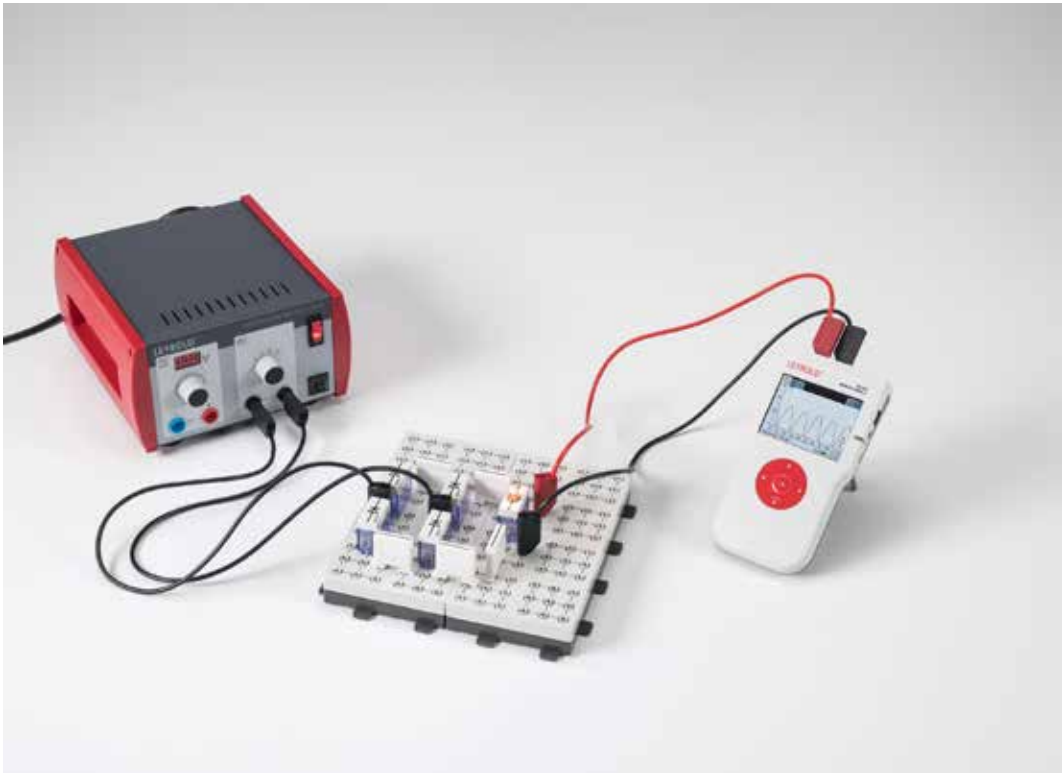
En el experimento P4.1.3.3 y P4.1.3.6 se comparan las curvas características de diodos luminiscentes infrarrojos, rojos, amarillos y verdes.

En el experimento P4.1.3.1 se mide y registra punto a punto la curva característica de corriente y tensión de un diodo de silicio y un diodo de germanio mediante el CASSY. Se compara la corriente en sentido de bloqueo y la tensión umbral como los datos más importantes de ambos diodos.

El objetivo del experimento P4.1.3.2 es medir la curva característica de corriente y tensión de un diodo Z. La particularidad de este diodo es la tensión de ruptura en el sentido de bloqueo, a partir de la cual la corriente crece en avalancha. La corriente se debe a los portadores en la zona de bloqueo que, acelerados por la tensión aplicada, ionizan por choques otros átomos del semiconductor.

CIRCUITOS CON DIODOS

- P4.1.4.1
Rectificación de tensión alterna mediante diodos
- P4.1.4.2
Limitación de tensión con un diodo Zener
- P4.1.4.3
Verificación de polaridad mediante diodos luminosos
- P4.1.4.4
Rectificación de tensión alterna mediante diodos con CASSY



Rectificación de tensión alterna mediante diodos con CASSY (P4.1.4.4)

Nº de cat.	Descripción	P4.1.4.1	P4.1.4.2	P4.1.4.3	P4.1.4.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	2	1	1	2
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	4			4
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	1	1		1
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1	1		1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1			1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1			
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	2	2	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	3	3	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	3	3	
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2			3
578 55	Diodo zener 6,2, STE 2/19		1		
577 42	Resistencia 680 Ohmios, 2 W		1	1	
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19			1	
578 48	Diodo luminoso rojo, STE 2/19			1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1

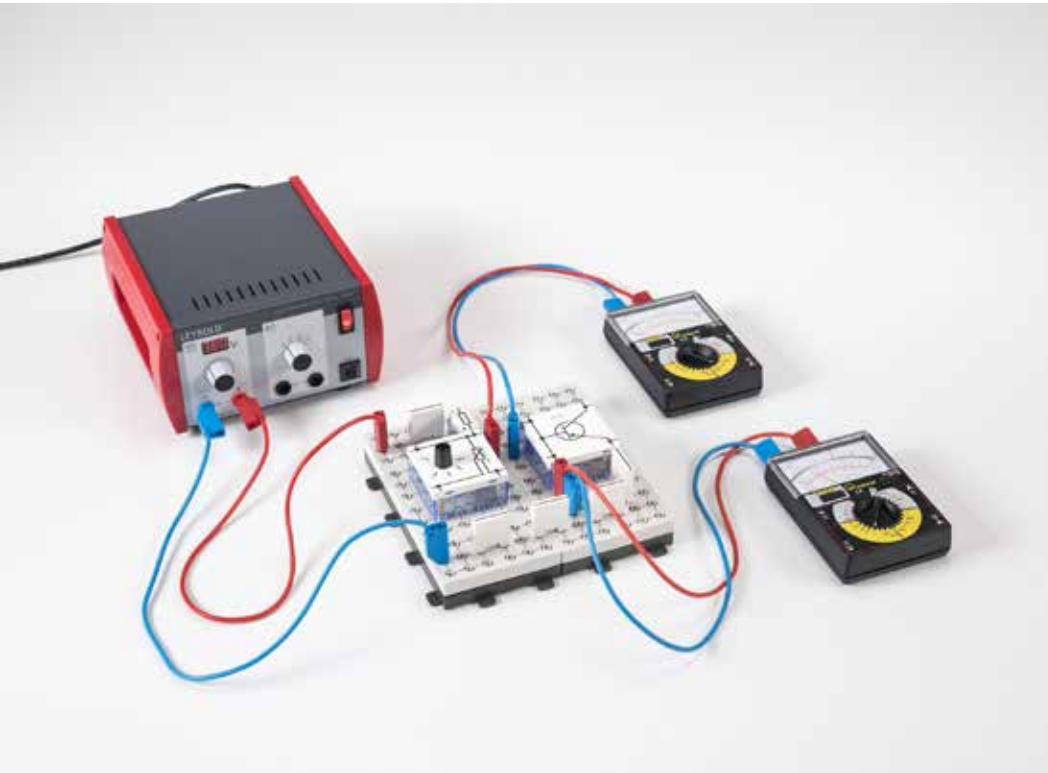
Los diodos, diodos Zener y diodos luminosos se han convertido en componentes elementales de casi todos los circuitos electrónicos.

En el experimento P4.1.4.1 se estudia el funcionamiento de rectificadores de media y de onda completa para la rectificación de una tensión alterna. El rectificador de media onda construido de un solo diodo bloquea, según sea la polaridad del diodo, cada primera media onda de la tensión alterna y deja pasar cada segunda media onda. Por el contrario, el rectificador de onda completa construido con cuatro diodos conectados en puente utiliza ambas semiondas de la tensión alterna.

En el experimento P4.1.4.2 se demuestra el empleo de un diodo Zener como dispositivo de protección contra sobretensiones. Siempre que la tensión esté por debajo de la tensión de ruptura U_Z del diodo Z, el diodo Z actúa como aislador y la tensión U permanece sin cambiar. Si las tensiones están por encima de U_Z entonces fluye una corriente tan alta por el diodo Z, que U es limitada a U_Z .

El objetivo del experimento P4.1.4.3 es el montaje de un circuito para la verificación de la polaridad de la tensión con un diodo luminoso verde y un diodo luminoso rojo (LED). Se prueba el circuito con tensión continua y con tensión alterna.

En el experimento P4.1.4.4 se estudia el funcionamiento de rectificadores de media y de onda completa para la rectificación de una tensión alterna: El rectificador de media onda construido de un solo diodo bloquea, según sea la polaridad del diodo, cada primera media onda de la tensión alterna y deja pasar cada segunda media onda. Por el contrario, el rectificador de onda completa construido con cuatro diodos conectados en puente utiliza ambas semiondas de la tensión alterna. El sistema informático CASSY se utiliza para registrar los voltajes.



TRANSISTORES

P4.1.5.1

Estudio de las propiedades de diodos de las secciones de transistores

P4.1.5.2

Registro de las curvas características de un transistor

P4.1.5.3

Registro de las curvas características de un transistor de efecto de campo

P4.1.5.4

Registro de las curvas características de un transistor con CASSY

P4.1.5.5

Registro de las curvas características de un transistor de efecto de campo con CASSY

Registro de las curvas características de un transistor (P4.1.5.2)

N° de cat.	Descripción	P4.1.5.1	P4.1.5.2	P4.1.5.3	P4.1.5.4	P4.1.5.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	2	3	1	1
578 67	Transistor BD 137, NPN, emisor abajo, STE 4/50	1	1		1	
578 68	Transistor BD 138, PNP, emisor abajo, STE 4/50	1				
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1		1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	3	2		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	4	3	1	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	3	4	3	2	3
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1	1		
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		1	1		
577 90	Potenciometro 220 Ohmios, STE 4/50		1	1		
577 92	Potenciometro 1 kOhmio, 1 W		1	1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1	2		
578 772	Transistor (efecto de campo), J112			1		1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19			1		
521 210	Transformador 6/12 V			1		
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265			1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm			2		
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19				1	1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V				1	1
524 013	Sensor-CASSY 2				1	1
524 011USB	Power-CASSY USB				1	1
524 220	CASSY Lab 2				1	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo				1	
500 612	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, azul				1	
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)				1	1

Por todos es conocido que los transistores son componentes semiconductores de los más importantes en los circuitos electrónicos. Se diferencia entre transistores bipolares, en los cuales los electrones y huecos participan simultáneamente en la conducción de corriente, y transistores de efecto de campo, en los que los electrones son los responsables por la corriente. Los electrodos del transistor bipolar se denominan Emisor, Base y Colector. Estos están compuestos de tres capas conductoras n y p, en la sucesión npn o pnp. La zona de la base, situada en el centro, es tan delgada que los portadores de carga que parten de una juntura alcanzan la otra. En los transistores de efecto de campo la conductividad del canal conductor de corriente varía sin pérdida de potencia por medio de un campo eléctrico. Este campo es generado por el llamado Gate (puerta). El electrodo de entrada de estos transistores se denomina Source (surtidor) y el electrodo de salida Drain (drenador).

El objetivo del experimento P4.1.5.1 es el estudio de la estructura básica de un transistor bipolar y su comparación con un diodo. Se estudia explícitamente la diferencia entre un transistor npn y un transistor pnp.

En el experimento P4.1.5.2 se estudian las propiedades de un transistor npn a partir de sus curvas características. Se mide la característica de entrada, esto es, la corriente de base I_B en función de la tensión base-emisor U_{BE} , las características de salida, esto es, la corriente del colector I_C en función de la tensión de colector-emisor U_{CE} para una corriente de base constante I_B , y las características de control, esto es, la corriente del colector I_C en función de la corriente de base I_B para una tensión de colector-emisor U_{CE} constante.

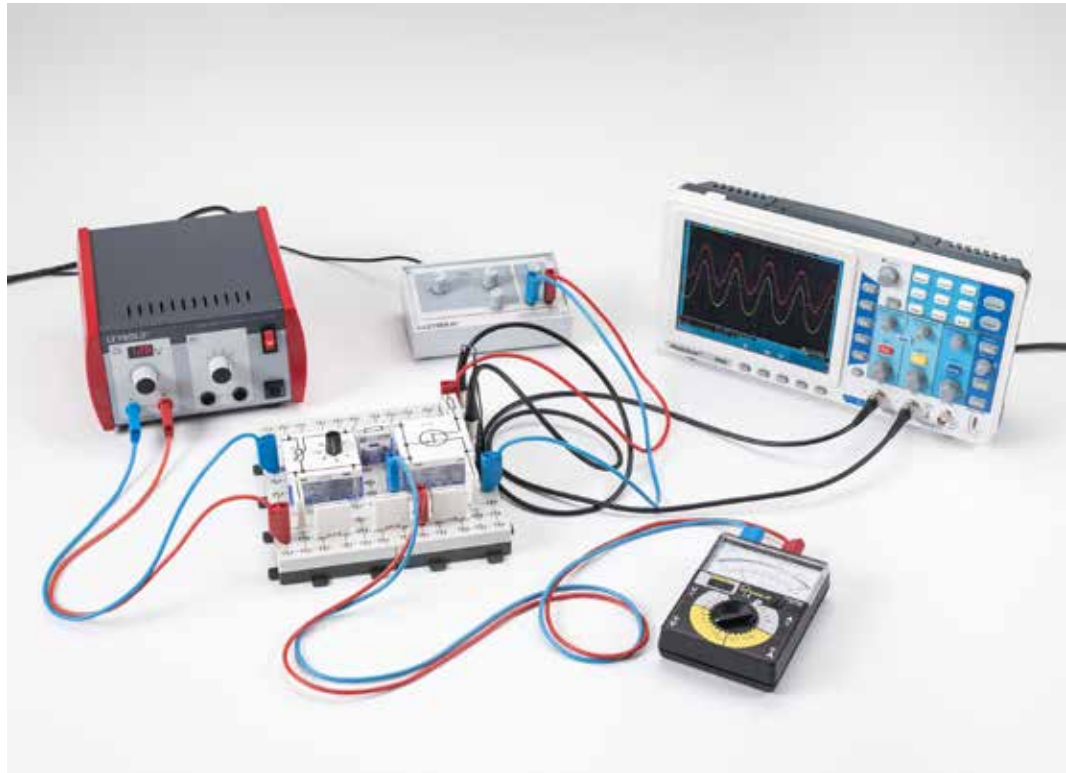
En el experimento P4.1.5.3 se miden y registran las características de un transistor de efecto de campo, es decir, la corriente de drenaje I_D en función de la tensión entre drenador y surtidor U_{DS} para una tensión de puerta U_G constante.

En el experimento P4.1.5.2 se estudian las propiedades de un transistor npn a partir de sus curvas características. Se mide la característica de entrada, esto es, la corriente de base I_B en función de la tensión base-emisor U_{BE} , las características de salida, esto es, la corriente del colector I_C en función de la tensión de colector-emisor U_{CE} para una corriente de base constante I_B , y las características de control, esto es, la corriente del colector I_C en función de la corriente de base I_B para una tensión de colector-emisor U_{CE} constante.

En el experimento P4.1.5.5 se registra y se mide la característica de un transistor de efecto de campo como función de la tensión U_{DS} entre el drenaje y la fuente a una tensión de puerta U_G constante.

CIRCUITOS CON TRANSISTORES

- P4.1.6.1
Transistor como amplificador
- P4.1.6.2
Transistor como conmutador
- P4.1.6.3
Transistor como generador de señales (oscilador)
- P4.1.6.4
Transistor como generador de funciones
- P4.1.6.5
Transistor de efecto de campo como amplificador
- P4.1.6.6
Transistor de efecto de campo como conmutador



Transistor de efecto de campo como conmutador (P4.1.6.6)

Nº de cat.	Descripción	P4.1.6.1	P4.1.6.2	P4.1.6.3	P4.1.6.4	P4.1.6.5	P4.1.6.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	3	2	3	3	3	2
578 67	Transistor BD 137, NPN, emisor abajo, STE 4/50	1	1				
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1	1	2			
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1		3		1	1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W	1		2			1
577 80	Resistencia variable 10 kOhmios, 1 W	1	1				
577 82	Resistencia variable 47 kOhmios, STE 2/19	1					
578 38	Condensador 47 µF, 40 V	1				1	
578 39	Condensador (electrolito) 100 µF, STE 2/19	1					
578 40	Condensador (electrolito) 470 µF, STE 2/19	1			1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1	1	1
522 621	Generador de funciones S 12	1				1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1		1	1	1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2		2	2	2	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	3	2	1	2	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	3	3	1	2	3
578 02	Fotorresistencia LDR 05, STE 2/19		1				
578 061	Sonda PTC resistiva STE 2/19		1				
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba		1		2		
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10		1				
579 13	Interruptor basculante STE 2/19		1				
579 38	Elemento calefactor 100 Ohm, 2 W, STE 2/50		1				
531 120	Multímetro LDanalog 20		2	1		1	1
578 76	Transistor BC 140			2	2		

Nº de cat.	Descripción	P4.1.6.1	P4.1.6.2	P4.1.6.3	P4.1.6.4	P4.1.6.5	P4.1.6.6
577 58	Resistencia 15 kOhmios, 0,5 W			2	2	1	
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W			2		1	
577 81	Resistencia de regulación 4,7 kOhmios, 1			2			
578 22	Condensador 100 pF			2			
578 23	Condensador 220 pF, 160 V			2			
578 35	Condensador 1 µF, STE 2/19			2		2	
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V			2			
577 46	Resistencia 1,5 kOhmios, 1,4 W				2		
578 41	Condensador 220 µF, bipolar, 16 V				1		
578 13	Condensador 0,22 µF, 250 V				1		
578 33	Condensador 0,47 µF, 100 V				1		
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19				2		
505 191	Lámparas de incandescencia 15 V/2W, E10, juego de 5				1		
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros				1	1	
578 772	Transistor (efecto de campo), J112					1	1
577 61	Resistencia 33 kOhmios, 0,5 W				1		
577 657	Resistencia 68 kOhmios, 0,5 W				1		
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W				1		
578 36	Condensador 2,2 µF, 63 V				1		
577 92	Potenciometro 1 kOhmio, 1 W						1

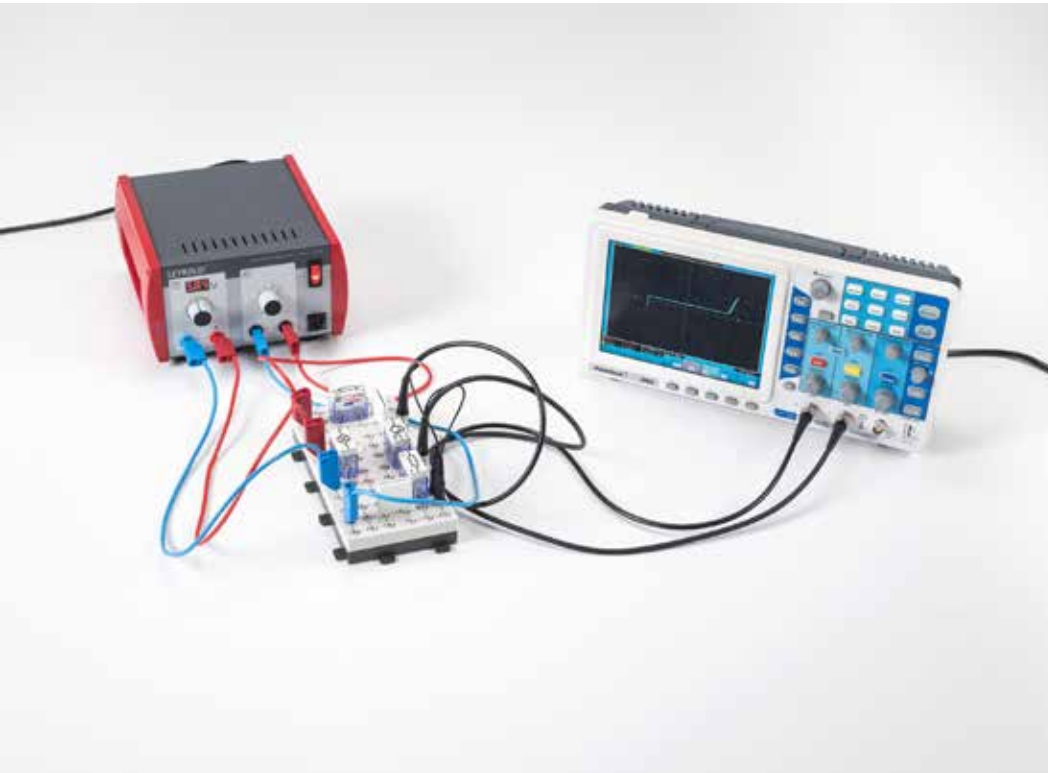
OPTOELECTRÓNICA

P4.1.7.1

Registro de las curvas características de un fototransistor conectado como fotodiodo

P4.1.7.2

Montaje de una línea de transmisión óptica



Registro de las curvas características de un fototransistor conectado como fotodiodo (P4.1.7.1)

N° de cat.	Descripción	P4.1.7.1	P4.1.7.2
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	3
578 61	Fototransistor	1	1
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1	3
579 05	Portalámparas con rosca E10, lateral, STE 2/19	1	
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	2
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19		1
578 58	Diodo luminoso rojo, lateral		1
578 68	Transistor BD 138, PNP, emisor abajo, STE 4/50		1
578 85	Amplificador operacional LM 741		1
577 28	Resistencia 47 Ohmios, STE 2/19		1
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19		1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W		1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		1
578 16	Condensador 4,7 μ F, 63 V		2
578 39	Condensador (electrolítico) 100 μ F, STE 2/19		1
578 40	Condensador (electrolítico) 470 μ F, STE 2/19		1
521 536	Fuente de alimentación de CC 2 x 0...16 V/2 x 0...5 A		1
522 621	Generador de funciones S 12		1
579 29	Auricular		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros		4
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		1

La optoelectrónica se ocupa de la aplicación de la interacción entre la luz y los portadores eléctricos en dispositivos ópticos y electrónicos. En los montajes optoelectrónicos se tiene un elemento emisor de luz, un elemento transmisor y un elemento sensible a la luz. El control de un haz de luz es eléctrico.

El objetivo del experimento P4.1.7.1 es el estudio de un fototransistor conectado como fotodiodo sin conexión de la base. Con un osciloscopio se representa las características de corriente y tensión en los casos: no iluminado, poco iluminado y bien iluminado. Se muestra que las características del fotodiodo totalmente iluminado son similares a las de un diodo Zener, mientras que en el estado no iluminado no se observa un comportamiento conductor.

En el experimento P4.1.7.2 se demuestra la transmisión óptica de las señales eléctricas de un generador de funciones hacia un altavoz. Las señales modulan la intensidad de la luz de un diodo luminoso al variar la corriente de conducción. La luz del fotodiodo se suministra a la base de un fototransistor a través de una guía de luz flexible. El fototransistor está conectado en serie con el altavoz para transmitir las señales al altavoz.

CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

P4.2.2.1

Amplificador operacional no conectado (comparador)

P4.2.2.2

Amplificador operacional inversor

P4.2.2.3

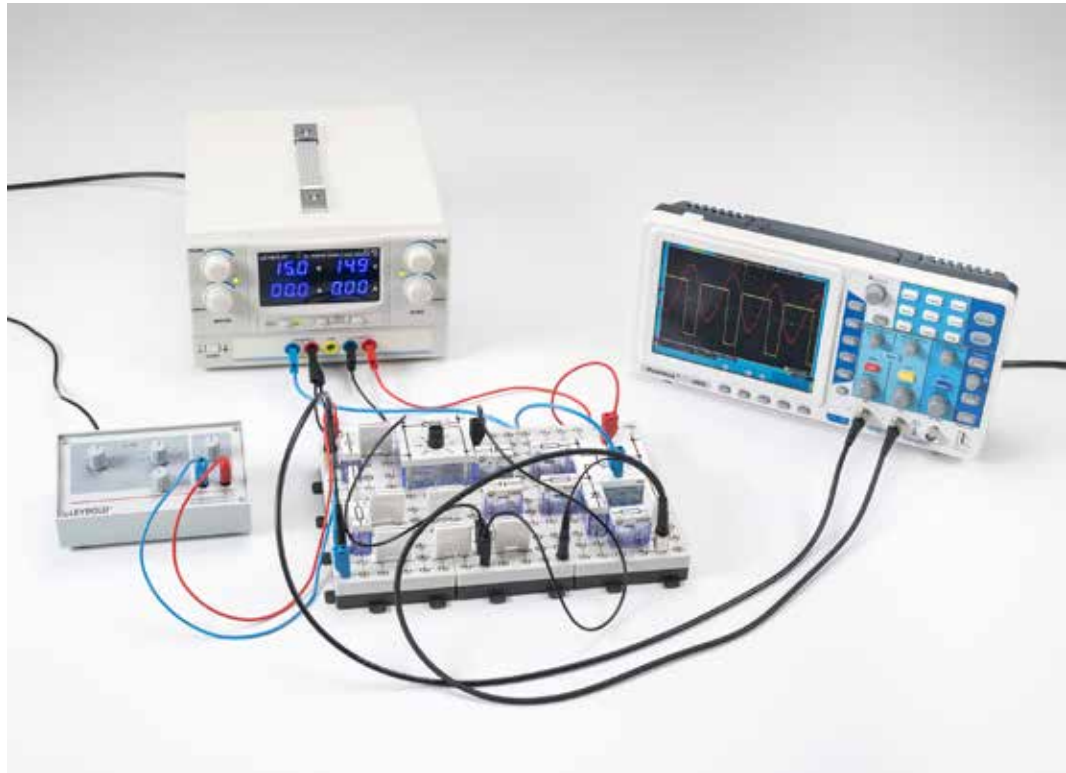
Amplificador operacional no-inversor

P4.2.2.4

Sumador y substractor

P4.2.2.5

Diferenciador e integrador



Amplificador operacional no conectado (comparador) (P4.2.2.1)

N° de cat.	Descripción	P4.2.2.1	P4.2.2.2	P4.2.2.3	P4.2.2.4	P4.2.2.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	3	2	2	3	2
578 85	Amplificador operacional LM 741	1	1	1	1	1
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1	2	2	2	1
577 61	Resistencia 33 kOhmios, 0,5 W	2	1		1	
577 62	Resistencia 39 kOhmios, 0,5 W	1				
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W	1	1		4	1
577 74	Resistencia 470 kOhmios, 0,5 W	1				
577 96	Potenciometro 100 kOhmios, 1 W	2	1			1
578 26	Condensador 2,2 nF, 160 V	2				1
578 28	Condensador 10 nF	1				1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	1				
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1	1
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1		1
521 536	Fuente de alimentación de CC 2 x 0...16 V/2 x 0...5 A	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1	1		1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2	2		2
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1	1	1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	3	1	2	1	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	3	3	3	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	3	3	3	2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	1	1	1	1	1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1		1	1
577 50	Resistencia 3,3 kOhmios, 1,4 W		1			
577 52	Resistencia 4,7 kOhmios, STE 2/19		1	1		1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		2			

N° de cat.	Descripción	P4.2.2.1	P4.2.2.2	P4.2.2.3	P4.2.2.4	P4.2.2.5
577 80	Resistencia variable 10 kOhmios, 1 W		1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	1	1	
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19			1		
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19			1	1	
577 46	Resistencia 1,5 kOhmios, 1,4 W			1	1	
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W			1		
577 58	Resistencia 15 kOhmios, 0,5 W			1		
577 38	Resistencia 330 Ohmios, 1,4 W				1	
577 60	Resistencia 22 kOhmios, 0,5 W				1	
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W					1
578 15	Condensador 1 µF, 100 V					1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V					1
578 76	Transistor BC 140					1

El amplificador operacional es un componente análogo importante en la electrónica moderna. Diseñado originalmente como un componente de cálculo para computadoras análogas, también ha sido introducido como amplificador en un amplio rango de aplicaciones.

COMBINACIONES SIMPLES

P4.5.1.1

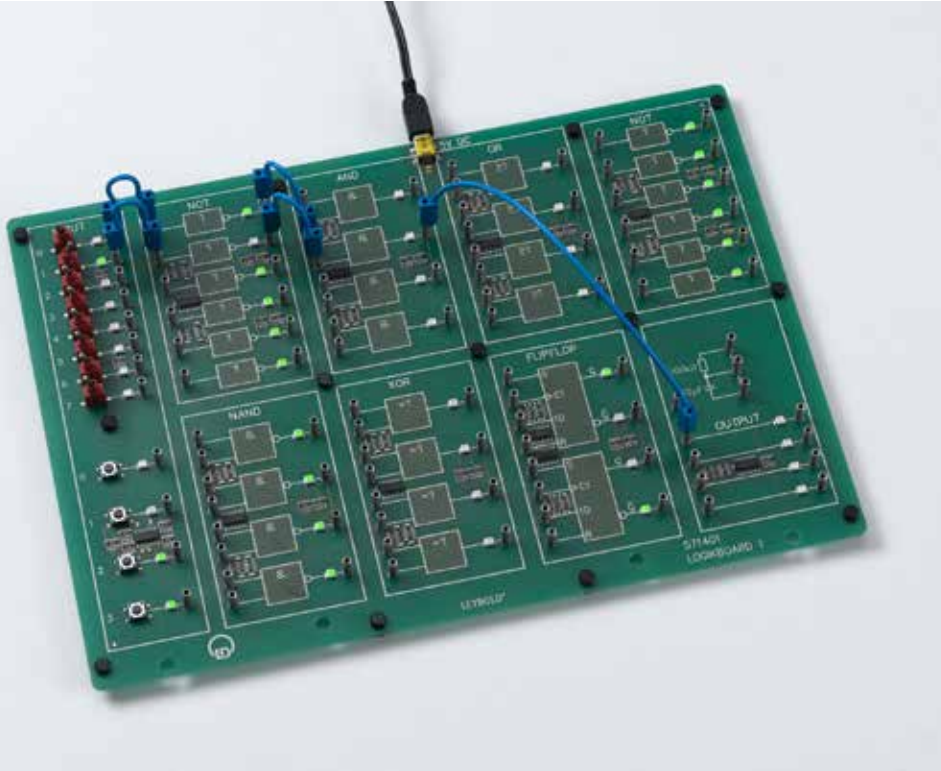
Combinaciones AND, OR, XOR, NOT y NAND de dos variables

P4.5.1.2

Leyes de De Morgan

P4.5.1.3

Combinaciones de tres variables



Leyes de De Morgan (P4.5.1.2)

N° de cat.	Descripción	P4.5.1.1-3
571 4011	Tablero lógico 1	1

El diseño de dispositivos digitales se basa en el simple concepto de la aplicación repetida de pocos circuitos básicos. Para combinarlos son válidas las reglas del álgebra booleana, que en el caso especial de aplicaciones en sistemas digitales se le denomina también álgebra de conmutación.

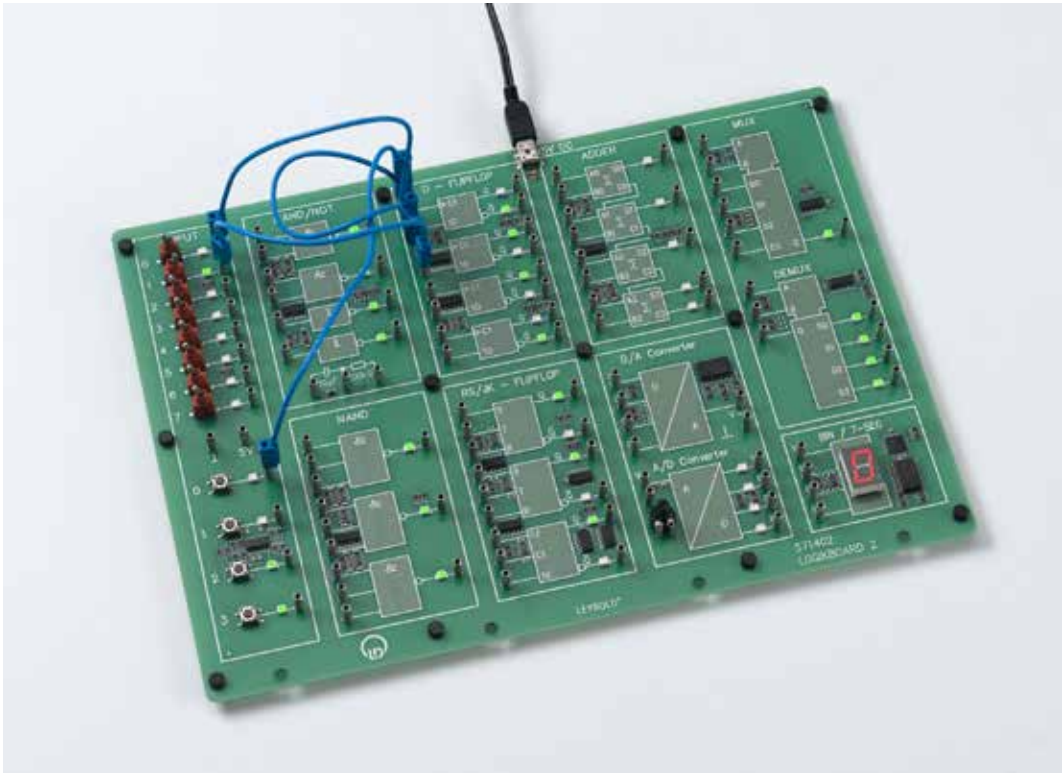
En el experimento P4.5.1.1 se representan todas las combinaciones de una o de dos variables que se presentan en los sistemas digitales. Se verifica las leyes del álgebra booleana, como la ley conmutativa, la ley de idempotencias, la ley de absorción y la ley de la negación.

En el experimento P4.5.1.2 se hace una descripción experimental de las leyes de Morgan. Donde no (A y B) „es lo mismo que“ (no A) o (no B)

El objetivo del experimento P4.5.1.3 es la verificación experimental de la ley asociativa y de la ley distributiva en la combinación de tres variables.

CIRCUITOS LÓGICOS

- P4.5.2.1
Combinaciones AND, NAND, OR y XOR de cuatro variables
- P4.5.2.3
Multiplexores y demultiplexores
- P4.5.2.4
Adicionadores
- P4.5.2.5
Flip-flops
- P4.5.2.6
Contadores
- P4.5.2.7
Registros de desplazamiento



Flip-flops (P4.5.2.5)

N° de cat.	Descripción	P4.5.2.1	P4.5.2.3-7
571 4011	Tablero lógico 1	1	
571 4021	Tablero lógico 2		1

Una red lógica combinacional es una combinación de circuitos digitales, en la cual las variables de salida están claramente determinadas por las variables de entrada. En una red lógica combinacional se tiene la posibilidad de almacenar estados individuales de variables. Las variables de salida dependen de la historia anterior representada por el estado de conmutación de flip-flops.

En atención al diseño de redes combinacionales complejas como la combinación lógica de cuatro entradas, En el experimento P4.5.2.1 se aplican los conocimientos ganados en los circuitos lógicos combinacionales básicos.

El experimento P4.5.2.3 demuestra cómo se utiliza un multiplexor para cambiar múltiples entradas a una sola salida y cómo un demultiplexor distribuye las señales de una sola línea de entrada a múltiples líneas de salida.

El experimento P4.5.2.4 estudia sumadores discretos y complejos como componentes esenciales de una unidad aritmética.

El objetivo del experimento P4.5.2.5 es entender el funcionamiento de los flip-flops y discutir las diferentes exigencias que se hace al comportamiento de éstos como componentes elementales de un circuito secuencial, y que han llevado al desarrollo de flip-flops RS, D y J-K.

El experimento P4.5.2.6 muestra las propiedades de los contadores en diferentes configuraciones.

En el experimento P4.5.2.7 se estudia el registro de desplazamiento.

ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES Y ANALÓGICAS

P4.5.3.1

Conversor de señal analógica a digital



Conversor de señal analógica a digital (P4.5.3.1)

N° de cat.	Descripción	P4.5.3.1
571 4021	Tablero lógico 2	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1

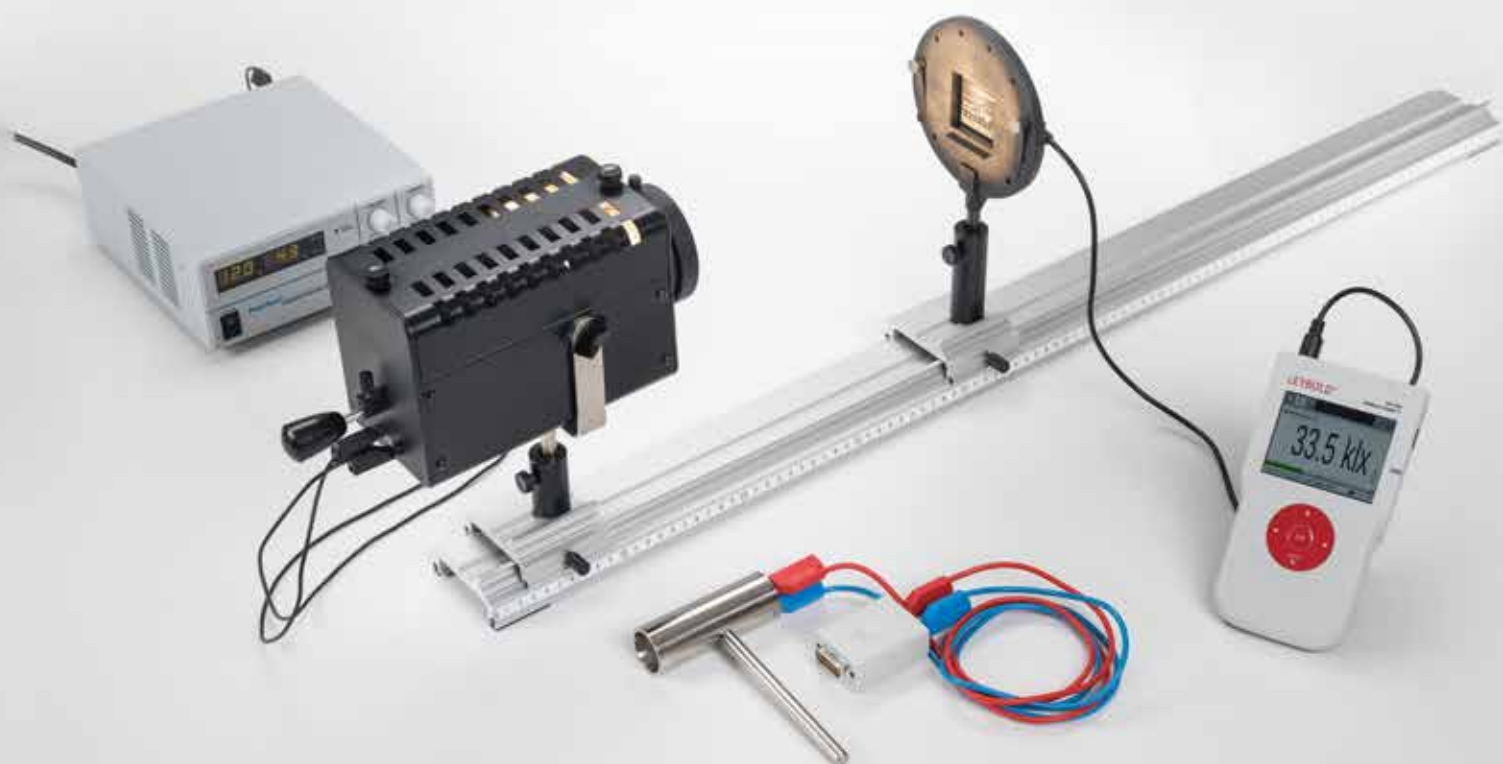
La interconexión de los circuitos digitales con el mundo analógico a menudo requiere del uso de convertidores A/D y D/A. En este proceso, las señales continuas se convierten en señales digitales discretas para poder procesarlas posteriormente. Se investigan las características de transferencia.

El experimento P4.5.3.1 muestra la función de conversión de analógico a digital y de digital a analógico.

P5.5.1.1

Determinación de la intensidad de irradiación y la intensidad lumínica de una lámpara halógena

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 170.



P5 ÓPTICA



P5.1	ÓPTICA GEOMÉTRICA	145
P5.2	DISPERSIÓN, TEORÍA DEL COLOR	149
P5.3	ÓPTICA ONDULATORIA	153
P5.4	POLARIZACIÓN	164
P5.5	INTENSIDAD DE LA LUZ	170
P5.6	VELOCIDAD DE LA LUZ	173
P5.7	ESPECTRÓMETROS	177
P5.8	FOTÓNICA	180

P5 ÓPTICA



P5.1 ÓPTICA GEOMÉTRICA

P5.1.1	Reflexión y refracción	145
P5.1.2	Ley de proyección de imágenes	146
P5.1.3	Distorsión de imágenes	147
P5.1.4	Instrumentos ópticos	148

P5.2 DISPERSIÓN, TEORÍA DEL COLOR

P5.2.1	Índice de refracción y dispersión	149
P5.2.3	Mezcla de colores	150
P5.2.4	Espectros de absorción	151
P5.2.5	Espectros de reflexión	152

P5.3 ÓPTICA ONDULATORIA

P5.3.1	Difracción	153-155
P5.3.2	Interferencia entre dos rayos	156
P5.3.3	Anillos de Newton	157
P5.3.4	Interferómetro de Michelson	158-159
P5.3.5	Otros tipos de interferómetros	160-161
P5.3.6	Holografía de reflexión con luz blanca	162
P5.3.7	Holograma de transmisión	163

P5.4 POLARIZACIÓN

P5.4.1	Experimentos básicos	164
P5.4.2	Birrefringencia	165
P5.4.3	Actividad óptica, polarimetría	166
P5.4.4	Efecto Kerr	167
P5.4.5	Efecto Pockels	168
P5.4.6	Efecto Faraday	169

P5.5 INTENSIDAD DE LA LUZ

P5.5.1	Magnitudes luminotécnicas y métodos de medición	170
P5.5.2	Ley de la radiación	171-172

P5.6 VELOCIDAD DE LA LUZ

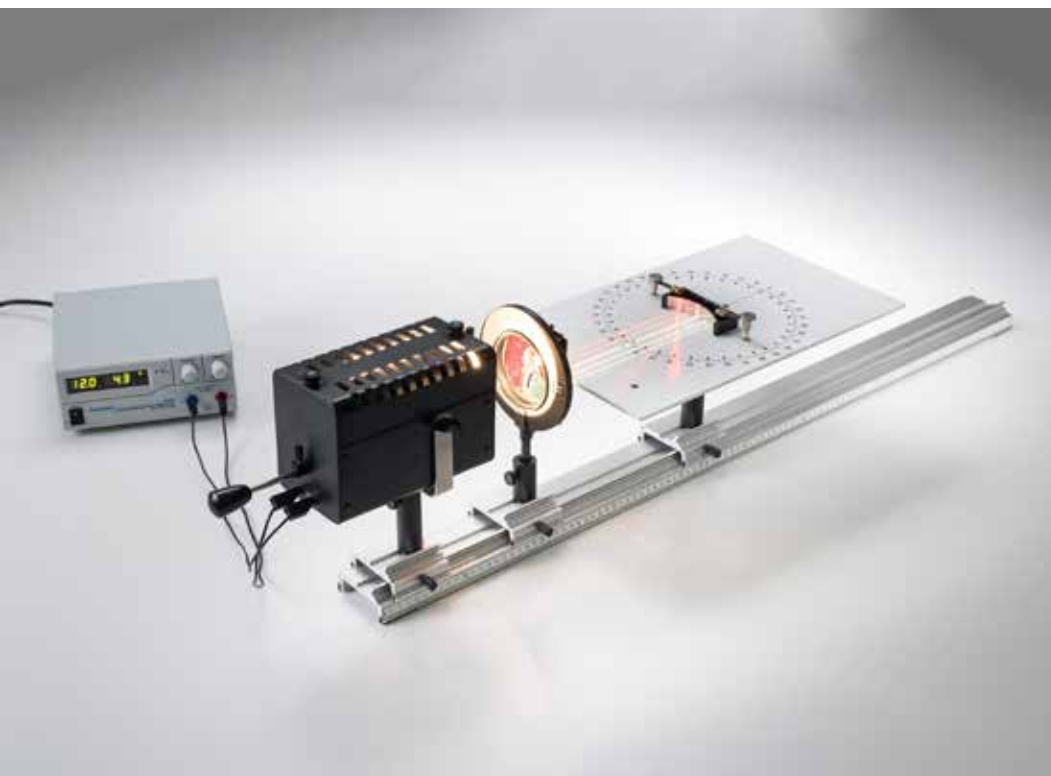
P5.6.1	Medición según Foucault y Michelson	173
P5.6.2	Medición con pulsos cortos de luz	174
P5.6.3	Medición con una señal luminosa periódica	175-176

P5.7 ESPECTRÓMETROS

P5.7.1	Espectrómetro de prisma	177
P5.7.2	Espectrómetro de rejilla	178-179

P5.8 FOTÓNICA

P5.8.3	Aplicaciones ópticas	180
P5.8.5	Aplicaciones técnicas	181-183
P5.8.6	Láser de estado sólido	184-185
P5.8.7	Fibra óptica	186-187
P5.8.8	Aplicaciones técnicas	188-189



REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

P5.1.1.1

Reflexión de la luz en espejos planos y curvados

P5.1.1.2

Refracción de la luz en superficies planas y estudio de recorridos de rayos en prismas y lentes

Reflexión de la luz en espejos planos y curvados (P5.1.1.1)

N° de cat.	Descripción	P5.1.1-2
463 52	Disco óptico con accesorios	1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 681	Lámpara de halógeno 12 V/50 W, G6,35	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
463 51	Diafragma con 5 ranuras	1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2

Para describir la propagación de la luz frecuentemente es suficiente especificar el recorrido del haz de luz. Como ejemplo de ello aquí se estudia los recorridos de la luz en espejos, en lentes y en prismas utilizando formas seccionadas.

En el experimento P5.1.1.1 se observa la formación de la imagen especular obtenida por reflexión en un espejo plano y se muestra la reversibilidad del recorrido del rayo. Experimentalmente se verifica la ley de la reflexión

$$\alpha = \beta$$

α : ángulo de incidencia, β : ángulo de reflexión

Otros temas de experimentos son: la reflexión de un haz de rayos paralelo al eje en el foco de un espejo cóncavo, la existencia de un foco virtual en la reflexión en un espejo convexo, la relación entre foco y radio de curvatura del espejo curvo y, por último, la formación de imágenes reales y virtuales en la reflexión en un espejo curvo.

El experimento P5.1.1.2 trata acerca del cambio de dirección de la luz cuando ésta pasa a otro medio. Cuantitativamente se confirma la ley de refracción encontrada por W. Snellius:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

α : ángulo de incidencia, β : ángulo de refracción,

n_1 : índice del medio 1 (aquí aire),

n_2 : índice del medio 2 (aquí vidrio)

Adicionalmente, se estudia la reflexión total cuando la luz pasa de un medio ópticamente más denso a un medio menos denso, la reunificación de un haz de luz paralelo al eje en un foco de una lente condensadora, la existencia de un foco virtual al pasar un haz paralelo al eje por una lente divergente, la formación de imágenes reales y virtuales en la proyección con lentes y el recorrido de los rayos a través de un prisma.

LEY DE PROYECCIÓN DE IMÁGENES

P5.1.2.1

Determinación de la distancia focal en lentes convergentes y en lentes divergentes con luz paralela al eje

P5.1.2.2

Determinación de la distancia focal en lentes convergentes por autocolimación

P5.1.2.3

Determinación de la distancia focal en lentes condensadoras según el método de Bessel

P5.1.2.4

Verificación de la ley de proyección de imágenes con una lente condensadora



Verificación de la ley de proyección de imágenes con una lente condensadora (P5.1.2.4)

Nº de cat.	Descripción	P5.1.2.1	P5.1.2.2	P5.1.2.3-4
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	1
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1		1
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1		1
460 04	Lente en montura $f = +200$ mm	1		
460 06	Lente en montura $f = -100$ mm	1		
441 53	Pantalla traslúcida	1		1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1	1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm		1	
460 09	Lente en montura $f = +300$ mm		1	
461 66	Diapositivas objeto de proyección, par		1	1
460 28	Espejo plano con rótula		1	

La distancia focal de lentes se determina mediante diferentes métodos. El fundamento para la evaluación en cada uno de ellos son las leyes de proyección de imágenes.

En el experimento P5.1.2.1 se coloca una pantalla de observación en paralelo al eje óptico, de tal manera que se pueda seguir en la pantalla el recorrido de los rayos de un haz de luz paralelo a leje, después de pasar por una lente convergente o por una lente divergente. La distancia focal se mide directamente como la distancia entre el foco y la lente.

En la autocolimación, en el experimento P5.1.2.2 se refleja un haz de luz paralelo al eje en un espejo detrás de la lente, de tal manera que la imagen del objeto se encuentra directamente al lado del objeto mismo. La distancia d entre objeto y lente se varía hasta que la imagen y objeto tengan exactamente el mismo tamaño. Entonces para la distancia focal se cumple:

$$f = d$$

En el método de Bessel, en el experimento P5.1.2.3 se ensamblan el objeto y la pantalla de observación a una distancia total fija s . Entre ambos se debe encontrar dos posiciones de lentes x_1 y x_2 , bajo los cuales el objeto sea proyectado nítidamente sobre la pantalla de observación. De las leyes de proyección de imágenes se obtiene la distancia focal:

$$f = \frac{1}{4} \cdot \left(s - \frac{(x_1 - x_2)^2}{s} \right)$$

En el experimento P5.1.2.4 se mide directamente el tamaño del objeto G , el ancho del objeto g , el tamaño de la imagen B y el ancho de la imagen b para una lente condensadora y se verifica las leyes de las imágenes. La distancia focal se calcula utilizando la fórmula:

$$f = \frac{g \cdot b}{g + b}$$



Aberración esférica en la imagen de lentes (P5.1.3.1)

DISTORSIÓN DE IMÁGENES

P5.1.3.1

Aberración esférica en la imagen de lentes

P5.1.3.2

Astigmatismo y aberración de curvatura en la imagen de lentes

P5.1.3.3

Distorsión en barrilete y en corsé en la imagen de lentes y coma

P5.1.3.4

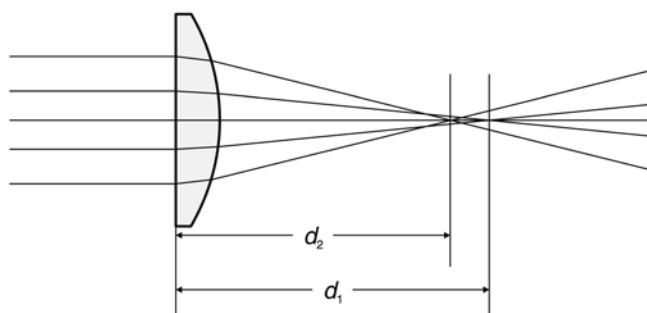
Aberración cromática en la imagen de lentes

N° de cat.	Descripción	P5.1.3.1	P5.1.3.2	P5.1.3.3	P5.1.3.4
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	1	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1	1	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	1	1
461 61	Diafragma para estudio de aberración esférica, par	1			
461 66	Diapositivas objeto de proyección, par	1	1	1	
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1	1	1	1
460 26	Diafragma de iris	1	1		1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2	2
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2	2	2
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm			1	
467 95	Juego de filtros de colores primarios				1

En los experimentos P5.1.3.1 y P5.1.3.2 se observa la falta de nitidez en imágenes. En un trayecto de rayos paralelo al eje, los rayos más cercanos al eje tiene una distancia de corte diferente que los rayos alejados del eje. Este efecto denominado «aberración esférica» se presenta particularmente en lentes con curvaturas muy pronunciadas. El astigmatismo y la aberración de curvatura se observan en proyecciones de objetos extensos con haces de luz estrechos. En realidad, el plano focal es una superficie curvada. Esto se observa en la imagen, en la pantalla de observación, que se hace menos nítida hacia los bordes cuando el centro es visto con nitidez. El astigmatismo es la observación que un haz de luz estrecho y limitado no forma una imagen puntual, sino más bien dos líneas de imagen perpendiculares entre sí con una distancia finita en la dirección del eje.

El objetivo del experimento P5.1.3.3 son las distorsiones en la escala de la fotografía. A través de un diafragma de abertura situado delante o detrás de la lente proyectora se producen defectos en la proyección. Al diafragmar gradualmente por delante de la lente se produce una distorsión de forma de barrilete, esto es una reducción del tamaño de la proyección al aumentar el tamaño del objeto. Al diafragmar gradualmente detrás de la lente se produce una distorsión de forma de corsé. La Coma de una imagen es la distorsión unilateral de una imagen en la forma de cola de cometa, cuando la proyección se hace con un haz de luz que atraviesa la lente con cierta inclinación.

En el experimento P5.1.3.4 se estudia la aberración cromática. Estas son causadas por variación del índice de refracción con la longitud de onda y que por esta razón no se pueden evitar si no se trabaja con luz monocromática.



Distancias de corte de rayos cercanos y rayos lejanos al eje (P5.1.3.1)

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

P5.1.4.1

Lupa y microscopio

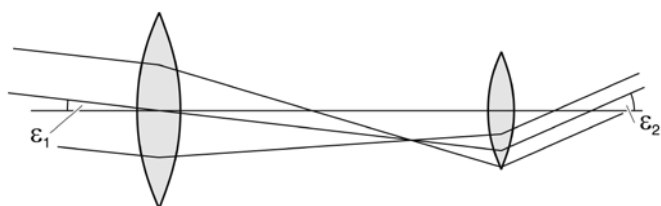
P5.1.4.2

Telescopio de Kepler y telescopio de Galileo



Lupa y microscopio (P5.1.4.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.1.4.1	P5.1.4.2
450 60	Carcasa de lámpara	1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1	
521 210	Transformador 6/12 V	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
311 091	Regla de vidrio graduada 50 mm	1	
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1	1
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1	1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1	
460 04	Lente en montura $f = +200$ mm	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	2
441 53	Pantalla traslúcida	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
460 05	Lente en montura $f = +500$ mm		1
460 06	Lente en montura $f = -100$ mm		1
311 22	Regla vertical, $l = 1$ m		1
300 11	Zócalo		1



Trayecto de los rayos en el telescopio de Kepler (P5.1.4.2)

En estos experimentos se presentan la lupa, el microscopio y el telescopio como instrumentos ópticos cuya función principal es ampliar el ángulo visual. Sobre un banco óptico se ilustra la construcción de estos instrumentos. Para el análisis cuantitativo se hace uso de la definición del aumento:

$$V = \frac{\tan \psi}{\tan \varphi}$$

ψ : ángulo visual con instrumento

φ : ángulo visual sin instrumento

En el experimento P5.1.4.1 se observan objetos pequeños a cortas distancias. Primero se utiliza una lupa como lente condensadora y después se monta un microscopio en su diseño más simple con dos lentes convergentes. La primera lente, el objetivo, genera una imagen intermedia real, aumentada e inversa. La segunda lente, el ocular, se implementa como lupa para observar la imagen intermedia. El aumento total del microscopio viene dado entonces por:

$$V_M = V_{ob} \cdot V_{oc}$$

V_{ob} : tamaño de la imagen del objetivo

V_{oc} : aumento del ocular

En esta expresión V_{oc} corresponde al aumento de la lupa

$$V_{oc} = \frac{s_0}{f_{oc}}$$

s_0 : distancia visual clara

f_{oc} : distancia focal del ocular

El objetivo del experimento P5.1.4.2 es la observación de objetos alejados con un telescopio. El objetivo y el ocular de un telescopio están dispuestos de tal manera que el foco posterior del objetivo coincide con el foco delantero del ocular. Se hace la diferencia entre un telescopio de Galileo, en el cual una lente divergente sirve de ocular y forma una imagen derecha, y el telescopio de Kepler que forma una imagen inversa, debido a que en este caso se utiliza una lente condensadora como ocular. En ambos casos el aumento total está dado por la expresión

$$V_T = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

f_{ob} : distancia focal del objetivo

f_{ok} : distancia focal del ocular



ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y DISPERSIÓN

P5.2.1.1

Determinación del índice de refracción y determinación de la dispersión en vidrio Flint y en vidrio sin plomo

P5.2.1.2

Determinación del índice de refracción y de la dispersión en líquidos

Determinación del índice de refracción y de la dispersión en líquidos (P5.2.1.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.2.1.1	P5.2.1.2
465 22	Prisma de vidrio Crown	1	
465 32	Prisma de vidrio Flint	1	
460 25	Mesa de prisma con soporte	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	1
450 60	Carcasa de lámpara	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1
468 03	Filtro monocromático, rojo	1	1
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1	1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	3	3
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
465 52	Prisma Hueco		1
665 002	Embudo, vidrio, 35 mm Ø		1
675 2100	Tolueno, 250 ml		1
675 0410	Aceite de trementina, rectificar, 250 ml		1
675 4760	Ester etílico del ácido cinámico, 100 ml		1

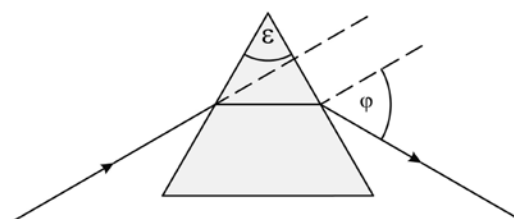
La dispersión es el fenómeno en el que el índice de refracción n es diferente para luz de diferentes colores. Frecuentemente se le llama dispersión a la magnitud $dn/d\lambda$, es decir, al cociente entre el índice de refracción dn y la variación de la longitud de onda $d\lambda$.

En el experimento P5.2.1.1 se determina el ángulo ϑ de la desviación mínima para un prisma de vidrio Flint y para uno de vidrio sin plomo con el mismo ángulo de refracción ε . De aquí se obtiene el índice de refracción del material del prisma según

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varepsilon + \varphi)}{\sin \frac{1}{2}\varepsilon}$$

La medición se lleva a cabo con diferentes longitudes de onda para poder determinar cuantitativamente la dispersión.

En el experimento P5.2.1.2 se estudia la dispersión de líquidos en un montaje experimental similar. En un prisma hueco se llena tolueno, aguarrás, ácido cinámico éster etil, alcohol y agua. Finalmente se observan las grandes diferencias entre los índices de refracción y en la dispersión.



Trayecto de los rayos en un prisma (P5.2.1.1)

MEZCLA DE COLORES

P5.2.3.2
Demostración de la mezcla aditiva de colores

P5.2.3.3
Demostración de la mezcla sustractiva de colores



Demostración de la mezcla aditiva de colores (P5.2.3.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.2.3.2	P5.2.3.3
459 098	Lámpara Triple LED	1	
459 095	Adaptador de alimentación USB 5V CC (clavijero A)	1	1
459 096	Cable USB (A-ST - Mini-B St)	1	1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	1
688 045	Diafragmas deslizantes, juego de 6	1	
467 95	Juego de filtros de colores primarios	1	1
467 96	Juego de filtros de colores secundarios	1	1
467 97	Filtro de colores triple	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	3
460 313	Jinetillo óptico con columna de presión	1	1
459 094	Lámpara LED		1
460 02	Lente en montura f = +50 mm		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1

El reconocimiento de colores del ojo humano se determina mediante tres tipos de receptores cónicos de luz en la retina. La comparación de los diferentes colores (rangos de longitud de onda) del espectro visible, usando la sensibilidad de los diferentes tipos de receptores cónicos, revela la división de la luz en colores primarios: rojo, verde y azul. Las combinaciones de dos diferentes colores primarios resultan en los colores secundarios: cian, magenta y amarillo. Esto significa que los colores secundarios filtran solo el tercer color primario. La combinación de todos los colores primarios resulta en el color blanco.

En el experimento P5.2.3.2 se colocan varios filtros de color (rojo, verde, azul) uno al lado del otro frente a una lámpara con 3 fuentes de luz y en la imagen en una pantalla la superposición de estos colores primarios muestra una mezcla de colores aditiva.

En el experimento P5.2.3.3 se muestra la mezcla de colores sustractivos colocando filtros de color (amarillo, magenta, cian) que se superponen parcialmente en el haz de luz de una lámpara.



Demostración de la mezcla aditiva de colores (P5.2.3.2)

ESPECTROS DE ABSORCIÓN

P5.2.4.3

Espectros de absorción en muestras de vidrios de colores - Registro y evaluación con un espectrómetro espectral

P5.2.4.4

Espectros de absorción y de fluorescencia de líquidos coloreados - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

P5.2.4.5

Espectros de absorción de fibras óptica de PMMA - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

N° de cat.	Descripción	P5.2.4.3	P5.2.4.4	P5.2.4.5
467 96	Juego de filtros de colores secundarios	1		
468 01	Filtro monocromático, rojo oscuro	1		
468 09	Filtro monocromático, azul verde	1		
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1	1	
460 22	Soporte con muelles	1	1	
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1	1	
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1	1	1
460 251	Portafibra óptica	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	3	4	
477 14	Cubeta de vidrio espectral, 50 x 50 x 20		1	
460 25	Mesa de prisma con soporte		1	
300 11	Zócalo		1	2
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø		1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1	
604 5672	Microespátula doble, acero, 150 mm		1	
672 0110	Fluoresceín		1	
451 17	Portalámparas E 27, Enchufes de tipo C de 2,5 Amperios			1
505 302	Bombilla halógena 230 V / 46 W, E27			1
579 44	Guía de luz de fibra óptica, 2 piezas			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

La impresión que se tiene de los colores de vidrios o de líquidos al observarlos al trasluz es generada por la componente transmitida de los colores espectrales.

En el experimento P5.2.4.3 la luz proveniente de una bombilla incandescente que atraviesa varias piezas de vidrio de colores se mide a través de un espectrómetro y se compara con el espectro continuo de la luz proveniente de la bombilla. El espectro original continuo (de colores espectrales) desaparece. Lo que queda es una banda con los componentes de color del filtro. Se calculan el coeficiente de transmisión y la densidad óptica de las piezas de vidrio de color.

En el experimento P5.2.4.4, la luz proveniente de una bombilla incandescente que atraviesa un líquido de color se mide a través de un espectrómetro. La fluorescencia de un líquido de color es medida en ángulo recto. Un filtro azul se implementa para separar claramente la fluorescencia y la dispersión de la luz. Los espectros tanto de absorción como de fluorescencia son comparados con el espectro continuo de la luz proveniente de la bombilla.

En el experimento P5.2.4.5, la luz que atraviesa una fibra óptica se mide con un espectrómetro compacto. Los matices de alto orden de las oscilaciones moleculares crean rangos espectrales de alta absorción, dejando rangos de alta transmisión entre medio llamadas „ventanas ópticas“.



Espectros de absorción et de fluorescencia de líquidos coloreados (P5.2.4.4)

ESPECTROS DE REFLEXIÓN

P5.2.5.1
Espectros de reflexión de materiales diferentes - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

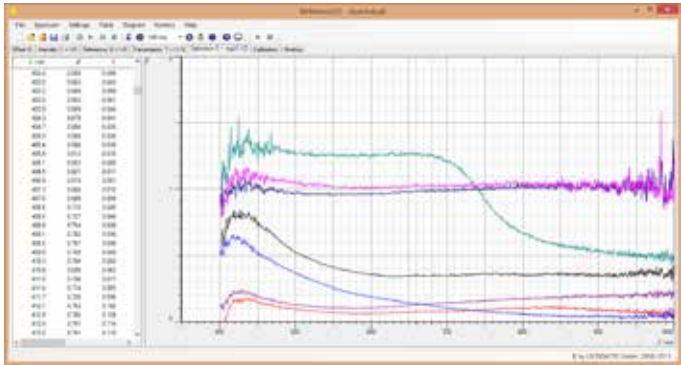


Espectros de reflexión de materiales diferentes - Registro y evaluación con un espectrofotómetro (P5.2.5.1)

N° de cat.	Descripción	P5.2.5.1
567 06	Conductores/aislantes, juego de 6	1
460 22	Soporte con muelles	1
450 60	Carcasa de lámpara	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1
521 210	Transformador 6/12 V	1
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1
460 251	Portafibraóptica	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	3
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Los colores que percibimos de objetos opacos son inducidos por la componente reflejada de los colores espectrales.

En el experimento P5.2.5.1, la luz proveniente de una bombilla incandescente, reflejada por diferentes materiales se mide usando un espectrómetro. En comparación con la reflexión de una hoja de papel blanco (luz dispersa), se puede calcular el coeficiente de reflexión.



Reflectividad de distintos materiales contra una longitud de onda (P5.2.5.1)



DIFRACCIÓN

P5.3.1.1

Difracción en una rendija, en un poste y en un diafragma de agujero de forma circular

P5.3.1.2

Difracción en una rendija doble y en rendija múltiple

P5.3.1.3

Difracción en una rejilla unidimensional y en una rejilla bidimensional

Difracción en una rendija doble y en rendija múltiple (P5.3.1.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.1.1	P5.3.1.2	P5.3.1.3
469 91	Diafragma con 3 ranuras simples	1		
469 96	Diafragma con 3 agujeros de difracción	1		
469 97	Diafragma con 3 puentecillos de difracción	1		
460 22	Soporte con muelles	1	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1	1
460 01	Lente en montura $f = +5$ mm	1	1	1
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	4	4	4
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1
300 11	Zócalo	1	1	1
469 84	Diafragma con 3 ranuras dobles		1	
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles		1	
469 86	Diafragma con 5 ranuras múltiples		1	
469 87	Diafragma con 3 rejillas			1
469 88	Diafragma con 2 rejillas bidimensionales			1

Para medir las intensidades de difracción se utiliza un sensor Lux que se puede desplazar sobre un jinetillo óptico en dirección perpendicular al eje óptico y cuya posición lateral se mide con un sensor de giro.

La coherencia es la propiedad de las ondas que permite a éstas revelar diagramas de interferencia estacionarios. La coherencia espacial de una fuente de luz puede ser examinada en el interferómetro de doble abertura de Young. La fuente de luz ilumina una abertura doble con la anchura de abertura b y la distancia g . Si las haces parciales emitidas por la fuente de luz son coherentes antes de atravesar las dos aberturas, un diagrama de interferencia es observado detrás de la abertura doble. La condición de iluminación coherente de la abertura doble es

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L} (g + b) < \frac{\lambda}{2}$$

En el experimento P5.3.1.1 se estudia los mínimos de intensidad de la difracción en una rendija. Para una rendija de ancho b sus ángulos ϑ_k respecto al eje óptico están dados por

$$\sin \vartheta_k = k \cdot \frac{\lambda}{b} \quad (k = 1; 2; 3; \dots; K)$$

λ : longitud de onda de la luz

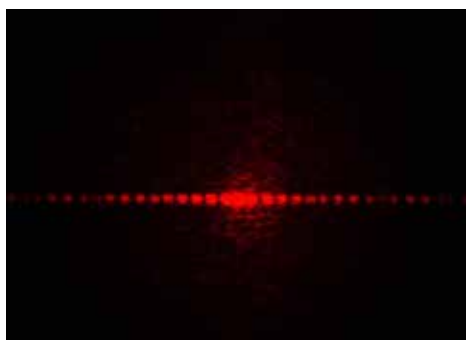
Un resultado similar se obtiene de la difracción en un puentecillo según el teorema de Babinet. En la difracción en un diafragma de abertura de forma circular con radio r se observan anillos de difracción concéntricos, cuyos mínimos de intensidad se encuentran bajo los ángulos ϑ_k vienen descritos por

$$\sin \vartheta_k = k \cdot \frac{\lambda}{r} \quad (k = 0,610; 1,116; 1,619; \dots; K)$$

En el experimento P5.3.1.2 se observa la difracción en una rendija doble. Los máximos de intensidad se forman por interferencia constructiva de las ondas elementales de la primera rendija con las ondas elementales de la segunda rendija y cuyos ángulos ϑ_n vienen descritos por

$$\sin \vartheta_n = n \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (n = 0; 1; 2; \dots; K)$$

para una distancia d desde el centro de una rendija al centro de la otra. La intensidad de diferentes máximos no es constante, debido a la influencia de la difracción en una rendija individual. En la difracción en más de dos rendijas con la misma distancia entre rendijas d la posición de los máximos de interferencia permanecen constante. Para un ancho de rendija fijo b , entre cada dos máximos se encuentra adicionalmente $N-2$ máximos secundarios, cuya intensidad decrece cuando el número de rendijas N aumenta.



Patrón de interferencia de experimento P5.3.1.2 en la pantalla (P5.3.1.2)

DIFRACCIÓN

P5.3.1.4

Difracción en una rendija simple -
Registro y evaluación con CASSY

P5.3.1.5

Difracción en una rendija doble y
en una rendija múltiple - Registro y
evaluación con CASSY



Difracción en una rendija simple - Registro y evaluación con CASSY (P5.3.1.4)

N° de cat.	Descripción	P5.3.1.4	P5.3.1.5
460 14	Rendija variable	1	
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	2
460 01	Lente en montura $f = +5$ mm	1	1
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1	1
460 33	Banco óptico con perfil normal, 2 m	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	4	4
460 383	Jinetillo de corredera 90/50	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 444	Sensor Lux M	1	1
524 082	Sensor de giro S	1	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1	1
309 48	Sedal	1	1
342 63	Pesa 50 g	1	1
469 84	Diafragma con 3 ranuras dobles		1
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles		1
469 86	Diafragma con 5 ranuras múltiples		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

La coherencia es la propiedad de las ondas que permite a éstas revelar diagramas de interferencia estacionarios. La coherencia espacial de una fuente de luz puede ser examinada en el interferómetro de doble abertura de Young. La fuente de luz ilumina una abertura doble con la anchura de abertura b y la distancia g . Si las haces parciales emitidas por la fuente de luz son coherentes antes de atravesar las dos aberturas, un diagrama de interferencia es observado detrás de la abertura doble. La condición de iluminación coherente de la abertura doble es

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L} (g + b) < \frac{\lambda}{2}$$

En el experimento P5.3.1.4 se estudia la difracción en una rendija de ancho variable. Los datos registrados para la intensidad I son comparados con el resultado obtenido del cálculo de un modelo para un ángulo de difracción φ pequeño, en el que el ancho de rendija b es considerado como parámetro:

$$I : \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \varphi} \right)^2 \text{ con } \varphi = \frac{s}{L}$$

λ : longitud de onda de la luz

s : desplazamiento lateral del fotoelemento

L : distancia entre cuerpo de difracción y fotoelemento

En el experimento P5.3.1.5 se observa la difracción en rendijas múltiples. En el cálculo de un modelo para fines de comparación se consideran como parámetros al ancho de rendija b y la distancia d entre rendijas.

$$I : \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \varphi} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(\frac{N \pi d}{\lambda} \varphi\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \varphi\right)} \right)^2$$

N : número de rendijas iluminadas

DIFRACCIÓN

P5.3.1.9

Estudio de la coherencia espacial de una fuente luminosa extendida



Estudio de la coherencia espacial de una fuente luminosa extendida (P5.3.1.9)

N° de cat.	Descripción	P5.3.1.9
451 062	Lámpara espectral Hg 100	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 370	Jinetillo 60/34	2
460 373	Jinetillo 60/50	1
460 374	Jinetillo 90/50	3
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1
460 22	Soporte con muelles	2
688 045	Diafragmas deslizantes, juego de 6	1
460 14	Rendija variable	1
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
460 135	Ocular gratificado	1

Para medir las intensidades de difracción se utiliza un sensor Lux que se puede desplazar sobre un jinetillo óptico en dirección perpendicular al eje óptico y cuya posición lateral se mide con un sensor de giro.

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L} (g + b) < \frac{\lambda}{2}$$

El experimento P5.3.1.9 analiza la condición de coherencia espacial. La fuente de luz consiste en una abertura simple de ancho variable, iluminada por una lámpara espectral de mercurio. En combinación con un filtro, esto resulta en una fuente de luz monocromática con anchura variable a . Aberturas dobles con diferentes distancias g entre aberturas (pero con la anchura de abertura b constante) son iluminadas a una distancia L . Para cada distancia g , la anchura a de la abertura simple (ajustable) es determinada en el momento que el diagrama de interferencia desaparece, esto es, después de pasar por la abertura doble. En este caso, la condición de coherencia ya no es válida.

INTERFERENCIA ENTRE DOS RAYOS

P5.3.2.1
Interferencia en un espejo de Fresnel con un láser de He-Ne

P5.3.2.2
Experimento de Lloyd con un láser de He-Ne

P5.3.2.3
Interferencia en un biprisma de Fresnel con un láser de He-Ne



Interferencia en un espejo de Fresnel con un láser de He-Ne (P5.3.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.2.1-2	P5.3.2.3
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
471 05	Espejo de Fresnel sobre vástago	1	
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	1
460 04	Lente en montura f = +200 mm	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	3	3
460 373	Jinetillo 60/50	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 53	Calibradores vernier	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
471 09	Biprisma de Fresnel		1
460 25	Mesa de prisma con soporte		1

Para generar dos fuentes luminosas coherentes se ejecutan tres experimentos descritos en la bibliografía: En los experimentos se determina la longitud de onda λ de la luz implementada d partir de la distancia a entre bandas de interferencia y de la distancia L de las fuentes luminosas (virtuales).Para una distancia L suficiente grande entre las fuentes luminosas (virtuales) y la pantalla de proyección se cumple que

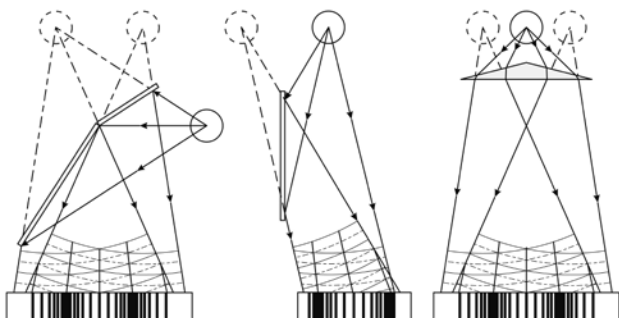
$$\lambda = a \cdot \frac{d}{L}$$

La determinación del parámetro a depende de cada montaje experimental.

En 1821 *A. Fresnel* consiguió generar, por reflexión de una fuente luminosa en dos espejos inclinados, un par de fuentes virtuales muy cercanas que interfieren entre sí debido a su coherencia - P5.3.2.1.

En 1839 *H. Lloyd* demostró que por reflexión en un espejo se puede generar una segunda fuente luminosa virtual que es coherente a la primera. El observó interferencias entre la luz directa y la luz reflejada - P5.3.2.2.

La generación de fuentes de luz coherentes también puede ser realizada mediante el biprisma diseñado por *A. Fresnel* en 1826 (P5.3.2.3.). Por refracción en ambos prismas mitades se generan dos imágenes virtuales que se encuentran más cerca cuanto más pequeño es el ángulo del prisma.



Espejo de Fresnel - espejo de Lloyd - biprisma (P5.3.2.1-3)

ANILLOS DE NEWTON

P5.3.3.1

Anillos de Newton con luz monocromática transmitida

P5.3.3.2

Anillos de Newton con luz blanca transmitida y reflejada



Anillos de Newton con luz blanca transmitida y reflejada (P5.3.3.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.3.1	P5.3.3.2
471 111	Disco de vidrio para demostrar los anillos de Newton	1	1
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	2	
460 26	Diafragma de iris	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	6	5
451 111	Lámpara espectral Na	1	
451 062	Lámpara espectral Hg 100	1	
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1	
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1	
468 30	Filtro de luz, amarillo	1	
468 31	Filtro de luz, verde	1	
468 32	Filtro de luz, azul	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	
300 11	Zócalo	1	
460 04	Lente en montura $f = +200$ mm		2
460 373	Jinetillo 60/50		1
460 380	Prolongación		1
471 88	Divisor de haces		2
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1

Para producir los anillos de Newton se utiliza un montaje experimental en el cual una lente convexa levemente curvada toca una placa de vidrio plana, formándose una cuña de aire con una superficie curvada separadora. Al iluminarla perpendicularmente con luz paralela incidente se observan, tanto en la reflexión como en la transmisión, anillos de interferencia concéntricos (los anillos de Newton) alrededor del punto de contacto de ambas superficies de vidrio. La diferencia de recorrido entre ambos rayos parciales que interfieren depende predominantemente del espesor d de la cuña, el cual depende a su vez de la distancia r al punto de contacto entre superficies en una relación no lineal:

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

R : radio de curvatura de la lente convexa

En el experimento P5.3.3.1 se estudia en transmisión los anillos de Newton utilizando luz monocromática. En el caso de que la longitud de onda λ , sea conocida es posible determinar el radio de curvatura R a partir de los radios r_n de los anillos de interferencia. La condición para la interferencia constructiva viene dada por:

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{con } n = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

De aquí se obtiene para los radios de los anillos de interferencia claros:

$$r_n^2 = n \cdot R \cdot \lambda \quad \text{con } n = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

En el experimento P5.3.3.2 se hace un estudio de los anillos de Newton tanto en la reflexión como en transmisión. Como en cada reflexión en las superficies de vidrio los rayos parciales en la cuña de aire experimentan un salto de fase en $\lambda/2$, las condiciones de interferencia para la reflexión y transmisión son complementarias. Los radios r_n de los anillos claros calculados anteriormente en transmisión son exactamente los radios de los anillos oscuros en la reflexión. En particular, el centro de los anillos de Newton es claro en la transmisión, mientras que en la reflexión es oscuro. Como sólo se emplea luz blanca los anillos de interferencia están rodeados por bordes de colores.

INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

P5.3.4.1

Montaje de un interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica con láser

P5.3.4.2

Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Michelson



Montaje de un interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.4.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.4.1	P5.3.4.2
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
473 411	Portalláser	1	1
473 421	Pie óptico	4	5
473 432	Divisor de haz 50%	1	1
473 431	Soporte para divisor de haz	1	1
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2
473 471	Lente esférica $f=2,7$ mm	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 02	Regla de metal, $l = 1$ m	1	1
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico		1

Un interferómetro de Michelson trabaja de la siguiente manera: un rayo de luz coherente es descompuesto en dos rayos mediante un elemento óptico. Los rayos parciales recorren diferentes caminos, se reflejan en sí mismos y son juntados nuevamente. Como ambos rayos tienen una relación de fase fija, la superposición de los mismos puede generar un patrón de difracción. Si se cambia la longitud del camino óptico de uno de los rayos, entonces la relación de fase cambia y también el patrón de interferencia. A partir de la variación del patrón de interferencia, y para un índice de refracción constante, se pueden determinar diferencias de los caminos geométricos. Si el camino geométrico permanece constante, entonces se pueden estudiar las variaciones del índice de refracción, causadas por ej. por fluctuaciones de presión, temperatura o densidad.

La coherencia temporal puede ser investigada mediante un interferómetro de tipo Michelson. La diferencia de tiempo máxima Δt en la que la interferencia se puede observar, se denomina el tiempo de coherencia. La longitud de coherencia se define como la distancia Δs_c que recorre la luz en el tiempo de coherencia. Las típicas longitudes de coherencia son algunas micras en fuentes de luz incandescentes, algunos milímetros en fuentes de luz espectrales y muchos metros en láseres. Además, el tiempo de coherencia Δt_c depende de la anchura espectral $\Delta \nu$ o $\Delta \lambda$ de la fuente de luz:

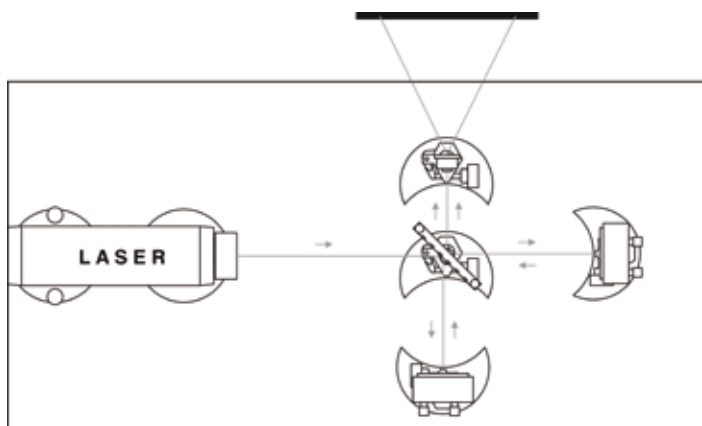
$$\Delta \nu = \frac{1}{\Delta t_c} \quad \text{o} \quad \Delta \lambda = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta t_c}$$

En el experimento P5.3.4.1 se monta el interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica láser, dotada con un aislamiento contra vibraciones. El montaje es extremadamente apropiado para detectar vibraciones mecánicas y remolinos de aire.

En el experimento P5.3.4.2 se determina la longitud de onda de un rayo láser de He-Ne a partir de la variación del patrón de interferencia al desplazar uno de los espejos del interferómetro y a partir del recorrido desplazado Δs del espejo. Durante ese desplazamiento las bandas de interferencia migran sobre la pantalla de observación. Para la evaluación se cuenta los máximos de intensidad, o los mínimos de intensidad, que pasan por un punto fijo sobre la pantalla, mientras que el espejo plano es desplazado. Para la longitud de onda λ se cumple la ecuación de primer grado:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta s}{Z}$$

Z: número de los máximos o mínimos de intensidad contados



Montaje de un interferómetro de Michelson (P5.3.4.1)



INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

P5.3.4.3

Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Michelson - Montaje sobre el banco óptico

P5.3.4.4

Determinación de la coherencia temporal y la anchura de líneas espectrales con un interferómetro de Michelson

P5.3.4.5

Estudio de la ampliación de líneas en función de la presión con un interferómetro de Michelson

P5.3.4.6

Determinación de la disociación lineal de dos líneas espectrales con un interferómetro de Michelson

Determinación de la coherencia temporal y la anchura de líneas espectrales con un interferómetro de Michelson (P5.3.4.4)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.4.3	P5.3.4.4	P5.3.4.5	P5.3.4.6
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1			
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1	1	1
460 373	Jinetillo 60/50	1	1	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	5	7	7	7
471 88	Divisor de haces	1	1	1	1
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2	2	2
460 380	Prolongación	1	1	1	1
460 01	Lente en montura $f = +5$ mm	1			
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico	1	1	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	1
300 11	Zócalo	1	1	1	1
311 02	Regla de metal, $l = 1$ m	1			
451 062	Lámpara espectral Hg 100		1	1	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales		1	1	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja		1	1	1
460 26	Diafragma de iris		2	2	2
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso		1	1	
460 22	Soporte con muelles		1	1	1
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión			1	
451 19	Portalámparas E27, enchufe múltiple			1	
468 30	Filtro de luz, amarillo				1

La coherencia temporal puede ser investigada mediante un interferómetro de tipo Michelson. La diferencia de tiempo máxima Δt en la que la interferencia se puede observar, se denomina el tiempo de coherencia. La longitud de coherencia se define como la distancia Δs_c que recorre la luz en el tiempo de coherencia. Las típicas longitudes de coherencia son algunas micras en fuentes de luz incandescentes, algunos milímetros en fuentes de luz espectrales y muchos metros en láseres. Además, el tiempo de coherencia Δt_c depende de la anchura espectral $\Delta \nu$ o $\Delta \lambda$ de la fuente de luz:

$$\Delta \nu = \frac{1}{\Delta t_c} \quad \text{o} \quad \Delta \lambda = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta t_c}$$

En el experimento P5.3.4.3 el interferómetro de tipo Michelson se instala en el banco óptico. Se determina la longitud de onda de un láser de He-Ne a partir del cambio del diagrama de interferencia, al mover un espejo interferométrico y crear así un cambio de posición Δs del mismo espejo.

En el experimento P5.3.4.4 se determina la longitud de onda λ de una línea espectral verde de Hg proveniente de una lámpara espectral de mercurio. Para medir la longitud de coherencia, las posiciones del espejo plano movable son registradas cuando el diagrama de interferencia es apenas visto. A partir de la diferencia de longitud de trayectoria, se determinan la longitud de coherencia Δs_c , el tiempo de coherencia Δt_c y la anchura de línea $\Delta \nu$.

En el experimento P5.3.4.5, se determinan y comparan las longitudes de coherencia y las anchuras espectrales de la línea espectral verde, tanto de una lámpara espectral de Hg como de una lámpara de mercurio a alta presión. La alta presión en la lámpara de mercurio conduce a un ensanchamiento significativo de la línea espectral, que se manifiesta en una longitud de coherencia más corta.

En el experimento P5.3.4.6, la longitud de onda promedio λ y la separación de línea $\Delta \lambda$ del doblete de la línea amarilla son determinadas. Considerando dos longitudes de onda próximas λ_1 y λ_2 , la superposición coherente de dos haces conduce al siguiente efecto: El contraste entre anillos brillantes y oscuros del diagrama de interferencia es grande para cierta diferencia de longitud de trayectoria, mientras que el diagrama de interferencia desaparece completamente para todas las demás diferencias de longitud de trayectoria.

OTROS TIPOS DE
INTERFERÓMETROS

P5.3.5.1
Montaje de un interferómetro de
Mach-Zehnder sobre la placa base
para óptica con láser

P5.3.5.2
Medición del índice de refracción
del aire con un interferómetro de
Mach-Zehnder



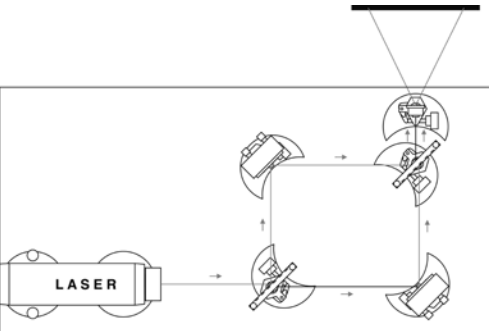
Medición del índice de refracción del aire con un interferómetro de Mach-Zehnder (P5.3.5.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.5.1	P5.3.5.2
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
473 411	Portaláser	1	1
473 421	Pie óptico	5	6
473 431	Soporte para divisor de haz	2	2
473 432	Divisor de haz 50%	2	2
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
473 485	Camara de vacío		1
375 58	Bomba manual de vacío		1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø		1
604 520	Empalme para manguera PP, 4 - 8 / 8 - 12		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
666 555	Pinza universal 0...80 mm		1

Un interferómetro de Mach-Zehnder trabaja del siguiente modo: un rayo de luz coherente se descompone en dos a través de un elemento óptico. Los rayos parciales son desviados por un espejo y luego son reunidos otra vez. Como ambos rayos parciales tienen una relación de fase fija, entonces por superposición se forma un patrón de interferencia. Si varía la longitud del camino óptico de uno de los rayos, entonces la relación de fase cambia y con ello también el patrón de interferencia. A partir de la variación del patrón de interferencia se pueden obtener conclusiones acerca de la variación de la longitud del camino óptico. Como los rayos parciales no se reflejan en si mismos, sino que recorren diferentes caminos, los experimentos son más claros y didácticos que con el interferómetro de Michelson, aunque es difícil de ajustar.

En el experimento P5.3.5.1 se monta el interferómetro de Mach-Zehnder sobre la placa base para óptica Láser con aislamiento contra vibraciones.

En el experimento P5.3.5.2 se determina el índice de refracción del aire. A tal fin, en el trayecto de uno de los rayos parciales del interferómetro de Mach-Zehnder se coloca una cámara evacuable. Al evacuar lentamente la cámara se varía la longitud del camino óptico del rayo parcial en cuestión.



Montaje de un interferómetro de Mach-Zehnder sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.5.1)

OTROS TIPOS DE INTERFERÓMETROS

P5.3.5.3

Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Fabry-Perot



Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Fabry-Perot (P5.3.5.3)

N° de cat.	Descripción	P5.3.5.3
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	5
473 432	Divisor de haz 50%	2
473 431	Soporte para divisor de haz	2
473 461	Espejo plano de ajuste fino	1
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico	1
473 471	Lente esférica $f = 2,7 \text{ mm}$	1
441 53	Pantalla traslúcida	1
300 11	Zócalo	1
311 02	Regla de metal, $l = 1 \text{ m}$	1

Además de los interferómetros de Michelson y Mach-Zender, se pueden utilizar más geometrías para dividir un haz de luz en dos partes y dejar que se superpongan después. Uno de uso práctico particular es el interferómetro de Fabry-Perot. En el experimento P5.3.5.3, los espejos de la placa base del láser están dispuestos para configurar un interferómetro de Fabry-Perot con dos espejos paralelos en línea. El primer espejo semitransparente divide el haz de luz, mientras que el segundo espejo completamente reflectante refleja la luz de nuevo para superponerse con el primer haz reflejado. Mover el segundo espejo cambiará la longitud del resonador, lo que cambiará el patrón de interferencia y permitirá la medición de la longitud de onda del láser.

HOLOGRAFÍA DE REFLEXIÓN
CON LUZ BLANCA

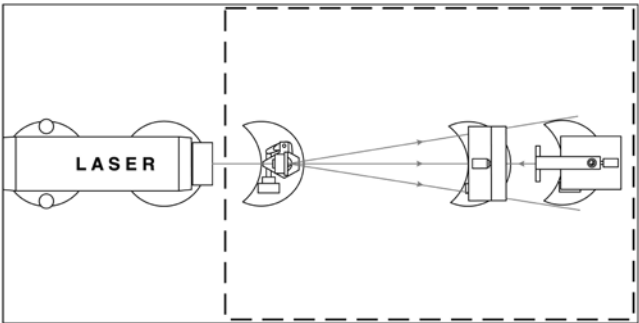
P5.3.6.1
Elaboración de hologramas de
reflexión con luz blanca sobre la
placa base para óptica con láser



Elaboración de hologramas de reflexión con luz blanca sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.6.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.6.1
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	3
473 441	Soporte de película	1
473 451	Soporte de objeto	1
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1
663 615	Caja de distribución	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1
649 11	Juego de 6 cubetas 1x1 RE	1
661 234	Frasco de gollete ancho PE, 1000 ml	3
667 016	Tijera, 200 mm de largo	1
473 448	Película para holografía, 3000 líneas/mm	1
473 446	Accesorios para el cuarto oscuro	1
473 444	Sustancias químicas para fotografía	1
671 8910	Nitrato de hierro(III)-9-hidrato, 250 g	1
672 4910	Bromuro potásico, 100 g	1

Al crear hologramas de reflexión de luz blanca, un rayo láser ampliado atraviesa una película e ilumina un objeto colocado detrás de la película. La luz se refleja desde la superficie del objeto hacia la película, donde se superpone con las ondas de luz del rayo láser original. La película consiste en una emulsión fotosensible de suficiente espesor. La interferencia crea ondas estacionarias dentro de la película, es decir, una serie de numerosos nodos y antinodos a una distancia de λ/4 de separación. La película está expuesta en los planos de los antinodos pero no en los nodos. Se forman capas semitransparentes de plata metálica en las áreas expuestas.
En el experimento P5.3.6.1 se registran hologramas de reflexión con luz blanca. Para que la vista del experimentador no sea expuesta innecesariamente al peligro se ha implementado un láser de Clase 2 de protección. Mediante diferentes tratamientos fotoquímicos de la película expuesta se pueden elaborar hologramas de amplitud y hologramas de fase.



Montaje del experimento para hologramas por reflexión de luz blanca (P5.3.6.1)



HOLOGRAMA DE TRANSMISIÓN

P5.3.7.1

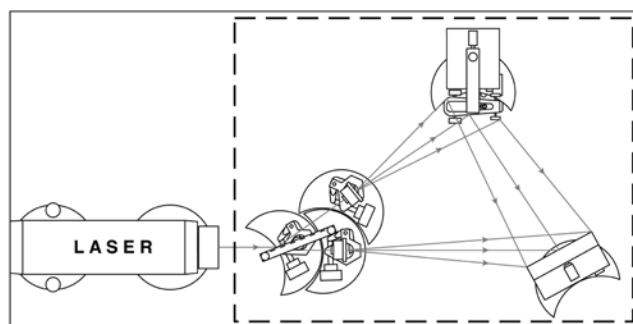
Elaboración de hologramas de transmisión sobre la placa base para óptica con láser

Elaboración de hologramas de transmisión sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.7.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.3.7.1
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portalláser	1
473 421	Pie óptico	5
473 432	Divisor de haz 50%	1
473 431	Soporte para divisor de haz	1
473 441	Soporte de película	1
473 451	Soporte de objeto	1
473 471	Lente esférica $f = 2,7 \text{ mm}$	2
311 02	Regla de metal, $l = 1 \text{ m}$	1
663 615	Caja de distribución	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1
649 11	Juego de 6 cubetas 1x1 RE	1
661 234	Frasco de gollete ancho PE, 1000 ml	3
667 016	Tijera, 200 mm de largo	1
473 448	Película para holografía, 3000 líneas/mm	1
473 446	Accesorios para el cuarto oscuro	1
473 444	Sustancias químicas para fotografía	1
671 8910	Nitrato de hierro(III)-9-hidrato, 250 g	1
672 4910	Bromuro potásico, 100 g	1

Para elaborar hologramas de transmisión un rayo láser se divide en dos rayos, uno denominado rayo del objeto y el otro, rayo de referencia, que se ensanchan. El rayo del objeto ilumina un objeto reflejándose en él. Sobre una película la luz reflejada se superpone al rayo de referencia coherente. Sobre ella las ondas de luz de ambos rayos parciales interfieren. En la película queda fijado un patrón de interferencia irregular, que exteriormente no tiene ningún parecido con el objeto registrado. En la reconstrucción del holograma se hace difractar un rayo de luz en un holograma de amplitudes. Este rayo hace las veces de rayo de referencia siendo las ondas difractadas prácticamente idénticas con las ondas del objeto originalmente difractadas. En la reconstrucción del holograma de fases se utiliza el desplazamiento de fase de las ondas de referencia. El observador podrá observar en ambos casos una imagen tridimensional del objeto.

En el experimento P5.3.7.1 se elaboran hologramas de transmisión y posteriormente se realiza la reconstrucción. Para que la vista del experimentador no sea expuesta innecesariamente al peligro se ha implementado un láser de Clase 2 de protección. Mediante diferentes tratamientos fotoquímicos de la película expuesta se pueden elaborar hologramas de amplitud y hologramas de fase.



Montaje del experimento para producir hologramas de transmisión (P5.3.7.1)

EXPERIMENTOS BÁSICOS

P5.4.1.1

Polarización de la luz por reflexión en una placa de vidrio

P5.4.1.2

Ley de Fresnel de la reflexión

P5.4.1.3

Polarización de la luz por dispersión en una emulsión

P5.4.1.4

Ley de Malus



Ley de Fresnel de la reflexión (P5.4.1.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.4.1.1	P5.4.1.2	P5.4.1.3	P5.4.1.4
477 33	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 102,5 mm	1	1	1	
460 25	Mesa de prisma con soporte	1	1	1	
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1		1
450 66	Deslizador de imágenes	1	1		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1		1
460 26	Diafragma de iris	1	1	1	1
472 401	Filtro de polarización	2	2	2	2
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1		1
441 53	Pantalla traslúcida	1			
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m	2	2		
460 3151	Manguito giratorio con escala	1	1		
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	1	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	6	5	5
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1		1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2		2
460 08	Lente en montura f = +150 mm		1		
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1		1
531 183	Multímetro Digital 3340		1		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1		1
450 60	Carcasa de lámpara			1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2			1	
460 20	Condensador esférico con porta diafragma			1	
521 210	Transformador 6/12 V			1	
460 04	Lente en montura f = +200 mm			1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m			1	1

La polarización de la luz es una prueba importante de la naturaleza transversal de las ondas luminosas. La luz natural no está polarizada. Está compuesta de trenes de ondas independientes entre sí, desordenados, y en donde cada uno posee una determinada polarización. La selección de los trenes de ondas con una determinada polarización se denomina polarización de la luz.

En el experimento P5.4.1.1 se refleja luz no polarizada en una superficie de vidrio. En la observación con un analizador se comprueba que la luz reflejada cuando menos está polarizada parcialmente. La polarización es máxima cuando la reflexión tiene lugar bajo el ángulo de Brewster α_p . De la relación

$$\tan \alpha_p = n$$

se obtiene el índice de refracción n del vidrio.

Una observación más exacta nos conduce a las leyes de la reflexión, que establecen la relación entre las amplitudes reflejadas e incidentes para diferentes direcciones de polarización. Las leyes se verifican cuantitativamente en el experimento P5.4.1.2.

En el experimento P5.4.1.3 se muestra que la luz no polarizada, también se polariza por dispersión en una emulsión, por ejemplo en leche diluida, o se muestra que la luz polarizada no se dispersa homogéneamente en todas las direcciones.

El objetivo del experimento P5.4.1.4 es la ley de Malus: Si la luz polarizada incide sobre un analizador, entonces la intensidad de la luz transmitida sigue la relación:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$$

I_0 : intensidad de la luz incidente

φ : ángulo entre la dirección de polarización y el analizador



Placa de cuarto de onda y de media onda (P5.4.2.2)

BIRREFRINGENCIA

P5.4.2.1

Birrefringencia y polarización en calcita

P5.4.2.2

Placa de cuarto de onda y de media onda

P5.4.2.3

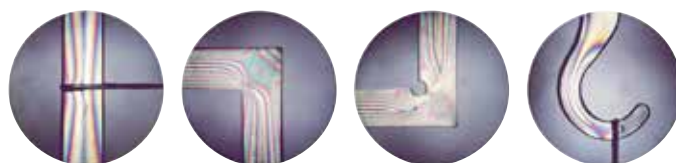
Fotoelasticidad: Estudio de la distribución de esfuerzos en cuerpos bajo carga mecánica

N° de cat.	Descripción	P5.4.2.1	P5.4.2.2	P5.4.2.3
472 02	Cristal de espato calizo	1		
460 25	Mesa de prisma con soporte	1		1
460 26	Diafragma de iris	1		1
472 401	Filtro de polarización	1	2	2
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1		
460 06	Lente en montura $f = -100$ mm	1		
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	5	5	8
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1	1
450 66	Deslizador de imágenes	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2	2
472 601	Placa de cuarto de onda, 140 nm		2	2
472 59	Placa de mitad de onda		1	
468 30	Filtro de luz, amarillo		1	
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1	
460 21	Soporte para elemento enchufable		1	
531 183	Multímetro Digital 3340		1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1	
471 95	Juego de modelos fotoelásticos			1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm			2
300 11	Zócalo			1

En el experimento P5.4.2.1 se estudia la birrefringencia de la calcita. Se observa que los rayos parciales que surgen en el cristal están linealmente polarizados, en donde las dos direcciones de polarización son perpendiculares entre sí.

En el experimento P5.4.2.2 se estudia las propiedades de las placas de $\lambda/4$ y $\lambda/2$, las cuales se explican mediante su birrefringencia. Se muestra que la denominación de las placas está relacionada con la diferencia de recorrido entre los rayos parciales ordinarios y extraordinarios al pasar a través de las placas.

En el experimento P5.4.2.3 se determina el tamaño y dirección de las tensiones mecánicas de modelos de plástico transparentes. El material plástico se vuelve ópticamente birrefringente bajo la acción de esfuerzos mecánicos. De aquí que sea posible visualizar las tensiones en el modelo con métodos ópticos de polarización. Los modelos de plástico son iluminados, por ejemplo, en un montaje compuesto de un polarizador y un analizador. Por la doble refracción en el plástico bajo esfuerzo, la luz se polariza elípticamente. Por esta razón los lugares bajo esfuerzo son notorios y pueden ser vistos como zonas más claras en el campo visual. En otro montaje, los modelos de plástico son iluminados con luz circularmente polarizada y observados con un sistema combinado compuesto de una placa de cuarto de onda y un analizador. Aquí también los lugares bajo esfuerzo pueden ser reconocidos por la claridad del campo visual.



Fotoelasticidad: Investigando la distribución del elongamiento en cuerpos sujetos a tensión mecánica (P5.4.2.3)

ACTIVIDAD ÓPTICA, POLARIMETRÍA

P5.4.3.1

Rotación del plano de polarización
mediante cuarzo

P5.4.3.2

Rotación del plano de polarización
mediante soluciones de azúcar

P5.4.3.3

Montaje de un polarímetro de
penumbra con elementos discretos

P5.4.3.4

Determinación de la concentración
en soluciones de azúcar con un
polarímetro común



Rotación del plano de polarización mediante soluciones de azúcar (P5.4.3.2)

Nº de cat.	Descripción	P5.4.3.1	P5.4.3.2	P5.4.3.3	P5.4.3.4
472 621	Cuarzo, paralelo	1			
472 641	Cuarzo, diestro	1			
472 651	Cuarzo, zurdo	1			
460 22	Soporte con muelles	1	1		
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1	1	
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1	1	
450 66	Deslizador de imágenes	1	1	1	
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1	
468 30	Filtro de luz, amarillo	1		1	
472 401	Filtro de polarización	2	2	2	
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	4	5	
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1	
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2	2	
477 33	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 102,5 mm		1		
460 25	Mesa de prisma con soporte		1	1	
468 03	Filtro monocromático, rojo		1		
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso		1		
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta		1		
666 963	Cuchara con espátula		1	1	1
674 6050	D(+)-sacarosa, 100 g		1	1	1
688 107	Láminas polarizadoras de 38 mm Ø, juego de 2			1	
688 109	Juego de 100 portaobjetos cubreobjetos 5 x 5 cm			1	
477 31	Cubeta de vidrio óptico 40 x 20 x 104 mm			1	
657 591	Polarímetro				1
664 111	Vaso, 100 ml, forma alta				1
OHC R221	Balanza compacta CR221, 220 g : 0,1 g				1

Como actividad óptica se denomina la capacidad de algunas sustancias de girar el plano de polarización de luz linealmente polarizada al pasar por la sustancia. En los denominados polarímetros se mide el ángulo de giro.

En el experimento P5.4.3.1 se estudia la actividad óptica de cristales en especial del cuarzo. Según la dirección de corte referida al eje óptico, el cuarzo es dextrógiro o levógiro. El ángulo de giro depende fuertemente de la longitud de onda de la luz, por esta razón se utiliza un filtro de color amarillo.

En el experimento P5.4.3.2 se estudia la actividad óptica de una solución de azúcar. Los ángulos de giro α de soluciones ópticamente activas son proporcionales a la concentración c de la solución en una distancia de cubeta dada.

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot d$$

$[\alpha]$: capacidad de giro de la solución ópticamente activa

En el experimento P5.4.3.3 se monta un polarímetro de penumbra con elementos discretos. Componentes esenciales del montaje son polarizador y analizador; entre ellos se coloca la sustancia ópticamente activa. La mitad del campo visual está cubierta con una lámina de polarización adicional, cuya dirección de polarización está girada levemente respecto a la otra mitad. De esta forma se facilita la medición del ángulo de giro.

En el experimento P5.4.3.4 se miden las concentraciones de soluciones de azúcar mediante un polarímetro de uso corriente y se compara con los valores obtenidos mediante pesadas.



Determinación de la concentración en soluciones de azúcar con un polarímetro común (P5.4.3.4)



Estudio del efecto Kerr en nitrobenzol (P5.4.4.1)

EFFECTO KERR

P5.4.4.1

Estudio del efecto Kerr en nitrobenzol

N° de cat.	Descripción	P5.4.4.1
473 31	Célula de Kerr	1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1
450 66	Deslizador de imágenes	1
468 03	Filtro monocromático, rojo	1
468 05	Filtro monocromático, amarillo	1
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1
472 401	Filtro de polarización	2
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1
460 25	Mesa de prisma con soporte	1
441 53	Pantalla traslúcida	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 373	Jinetillo 60/50	6
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2

J. Kerr descubrió en 1875 que los campos eléctricos en sustancias isotrópicas producen birrefringencia. La birrefringencia aumenta con el cuadrado del campo eléctrico. Por razones de simetría, el eje óptico de la birrefringencia se encuentra en la dirección del campo. El índice de refracción normal de la sustancia cambia a n_e en la dirección de oscilación paralela al campo aplicado y a n_o en la dirección de oscilación perpendicular al campo. Experimentalmente se comprueba que

$$n_e - n_o = K \cdot \lambda \cdot E^2$$

K : constante de Kerr

λ : longitud de onda de la luz utilizada

E : campo eléctrico

En el experimento P5.4.4.1 se verifica el efecto Kerr en nitrobenzol, ya que en este caso la constante de Kerr es particularmente grande. El líquido se llena en un pequeño recipiente de vidrio, en el que se ha construido un condensador de placas apropiado. El montaje se encuentra entre dos filtros de polarización cruzados perpendiculares entre sí, y es iluminado con un haz de luz linealmente polarizado. El campo visual está oscuro si no se aplica el campo eléctrico. Cuando se aplica el campo eléctrico el campo visual se esclarece, debido a que el haz de luz al pasar por el líquido birrefringente se polariza elípticamente.

EFFECTO POCKELS

P5.4.5.1
Demostración del efecto Pockels en un trayecto conoscópico de un rayo

P5.4.5.2
Efecto Pockels: Transmisión de información



Demostración del efecto Pockels en un trayecto conoscópico de un rayo (P5.4.5.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.4.5.1	P5.4.5.2
472 90	Célula de Pockels	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1	
472 401	Filtro de polarización	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	5	4
441 53	Pantalla traslúcida	1	
300 11	Zócalo	1	1
500 604	Cables de seguridad para experimentación, 10 cm, negros	1	
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	3
522 621	Generador de funciones S 12		1
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1
532 20	Amplificador de c.c./c.a. 30 W		1
587 08	Altavoz de banda ancha		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2

La aparición de birrefringencia o el cambio de la birrefringencia ya existente en un campo eléctrico lineal con la intensidad de campo eléctrico se denomina efecto Pockel. Este es un fenómeno cercano al efecto Kerr. A causa de su dependencia lineal respecto a la intensidad de campo eléctrico y por razones de simetría, el efecto Pockel solo puede presentarse en cristales sin centro de inversión.

En el experimento P5.4.5.1 se verifica el efecto Pockel en un cristal de LiNb situado en el trayecto conoscópico de los rayos. El cristal es iluminado con un haz de luz linealmente polarizada, divergente y la luz transmitida se observa detrás de un analizador cruzado. El eje óptico del cristal birrefractante, todavía sin campo eléctrico, se encuentra en paralelo a la superficie de entrada y de salida. Por esta razón el patrón de interferencia que se forma está compuesto de dos familias de hipérfesferas, girada en 90° entre sí.

En el experimento P5.4.5.2 se demuestra la aplicación del efecto Pockel para la transmisión de señales con frecuencia de audio. A la tensión continua aplicada en el cristal de la celda de Pockel se le sobrepone la señal de salida de un generador de funciones, cuya amplitud es de unos voltios. La intensidad de la luz transmitida a través de la celda de Pockel se mide con una celda solar. La intensidad de la luz está modulada con la frecuencia sobrepuesta. La señal recibida se hace pasar por un amplificador y de allí a un altavoz para que pueda ser escuchada.

EFFECTO FARADAY

P5.4.6.1

Efecto Faraday: Determinación de la constante de Verdet para vidrio Flint en función de la longitud de onda



Efecto Faraday: Determinación de la constante de Verdet para vidrio Flint en función de la longitud de onda (P5.4.6.1)

N° de cat.	Descripción	P5.4.6.1
560 482	Cubo de vidrio flint con soporte	1
460 381	Jinetillo con rosca	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
560 31	Par de zapatos polares perforados	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1
450 66	Deslizador de imágenes	1
468 05	Filtro monocromático, amarillo	1
468 09	Filtro monocromático, azul verde	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1
468 13	Filtro monocromático, violeta	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
472 401	Filtro de polarización	2
441 53	Pantalla traslúcida	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 373	Jinetillo 60/50	5
521 551	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 0 ... 10 A	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

Las sustancias transparentes isotrópicas son ópticamente activas en un campo magnético; es decir, el plano de polarización de la luz polarizada gira al pasar por la sustancia. Con este efecto se encontró *M. Faraday* en 1845 al buscar un enlace entre fenómenos magnéticos y ópticos. El ángulo de giro del plano de polarización es proporcional a la longitud s irradiada y al campo magnético B .

$$\Delta\varphi = V \cdot B \cdot s$$

La constante de proporcionalidad V se le denomina constante de Verdet. Esta depende de la longitud de onda λ de la luz y de la dispersión.

$$V = \frac{e}{2mc^2} \cdot \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Para el vidrio de Flint, la siguiente ecuación se cumple con cierta aproximación:

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{1,8 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2}{\lambda^3}$$

En el experimento P5.4.6.1 se calibra un campo magnético con un sonda campo magnético en función de la intensidad de corriente que pasa por los electroimanes y luego se estudia el efecto Faraday en un vidrio Flint. Para mejorar la precisión en la medición se mide cada vez el doble del ángulo de giro al cambiar la polaridad del campo magnético. Con esta experiencia se confirma la proporcionalidad entre ángulo de giro y el campo magnético, y la reducción de la constante de Verdet con la longitud de onda λ .

MAGNITUDES LUMINOTÉCNICAS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

P5.5.1.1

Determinación de la intensidad de radiación y la intensidad luminica de una lámpara halógena

P5.5.1.2

Determinación de la intensidad luminica en función de la distancia a la fuente luminosa - Medición con Mobile-CASSY

P5.5.1.3

Verificación de la ley de radiación de Lambert



Determinación de la intensidad luminica en función de la distancia a la fuente luminosa - Medición con Mobile-CASSY (P5.5.1.2)

N° de cat.	Descripción	P5.5.1.1	P5.5.1.2	P5.5.1.3
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1		1
450 66	Deslizador de imágenes	1		
468 03	Filtro monocromático, rojo	1		
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 0401	Sensor de μV S	1		1
524 444	Sensor Lux M	1	1	
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1		1
460 22	Soporte con muelles	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1	1
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	1		1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2		2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1		1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1		1
450 60	Carcasa de lámpara		1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2		1	
521 210	Transformador 6/12 V		1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35		1	2
450 681	Lámpara de halógeno 12 V/50 W, G6,35			1
460 26	Diafragma de iris			1
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m			2
460 3151	Manguito giratorio con escala			1

Existen dos grupos de parámetros físicos para caracterizar la luminosidad de fuentes de luz: parámetros físicos de irradiación que describen mediante instrumentos de medición la irradiación de energía, y los parámetros luminicos que describen la luminosidad percibida subjetivamente y que consideran la sensibilidad espectral del ojo humano.

Al primer grupo pertenece la intensidad de irradiación E_e , que indica la potencia irradiada Φ_e por unidad de superficie. Su unidad es el vatio por metro cuadrado. La unidad luminotécnica correspondiente es la intensidad luminosa E , es decir, el flujo de luz entregado por unidad de superficie Φ_v . Su unidad es el Lumen por metro cuadrado, abreviado, Lux.

En el experimento P5.5.1.1 se mide la intensidad de irradiación con la termopila de Moll y la intensidad luminosa con el medidor de luz. El fotoelemento del medidor de luz ha sido adaptado a la sensibilidad espectral $V(\lambda)$ del ojo humano. Como fuente luminosa sirve una lámpara halógena. Del espectro de esta última se absorbe la mayor parte de la luz visible con un filtro de color y la componente infrarroja de la irradiación con un filtro térmico.

En el experimento P5.5.1.2 se verifica que la intensidad luminosa depende del cuadrado de la distancia entre la fuente puntual de luz y la superficie iluminada. El objetivo del experimento P5.5.1.3 es la distribución angular de la radiación reflejada por una superficie reflectora difusa, por ejemplo un papel mate blanco. El observador parece ver que la superficie tiene la misma claridad en todas las direcciones; sin embargo, la superficie aparente varía con el coseno del ángulo de observación. La dependencia de la intensidad de irradiación se describe mediante la ley de radiación de Lambert:

$$E_e(\phi) = E_e(0) \cdot \cos \phi$$



Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro” en función de su temperatura (P5.5.2.1)

LEY DE LA RADIACIÓN

P5.5.2.1

Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro” en función de su temperatura

P5.5.2.2

Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro” en función de su temperatura - Registro y evaluación con CASSY

P5.5.2.3

Verificación de la ley de la radiación con el cubo de radiación de Leslie

N° de cat.	Descripción	P5.5.2.1	P5.5.2.2	P5.5.2.3
555 81	Horno eléctrico tubular, 230 V	1	1	
389 43	Accesorio para cuerpo negro	1	1	
502 061	Caja de conexión de seguridad	1	1	
555 84	Soporte para el horno eléctrico tubular	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1		1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	1	1	1
524 0401	Sensor de $\mu V S$	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	
460 3113	Abrazadera tipo jinete de 105/65	2	2	2
460 380	Prolongación	1	1	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1	
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1
388 181	Bomba de inmersión	1*	1*	
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1*	1*	
667 194	Tubo de silicona 7 mm $\varnothing$, 1 m	1*	1*	
604 3131	Cisterna de gollote ancho 10 l	1*	1*	
524 013	Sensor-CASSY 2		1	
524 220	CASSY Lab 2		1	
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K		1	
389 261	Cubo de Leslie con agitador			1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD			1
303 25	Calefactor de inmersión			1
664 117	Vaso, 1000 ml, forma alta			1
665 009	Embudo PP 75 mm $\varnothing$			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1	

* se requiere adicionalmente

La potencia irradiada total M_B de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente con la cuarta potencia de su temperatura absoluta T (Ley de Stefan-Boltzmann):

$$M_B = \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}: \text{ constante de Stefan-Boltzmann}$$

Para todos los otros cuerpos la potencia irradiada M es menor que la del cuerpo negro. Esta depende de las propiedades de la superficie del cuerpo. La siguiente relación se denomina grado de emisión del cuerpo

$$\varepsilon = \frac{M}{M_B}$$

M : potencia irradiada del cuerpo

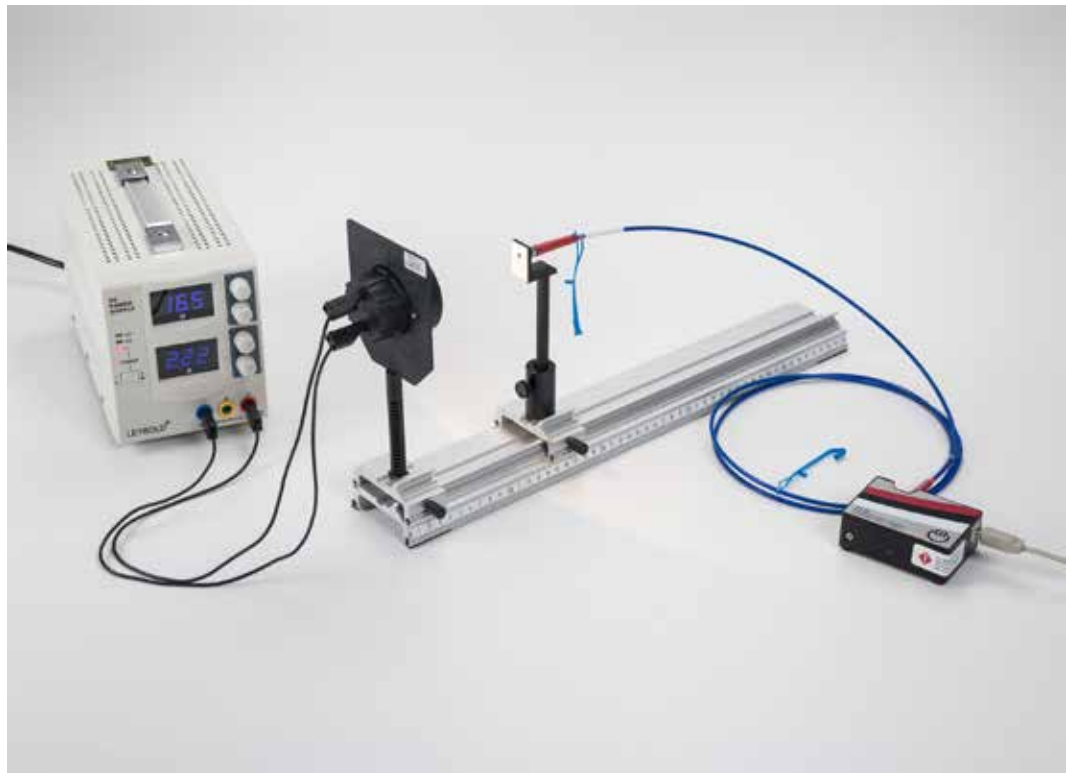
En los experimentos P5.5.2.1 y P5.5.2.2 se utiliza un horno tubular concilindro de latón pavonado como «cuerpo negro». El cilindro de latón es calentado a la temperatura deseada entre 300 y 750 K. Para medir la temperatura se utiliza un termoelemento. Delante del horno se coloca un diafragma que es refrigerado con agua cuando es necesario, y de tal forma que sólo se mide la irradiación térmica del cilindro de latón pavonado. La medición se lleva a cabo con una pila termoelectrica de Moll, cuya tensión de salida es una medida de la potencia irradiada M . La termopila puede ser conectada a Mobile-CASSY o a la interfaz CASSY a través al sensor de $\mu V S$ /de la unidad. En el primer caso la medición se realiza puntualmente de forma manual y en el segundo caso la medición y evaluación se realiza con asistencia del ordenador. El objetivo de la evaluación es la verificación de la ley de Stefan-Boltzmann.

En el experimento P5.5.2.3 se utiliza el cubo de irradiación de Leslie. Este cubo tiene cuatro superficies laterales diferentes (mate metálico, brillante metálico, laqueado blanco y negro laqueado) y puede ser llenado con agua caliente desde dentro hasta temperaturas de 100 °C. Aquí se mide la irradiación térmica emanada por las superficies del cubo en función de la temperatura en descenso. El objetivo de la evaluación es la comparación del grado de emisión de las superficies del cubo.

LEY DE LA RADIACIÓN

P5.5.2.4

La ley de desplazamiento de Wien - registro espectral de radiación integral de cuerpo negro



La ley de desplazamiento de Wien - registro espectral de radiación integral de cuerpo negro (P5.5.2.4)

Nº de cat.	Descripción	P5.5.2.4
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1
460 251	Portafibraóptica	1
459 032	Lámpara de halógeno 12 V/20 W	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1
460 313	Jinetillo óptico con columna de presión	1
501 451	Par de cables 50 cm, negro	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

La potencia irradiada total M_B de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente con la cuarta potencia de su temperatura absoluta T (Ley de Stefan-Boltzmann):

$$M_B = \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}: \text{ constante de Stefan-Boltzmann}$$

Para todos los otros cuerpos la potencia irradiada M es menor que la del cuerpo negro. Esta depende de las propiedades de la superficie del cuerpo. La siguiente relación se denomina grado de emisión del cuerpo

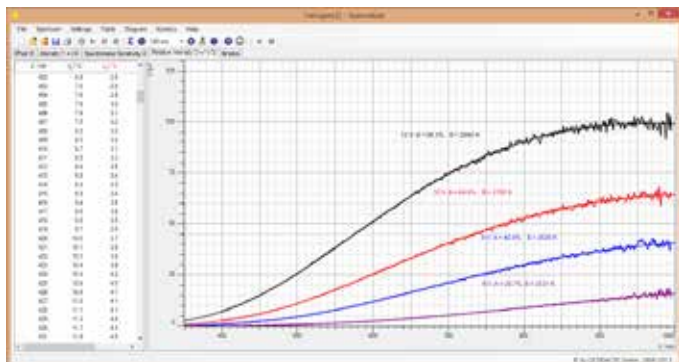
$$\varepsilon = \frac{M}{M_B}$$

M : potencia irradiada del cuerpo

En el experimento P5.5.2.4, una lámpara incandescente, calentada por un flujo de corriente a través de un conductor eléctrico, resplandece. El espectro emitido es continuo y se puede describir mediante la fórmula de radiación de Planck. El valor máximo de la radiación se desplaza hacia longitudes de onda más cortas con el incremento de la temperatura T siguiendo la ley del desplazamiento de Wien $\lambda_{\text{max}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} / T$

Al mismo tiempo, el valor máximo de la radiación se incrementa. A temperaturas alcanzadas por lámparas incandescentes normales, es decir entre 2300 y 2900 K, la intensidad máxima de la radiación se ubica en el rango espectral infrarrojo. Lámparas halógenas operan a una temperatura ligeramente más alta, alrededor de 3000 K.

Este experimento mide el espectro luminoso de una lámpara en función a diferentes niveles de potencia. La especificación de la temperatura de color a 12 V de voltaje nominal, permite la obtención de la sensibilidad del espectrómetro en función a la longitud de onda. De esta manera, permite también una visualización correcta del transcurso de la intensidad espectral. A continuación, una tensión es aplicada a la lámpara halógena y luego reducida en escalas. La temperatura de color de la lámpara en función a la tensión es determinada mediante una función de ajuste adecuada.



Emisión espectral de una bombilla de luz a diferentes temperaturas (P5.5.2.4)



MEDICIÓN SEGÚN FOUCAULT Y MICHELSON

P5.6.1.1

Determinación de la velocidad de la luz con el método del espejo giratorio de Foucault y Michelson - Medición del desplazamiento de la imagen en función de la velocidad de rotación del espejo

Determinación de la velocidad de la luz con el método del espejo giratorio de Foucault y Michelson - Medición del desplazamiento de la imagen en función de la velocidad de rotación del espejo (P5.6.1.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.6.1.1
476 40	Espejo giratorio con motor de 230 V	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
463 20	Espejo óptico	1
460 12	Lente en montura $f = +5$ m	1
471 88	Divisor de haces	1
460 22	Soporte con muelles	1
311 091	Regla de vidrio graduada 50 mm	1
521 40	Transformador variable de 0 a 250 V	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1
559 921	Detector de semiconductor	1
501 02	Cable BNC, 1 m	1
501 10	Unión recta, BNC	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	4
300 11	Zócalo	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
301 09	Mordaza doble S	1
311 02	Regla de metal, $l = 1$ m	1

La medición de la velocidad de la luz según el método del espejo giratorio se basa en el método propuesto por *L. Foucault* en 1850 que *A. A. Michelson* optimizó en 1878: En la modificación propuesta aquí se utiliza un láser como fuente de luz. El rayo láser es desviado hacia un espejo final, situado al lado del láser, mediante un espejo giratorio. El espejo final refleja la luz de tal manera que retorna por el mismo camino cuando el espejo giratorio está en reposo. Una parte de la luz que retorna es reflejada hacia una escala mediante un divisor de rayos. Una lente proyecta la imagen de la fuente de luz sobre el espejo final y la imagen de la fuente de luz sobre la escala. El rayo principal entre lente y espejo final corre en paralelo al eje de la lente, ya que el espejo giratorio se encuentra en el foco de la lente.

Tan pronto como el espejo giratorio gira con una alta frecuencia ν , se observa un desplazamiento Δx de la imagen sobre la escala en el tiempo

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

que requiere la luz para ir y venir desde el espejo giratorio al espejo final, el espejo gira el ángulo

$$\Delta \alpha = 2\pi \nu \cdot \Delta t$$

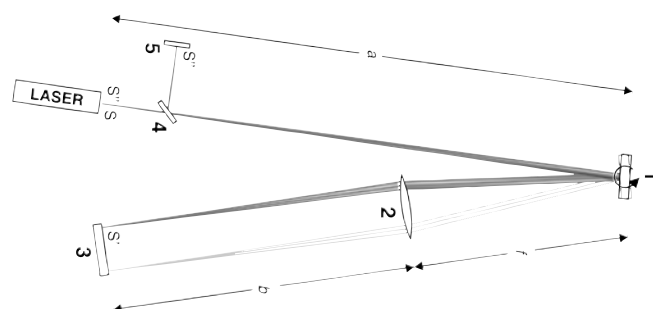
El desplazamiento de la imagen es entonces

$$\Delta x = 2\Delta \alpha \cdot a$$

La velocidad de la luz se obtiene de:

$$c = 8\pi \cdot a^2 \cdot \frac{\nu}{\Delta x}$$

Para determinar la velocidad de la luz, en el experimento P5.6.1.1 se mide el desplazamiento de la imagen en función del número de revoluciones del espejo.



MEDICIÓN CON PULSOS
CORTOS DE LUZ

P5.6.2.1
Determinación de la velocidad de la luz en el aire a partir del espacio y el tiempo recorridos por un pulso corto de luz

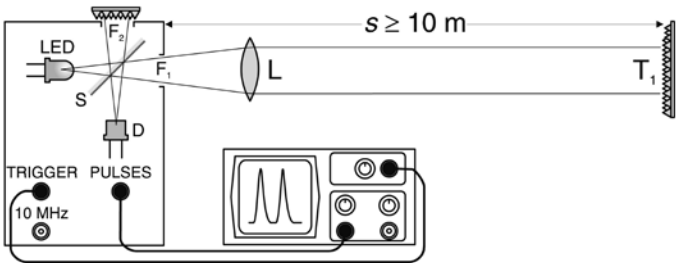


Determinación de la velocidad de la luz en el aire a partir del espacio y el tiempo recorridos por un pulso corto de luz (P5.6.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.6.2.1
476 50	Unidad para medición velocidad de la luz (VLM)	1
460 10	Lente en montura $f = +200$ mm	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1
460 374	Jinetillo 90/50	2
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1
501 02	Cable BNC, 1 m	3
311 02	Regla de metal, $l = 1$ m	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm $\varnothing$	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1

El instrumento de medición de la velocidad de la luz envía pulsos de luz de unos 20 ns de duración, los cuales se convierten en pulsos de tensión después de recorrer de ida y de vuelta una distancia de medición conocida para su observación en un osciloscopio.

En el experimento P5.6.2.1 se varía una sola vez el camino recorrido por los pulsos de luz y con el osciloscopio se mide la variación del tiempo de recorrido. La velocidad de la luz se calcula como el cociente entre la variación del recorrido y la variación del tiempo de recorrido. Como alternativa se determina el tiempo total de recorrido de los pulsos de luz utilizando un pulso de referencia absoluto. La velocidad de la luz es en este caso el cociente de la distancia recorrida y el tiempo de recorrido. Para calibrar la medición del tiempo se puede representar en el osciloscopio, de manera simultánea con el pulso de medición, una señal de un oscilador controlado con cuarzo. La medición del tiempo es independiente de la base de tiempo del osciloscopio.



Esquema del principio de medición de la velocidad de la luz con pulsos cortos de luz (P5.6.2.1)

MEDICIÓN CON UNA SEÑAL LUMINOSA PERIÓDICA

P5.6.3.1

Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta

P5.6.3.2

Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación



Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación (P5.6.3.2)

N° de cat.	Descripción	P5.6.3.1	P5.6.3.2
476 301	Emisor y receptor de luz	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1	1
300 11	Zócalo	2	4
311 02	Regla de metal, $l = 1$ m	1	1
476 35	Tubo con 2 ventanas terminales		1
476 34	Cuerpo de vidrio acrílico		1*
477 32	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 52,5 mm		1*
460 25	Mesa de prisma con soporte		1*
671 9720	Etanol - solvente, 1 l		1*
672 1210	Glicerina, 99%, 250 ml		1*

* se requiere adicionalmente

En la determinación de la velocidad de la luz con una señal modulada electrónicamente el emisor de luz es un diodo luminoso, cuya intensidad está pulsada con 60 MHz. El receptor es un fotodiodo que convierte la señal de luz en una tensión alterna de 60 MHz. Mediante un cable de conexión se transmite al receptor una señal de referencia sin cronizada a la señal del emisor, que al inicio de una medición es sobrepuesta a la señal receptora. Por último el receptor es desplazado a una distancia Δs , de tal manera que la señal receptora experimenta un desplazamiento de fase en el tiempo de recorrido adicional Δt de la señal de luz.

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Delta t \quad \text{con } f_1 = 60 \text{ MHz}$$

Alternativamente también se puede colocar un medio óptico denso en el trayecto de los rayos. Aparentemente, el tiempo a medir puede ser aumentado con una treta electrónico: la señal receptora y la señal de referencia son mezcladas cada una con una señal de 59.9 MHz (multiplicada) y recorren un filtro de frecuencia que sólo deja pasar la componente de más baja frecuencia, la frecuencia de la diferencia $f_1 - f_2 = 0.1$ MHz. El desplazamiento de fase en la mezcla permanece sin cambiar; sin embargo, este desplazamiento corresponde a un tiempo de medición mayor $\Delta t'$ en el factor

$$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 600$$

Los medidores de distancia (distanciómetros) modernos utilizan en sus mediciones un haz de luz láser modulado periódicamente. Estos determinan la fase entre el rayo láser emitido y el rayo reflejado modulado y obtienen, con la frecuencia de modulación conocida, el tiempo transcurrido t de la luz para el camino recorrido hasta el reflector y de retorno. Los distanciómetros calculan después la distancia tomando la velocidad de la luz como parámetro conocido.

En el experimento P5.6.3.1 se mide el aparente tiempo de recorrido $\Delta t'$ en función de la distancia de medición Δs y se calcula la velocidad de la luz en el aire según

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t'} \cdot \frac{f_1}{f_1 - f_2}$$

En el experimento P5.6.3.2 se determina la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación. Como accesorio se dispone de un tubo para llenar con agua, de 1 m de largo con dos ventanas en los extremos, una caja de vidrio de 5 cm de ancho para otros líquidos y un cuerpo de vidrio acrílico de 5 cm de ancho.



Medición de la velocidad de la luz en el vidrio acrílico (P5.6.3.2)

MEDICIÓN CON UNA SEÑAL LUMINOSA PERIÓDICA

P5.6.3.3

Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY

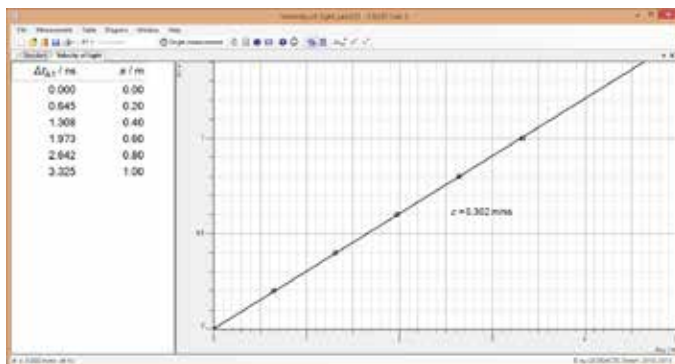
P5.6.3.4

Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY



Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY (P5.6.3.3)

N° de cat.	Descripción	P5.6.3.3	P5.6.3.4
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 073	Sensor de movimiento con láser S	1	1
337 116	Topes amortiguadores, par	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	
477 32	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 52,5 mm		1
476 34	Cuerpo de vidrio acrílico		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1



Tiempos de tránsito de la luz a diferentes distancias (P5.6.3.3)

En la determinación de la velocidad de la luz con una señal modulada electrónicamente el emisor de luz es un diodo luminoso, cuya intensidad está pulsada con 60 MHz. El receptor es un fotodiodo que convierte la señal de luz en una tensión alterna de 60 MHz. Mediante un cable de conexión se transmite al receptor una señal de referencia sin cronizada a la señal del emisor, que al inicio de una medición es sobrepuesta a la señal receptora. Por último el receptor es desplazado a una distancia Δs , de tal manera que la señal receptora experimenta un desplazamiento de fase en el tiempo de recorrido adicional Δt de la señal de luz.

$$\Delta \varphi = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Delta t \quad \text{con } f_1 = 60 \text{ MHz}$$

Alternativamente también se puede colocar un medio óptico denso en el trayecto de los rayos. Aparentemente, el tiempo a medir puede ser aumentado con una treta electrónico: la señal receptora y la señal de referencia son mezcladas cada una con una señal de 59.9 MHz (multiplicada) y recorren un filtro de frecuencia que sólo deja pasar la componente de más baja frecuencia, la frecuencia de la diferencia $f_1 - f_2 = 0.1 \text{ MHz}$. El desplazamiento de fase en la mezcla permanece sin cambiar; sin embargo, este desplazamiento corresponde a un tiempo de medición mayor $\Delta t'$ en el factor

$$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 600$$

Los medidores de distancia (distanciómetros) modernos utilizan en sus mediciones un haz de luz láser modulado periódicamente. Estos determinan la fase entre el rayo láser emitido y el rayo reflejado modulado y obtienen, con la frecuencia de modulación conocida, el tiempo transcurrido t de la luz para el camino recorrido hasta el reflector y de retorno. Los distanciómetros calculan después la distancia tomando la velocidad de la luz como parámetro conocido.

En el experimento P5.6.3.3 se utiliza el sensor de movimiento Láser S como medidor del tiempo transcurrido, porque puede entregar directamente el tiempo transcurrido t . Se verifica la proporcionalidad entre distancia recorrida y el tiempo transcurrido de la luz y luego se calcula la velocidad de la luz.

En el experimento P 5.6.3.4 se colocan agua y plexiglás de espesor d en la trayectoria del rayo y se mide el aumento del tiempo transcurrido Δt . Con el valor de la velocidad de la luz c en el aire obtenido en el experimento P5.6.3.3 anterior se puede determinar la velocidad de la luz c_M en la materia:

$$c_M = 2d \left(\frac{2d}{c} + \Delta t \right) = \frac{1}{\frac{1}{c} + \frac{\Delta t}{2d}}$$



ESPECTRÓMETRO DE PRISMA

P5.7.1.1

Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de prisma

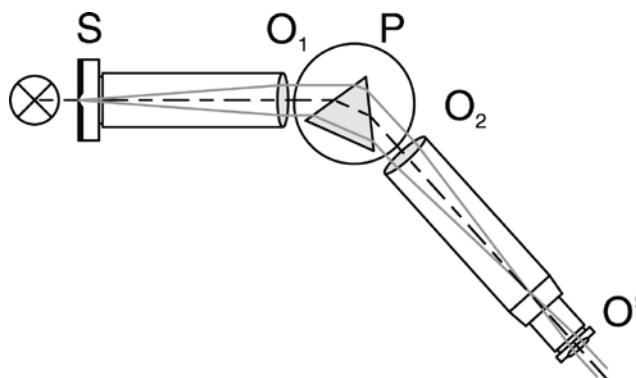
Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de prisma (P5.7.1.1)

N° de cat.	Descripción	P5.7.1.1
467 231	Espectrómetro con goniómetro	1
451 031	Lámpara espectral He	1
451 041	Lámpara espectral Cd	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
451 011	Lámpara espectral Ne	1*
451 071	Lámpara espectral Hg-Cd	1*
451 081	Lámpara espectral Tl	1*
451 111	Lámpara espectral Na	1*

* se requiere adicionalmente

Para el montaje de un espectrómetro de prisma se monta un prisma de vidrio Flint en la mesita para prisma de un goniómetro. La luz proveniente de la fuente de luz a estudiar incide divergente sobre un colimador y al salir incide sobre el prisma como un haz de rayos paralelos. En el prisma se aprovecha la dependencia de la longitud de onda respecto al índice de refracción del vidrio del prisma. La luz al despijarse, se experimenta una desviación diferente en cada longitud de onda. Se observan los rayos desviados con un telescopio ajustado al infinito, fijo a uno de los brazos pivotantes y cuya posición se puede determinar exactamente en minutos de ángulo. La dependencia del índice de refracción de la longitud de onda no es lineal, por esta razón se debe calibrar el espectrómetro. Para la calibración se utiliza, por ejemplo, una lámpara espectral de He cuyas líneas espectrales son conocidas y están distribuidas en todo el rango visible.

En el experimento P5.7.1.1 se observan las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos excitados. Para identificar otras líneas espectrales «desconocidas» se deben medir los ángulos de desviación respectivos para luego convertirlos en longitudes de onda a partir de la curva de calibración. *Nota:* Como alternativa al espectrómetro de prisma también se puede utilizar el goniómetro para montar un espectrómetro de rejilla (véase P 5.7.2.1).



Trayecto de los rayos en un espectrómetro de prisma (P5.7.1.1)

ESPECTRÓMETRO
DE REJILLA

P5.7.2.1
Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de rejilla

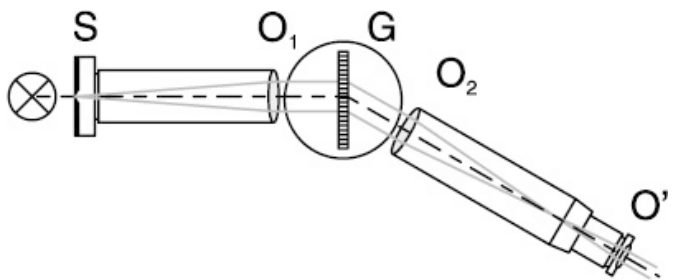


Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de rejilla (P5.7.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.7.2.1
467 231	Espectrómetro con goniómetro	1
471 23	Reticula 6000/cm (Rowland)	1
451 031	Lámpara espectral He	1
451 111	Lámpara espectral Na	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
451 011	Lámpara espectral Ne	1*
451 041	Lámpara espectral Cd	1*
451 071	Lámpara espectral Hg-Cd	1*
451 081	Lámpara espectral Tl	1*

* se requiere adicionalmente

En el experimento P5.7.2.1 se observan las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos excitados. Para identificar otras líneas espectrales «desconocidas» se debe medir los ángulos de desviación respectivos para luego convertirlos en longitudes de onda a partir de la curva de calibración. La resolución del espectrómetro de rejilla es suficiente para determinar la distancia entre las líneas D amarillas del sodio $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 0,60 \text{ nm}$ con una precisión de 0,10 nm. No obstante, la alta capacidad de resolución de este espectrómetro está vinculada a una pérdida de intensidad, ya que una gran parte de la radiación se pierde en el orden cero no difractado y el resto se distribuye en varios órdenes a ambos lados del orden cero.



Trayecto de los rayos en un espectrómetro de rejilla (P5.7.2.1)



ESPECTRÓMETRO DE REJILLA

P5.7.2.4

Determinación de la constante de retículo de la rejilla holográfica con un láser de He-Ne

P5.7.2.5

Investigación del espectro de una lámpara de Xenon mediante la rejilla holográfica

Investigación del espectro de una lámpara de Xenon mediante la rejilla holográfica (P5.7.2.5)

N° de cat.	Descripción	P5.7.2.4	P5.7.2.5
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	
460 01	Lente en montura $f = +5$ mm	1	
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1	1
460 09	Lente en montura $f = +300$ mm	1	1
471 27	Rejilla holográfica en montura	1	1
441 531	Pantalla	1	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 341	Bisagra con escala	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	5	6
450 80	Lámpara de Xenón		1
450 83	Unidad de alimentación para lámpara de xenón		1
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm		1
460 14	Rendija variable		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1
460 22	Soporte con muelles		1
461 62	Juego de 2 diafragmas con rendijas		1
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 082	Sensor de giro S		1
460 382	Jinetillo inclinable 90/50		1
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo		1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul		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

Para construir un espectrómetro de rejilla en lugar del prisma se monta una copia de una rejilla de Rowland sobre la mesa de prisma de un goniómetro. El trayecto de los rayos en el espectrómetro de rejilla es análogo en gran parte a un espectrómetro de prisma (véase P 5.7.1.1). Aunque aquí la desviación de los rayos de luz a través de la rejilla es proporcional a la longitud de onda

n : orden de difracción

g : constante de rejilla

λ : longitud de onda

$\Delta\alpha$: ángulo de desviación de las líneas espectrales en el n°

de tal manera que las longitudes de onda de las líneas espectrales observadas se pueden calcular directamente de los ángulos de desviación medidos.

Para implementar un espectrómetro de rejilla con alta resolución y alta eficiencia, se instala una rejilla holográfica de reflexión con 24000 líneas/cm. La pérdida de intensidad es baja comparada con una rejilla de transmisión.

En el experimento P5.7.2.4 se determina la constante proveniente de la reflexión holográfica de la rejilla en función a diferentes valores del ángulo de incidencia. La fuente de luz implementada es un láser de He-Ne con una longitud de onda $\lambda = 632.8$ nm. El valor más preciso se obtiene en el caso específico cuando el ángulo de incidencia y el ángulo de difracción son los mismos, caso conocido también como condición de Littrow.

En el experimento P5.7.2.5 se investiga el espectro de una lámpara de xenón. Se registra el diagrama de difracción detrás de la rejilla holográfica al cambiar la posición de una pantalla o una celda fotoeléctrica. El ángulo de difracción correspondiente es obtenido a través de la escala circular del conector en riel, o medido por un sensor de movimiento rotatorio. Se demuestra que el espectro de la lámpara que aparece de color blanco para el ojo humano, está compuesto de una variedad de diferentes líneas espectrales.

APLICACIONES ÓPTICAS

P5.8.3.1
Interferómetro óptico



Interferómetro óptico (P5.8.3.1)

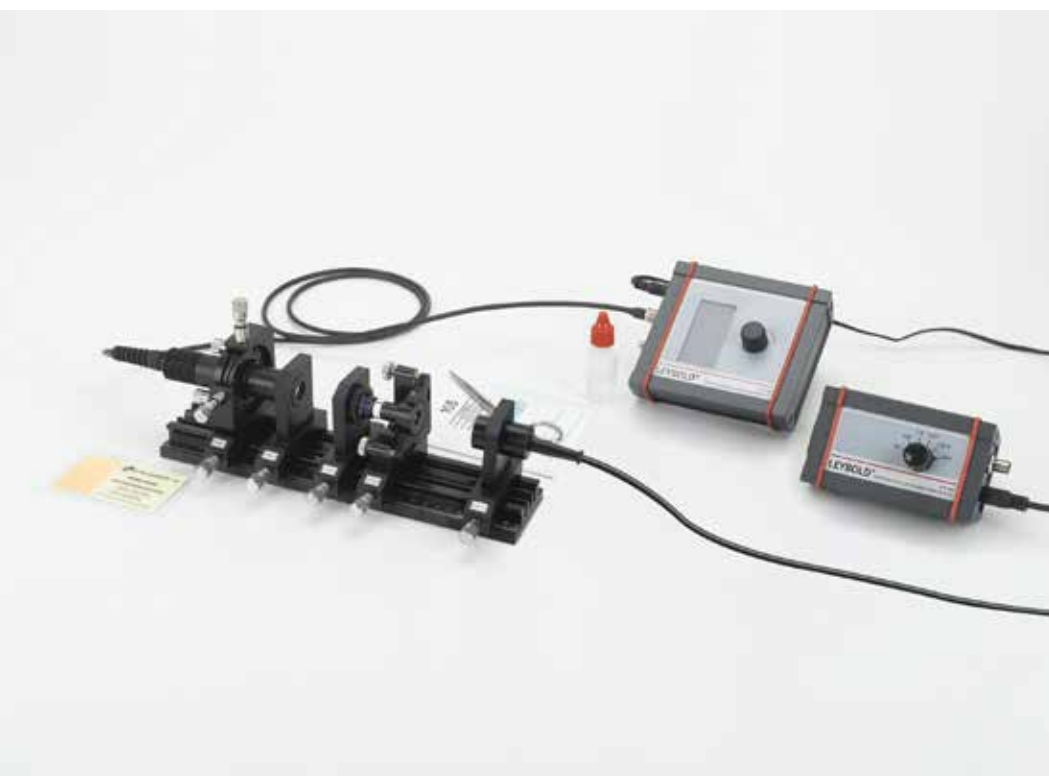
Nº de cat.	Descripción	P5.8.3.1
474 5220	Lentes bicóncavas f=-10 mm, soporte C25	1
474 5264	Expansor de haz 2.7x	1
474 169	Ensamblaje de cubeta de gas	1
474 171	Unidad combinadora de haz Mach-Zehnder	1
474 174	Unidad divisora de haz Mach-Zehnder	1
474 5457	Pantalla con piloto	1
474 5418	Módulo láser de diodo de 532 nm	1
474 5441	Riel perfilado de 300 mm	2
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 5449	Junta angular, travesaño	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	3
474 2112	Soporte de ajuste, 4 ejes, con ángulo de parada	1
474 213	Soporte de ajuste de 1 pulgada, izquierdo	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7210	LIT: Interferómetro Óptico	1

Mientras que el interferómetro de Michelson se usa principalmente para determinar el movimiento de un objeto en movimiento es una escala nanométrica, el interferómetro de Mach-Zehnder investiga objetos transparentes y es particularmente útil para estudiar dinámica de gases o líquidos. Como el Mach-Zehnder es un interferómetro unidireccional es especialmente útil para mediciones donde las muestras tienen que ser atravesadas una sola vez o en una sola dirección. Dentro del cuadro del experimento P5.8.3.1 se realizará tanto el interferómetro de Michelson como el Mach-Zehnder. El primero demuestra el principio de generación de patrones de interferencia y el uso del conteo de franjas en metrología. El segundo usa el patrón de interferencia para visualizar los cambios del índice de refracción como resultado de los cambios en propiedades físicas de los gases, como presión o composición.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.3

Emisión y absorción / Bombeo óptico



Emisión y absorción / Bombeo óptico (P5.8.5.3)

N° de cat.	Descripción	P5.8.5.3
474 1032	Óptica de colimación en el portador, esférico	1
474 104	Óptica de enfoque, $f = 60$ mm	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 137	Filtro espacial con iris ajustable	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1
468 74	Filtro para luz infrarroja	1
474 107	Soporte de placa de filtro	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
531 183	Multímetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1021	Cabezal de diodo láser monomodo con ajuste	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7102	LIT: Emisión y absorción / Bombeo óptico	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1*
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1*
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1*
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*

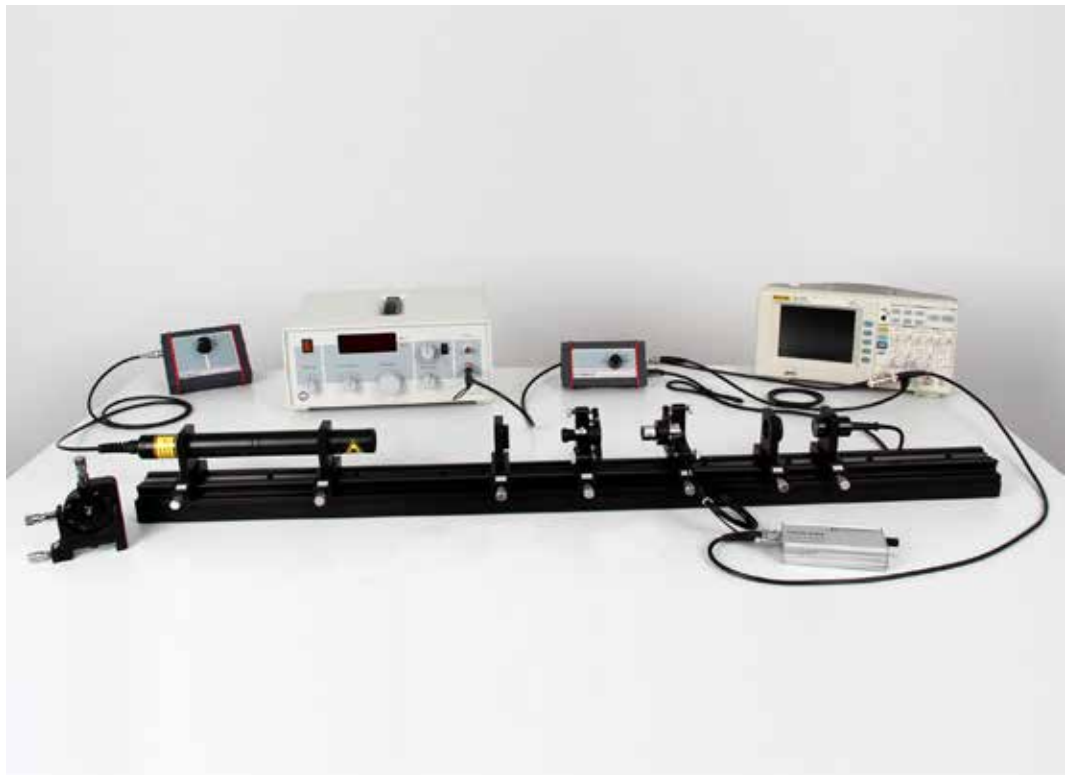
* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.5.3 introduce tanto el bombeo óptico como la emisión y la absorción. Debido al proceso de bombeo se genera una emisión espontánea y estimulada. La emisión se mide y analiza temporalmente y de forma espectroscópica. El ajuste de la longitud de onda de emisión del láser de diodo de la bomba debido a la temperatura permite el registro del espectro de absorción. A partir de la desintegración oportuna de la luz de fluorescencia, se mide la vida útil del estado excitado y se calcula el coeficiente de Einstein para la emisión estimulada.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.4

Resonador Fabry Perot - Analizador de modos de Fabry Perot



Resonador Fabry Perot - Analizador de modos de Fabry Perot (P5.8.5.4)

Nº de cat.	Descripción	P5.8.5.4
474 104	Óptica de enfoque, $f = 60$ mm	1
474 1404	Lente $f = 150$ mm, montura y placa C25	1
474 140	Lente expensor de haz, soporte de ajuste	1
474 5213	Acromático $f=20$ mm, soporte C25	1
474 5234	Espejo láser, plano, montura M16	1
474 5235	Espejo láser, $R = 75$ mm, soporte de M16	1
474 5236	Espejo láser, $R = 100$ mm, soporte de M16	1
474 5237	Espejo láser, plano, montura M12	1
474 5238	Espejo láser, $R = 75$ mm, soporte de M12	1
474 5239	Espejo láser, $R = 100$ mm, soporte de M12	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 317	Controlador de actuador piezoeléctrico	1
474 139	Elemento piezoeléctrico con soporte de ajuste	1
522 561	Generador de funciones P	1
501 02	Cable BNC, 1 m	2
501 091	Unión en T, BNC	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 5421	Láser piloto de He-Ne Ø 30 mm	1
474 5445	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 210	Placa de montaje Ø 30 mm, soporte 20 mm	2
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7103	LIT: Resonador de Fabry Perot	1
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

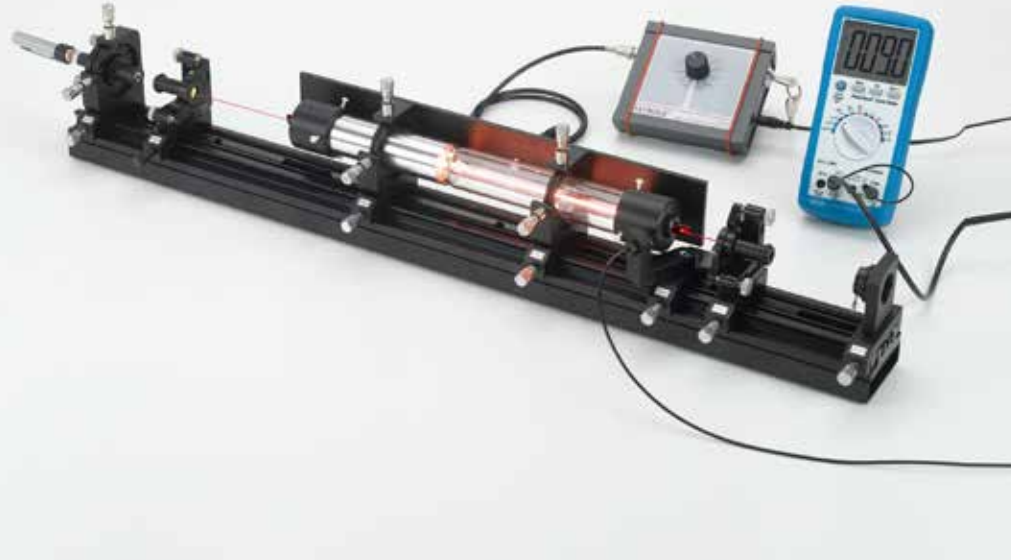
* se requiere adicionalmente (S)

Un resonador de Fabry Perot está formado por dos espejos alineados paralelos entre sí. La cavidad resultante cambia de transparencia cuando la distancia de los espejos cambia en un múltiplo de la mitad de la longitud de onda. El escaneo de la longitud de la cavidad crea un espectrómetro de alta resolución.

El experimento P5.8.5.4 muestra un Fabry Perot de escaneo de cuadro abierto. Como escáner se utiliza un elemento piezoeléctrico y como sonda un láser de helio neón de dos modos. El espectro de modo del láser de helio neón se muestra en un osciloscopio y se miden y analizan los parámetros característicos como la delicadeza, el rango espectral libre, la resolución y el contraste. Se utilizan componentes adicionales para la expansión del haz para investigar el efecto de la delicadeza técnica. Se utilizan espejos adicionales para mostrar la diferencia entre un plano y una disposición confocal de Fabry Perot.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.5
Láser de helio-neón



Láser de helio-neón (P5.8.5.5)

N° de cat.	Descripción	P5.8.5.5
474 5242	Espejo láser VIS 700, montura M16	1
474 5243	Espejo láser VIS 700, montura M16	1
474 5244	Espejo láser VIS 1000, montura M16	1
474 5246	Espejo láser, plano, montura M16	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 114	Soporte de ajuste de espejo láser, diestro	1
474 141	Etalón monomodo, soporte de ajuste	1
474 137	Filtro espacial con iris ajustable	1
474 1082	Módulo G (PIN de silicio) de fotodetector en brazo giratorio	1
531 183	Multímetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
501 10	Unión recta, BNC	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 127	Tubo láser principal con ajuste XY	1
474 5422	Láser piloto de 532 nm (rayo verde)	1
474 5445	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7104	LIT: Láser de He-Ne	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1*
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.5.5 realiza un láser de helio neón a partir de piezas básicas. La cavidad del marco abierto permite la variación de parámetros para medir el perfil del haz para diferentes configuraciones y distancias del espejo de la cavidad. El tubo láser está equipado con una ventana de Brewster en ambos lados que permite el estudio de polarización y pérdidas. Opcionalmente, un prisma de Littrow selecciona otras longitudes de onda que la línea láser principal a 632 nm, especialmente la línea naranja a 611 nm. La sintonización de línea adicional se demuestra por medio del sintonizador birrefringente opcional. Este elemento puede demostrar 4 líneas diferentes. Se utiliza un etalón para obtener el funcionamiento monomodo del láser Helium Neon.

LÁSER DE ESTADO SÓLIDO

P5.8.6.1
Láser de diodo



Láser de diodo (P5.8.6.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.8.6.1
474 5266	Lente cilíndrica colimadora f = 20 mm	1
474 5267	Lente cilíndrica colimadora f = 80 mm	1
474 1032	Óptica de colimación en el portador, esférico	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 112	Analizador de polaridad	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
531 183	Multímetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1012	Cabezal láser de diodo, soporte giratorio de dos ejes	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	2
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7105	LIT: Láser Diodo	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1*
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1*
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1*
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

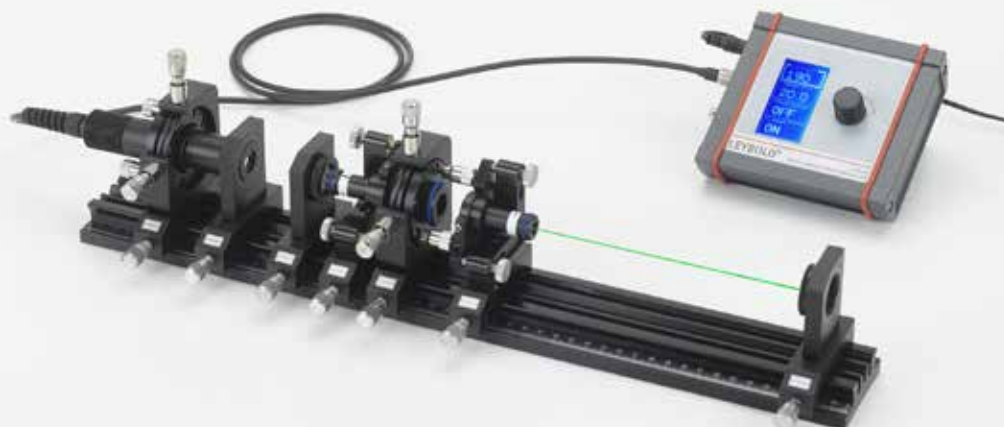
El objetivo del experimento P5.8.6.1 es el estudio de las propiedades de un diodo láser, es decir, los parámetros característicos como la potencia de salida y la longitud de onda en función de la temperatura. En un siguiente paso se mide la distribución espacial de la intensidad. El haz más o menos elíptico se forma mediante dos lentes cilíndricas en un haz casi circular.

LÁSER DE ESTADO SÓLIDO

P5.8.6.2
Láser de diodo bombeado láser Nd:YAG

P5.8.6.3
Doblaje de frecuencia,
1064 nm → 532 nm

P5.8.6.4
Doblaje de frecuencia,
1320 nm → 660 nm



Doblaje de frecuencia, 1064 nm → 532 nm (P5.8.6.3)

N° de cat.	Descripción	P5.8.6.2	P5.8.6.3	P5.8.6.4
474 1032	Óptica de colimación en el portador, esférico	1	1	1
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1	1	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1	1	
474 5311	Espejo láser en soporte SHG 100	1	1	
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1	1	1
474 114	Soporte de ajuste de espejo láser, diestro	1	1	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1	1	1
474 107	Soporte de placa de filtro	1	1	1
468 74	Filtro para luz infrarroja	1	1	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1	1	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1	1	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1	1	
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1	1	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1	1	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1	1	1
474 302	Controlador para diodo láser	1	1	1
474 102	Cabezal láser de diodo con soporte de ajuste	1	1	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1	1	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1	1	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1	1	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1	1	1
474 7106	LIT: Láser de estado sólido bombeado por diodos	1	1	1
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*	2*	2*
474 109	Cristal KTP con soporte de ajuste, color verde		1	
468 77	Filtro de luz verde		1	
474 137	Filtro espacial con iris ajustable		1*	1*
474 1094	Cristal KTP con soporte de ajuste, color rojo			1
474 5240	Nd: Varilla de YAG de 1.3 μm en soporte de espejo			1
474 5241	Espejo SHG 1.3 μm			1

N° de cat.	Descripción	P5.8.6.2	P5.8.6.3	P5.8.6.4
474 5290	Filtro de barrera infrarrojo KG5			1
474 1081	Módulo G InGaAs de fotodetector			1

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.6.2 construye un láser de Nd: YAG bombeado por diodos y molido. Primero se caracteriza la bomba de diodo láser. Luego, el proceso de bombeo óptico y la fluorescencia espontánea emitida se analizan espectral y temporalmente mediante modulación y cambiando la longitud de onda del láser de bombeo que conduce a los coeficientes de Einstein. En un tercer paso, la operación del láser se inicia agregando el segundo espejo de cavidad. El umbral y la eficiencia del láser se determinan y modulando el diodo láser de la bomba se demuestra el llamado efecto de picos. Al cambiar la longitud de la cavidad láser se verifica el criterio de estabilidad.

El experimento P5.8.6.3 mejora la configuración básica del láser Nd: YAG bombeado por diodos (P5.8.6.2) mediante un módulo de cristal KTP colocado en la cavidad del láser que conduce a una salida visible verde duplicada (532 nm) de frecuencia. Al agregar el iris ajustable opcional, la estructura del modo transversal se puede controlar para varias estructuras TEM hasta TEM₀₀.

El Experimento P5.8.6.4 es una variación del P5.8.6.3, pero usando espejos con diferentes revestimientos y KTP de corte diferente, el láser Nd: YAG opera a 1320 nm y la luz visible duplicada en frecuencia es roja a una longitud de onda de 660 nm.

FIBRA ÓPTICA

P5.8.7.1
Fibra laser



Fibra laser (P5.8.7.1)

Nº de cat.	Descripción	P5.8.7.1
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1
474 5308	Filtro de paso de banda de 1.5 µm en C25	1
474 190	WDM Acoplador de fusión 980/1550 nm	1
474 191	Fibra colimadora con conector ST, zurdo	1
474 192	Fibra colimadora con conector ST, diestro	1
474 194	Acoplador ST en C25 montado	1
474 1898	Módulo de fibra dopada con erbio de 8 m	1
474 246	Módulo de acoplamiento de salida	1
474 5293	Fibra SM de 100 m en tambor con conector ST	1
474 5296	Cable de conexión de fibra ST / ST de 0.25 m de longitud	3
474 5297	Cable de conexión de fibra ST / ST de 1 m de longitud	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
474 1084	Fotodetector InGaAs	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 5426	Módulo láser de diodo, conector de fibra ST	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 5444	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7110	LIT: Fibra Láser	1
474 189	Módulo de fibra dopada con erbio de 2 m	1*
474 1894	Módulo de fibra dopada con erbio de 4 m	1*
474 1896	Módulo de fibra dopada con erbio de 16 m	1*

Nº de cat.	Descripción	P5.8.7.1
474 5278	Moda suelta pasiva 1,5 µm	1*
474 5279	Aislador óptico 1,5 µm	1*
474 6111	Gafas de seguridad láser 808 y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

En el experimento P5.8.7.1, se utiliza una fibra dopada con erbio como material activo. Conectado a una bomba láser, se analiza la fluorescencia de la fibra de erbio. Antes de estudiar la operación del láser a 1,5 µm, se mide la vida útil del estado de salida. Para formar un anillo láser se utiliza un WDM para acoplar la luz de la bomba a la fibra y cerrar la estructura del anillo láser. El anillo se abre donde una placa de vidrio delgada acopla una pequeña fracción de los modos láser en sentido horario (cw) y antihorario (ccw) hacia un detector.



FIBRA ÓPTICA

P5.8.7.3
Fibra óptica de vidrio

Fibra óptica de vidrio (P5.8.7.3)

N° de cat.	Descripción	P5.8.7.3
474 1036	Óptica de colimación en el portador	1
474 151	Óptica de acoplamiento, soporte de ajuste XY	1
474 152	Soporte de fibra con mesa deslizante	1
474 154	Soporte de fibra en plato giratorio	1
474 5227	Fibra óptica de plástico de 1000 mm, multimodo	1
474 6420	Cortadora y rompedora de fibra óptica	1
474 6421	Separador de cubierta de plástico ajustable	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 216	Fotodetector PIN de silicio para unidad giratoria, placa de montaje C25	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1022	Cabezal de diodo láser monomodo con soporte de ajuste	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7119	LIT: Fibra óptica de vidrio	1
474 5226	Fibra óptica monomodo 1000 m	1*
474 5295	Fibra multimodo 5000 m	1*
474 6111	Gafas de seguridad láser 808 y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.7.3 introduce la fibra óptica de vidrio. En este experimento, el láser de diodo mismo se caracterizará con respecto a su potencia de salida en función de su temperatura y corriente de inyección. La distribución espacial de la intensidad se mide mediante la etapa de rotación proporcionada.

Cortar y preparar la fibra es parte de la formación práctica. La luz del láser de diodo se acopla a la fibra mediante objetivos de microscopio ajustables. La eficiencia del acoplamiento se monitorea con el fotodetector que detecta la luz que sale al final de la fibra.

Se mide la distribución de intensidad de la luz que emerge al final de la fibra y se determina la apertura numérica.

Modulando la diodo láser por medio del dispositivo controlado por microprocesador provisto se medirá el tiempo de vuelo dentro de la fibra. A partir de los resultados, se calcula la longitud de la fibra o la velocidad de la luz.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.8.4

Anemómetro láser Doppler



Anemómetro láser Doppler (P5.8.8.4)

N° de cat.	Descripción	P5.8.8.4
474 104	Óptica de enfoque, $f = 60 \text{ mm}$	2
474 107	Soporte de placa de filtro	1
474 187	Unidad divisora de haz LDA	1
474 1876	Desviación y enfoque de haz LDA	1
474 188	Sembradora de partículas ultrasónica	1
474 315	Nebulizar de partículas ultrasónico	1
474 194	Acoplador ST en C25 montado	1
474 5350	Latiguillo ST-ST de $600 \mu\text{m}$	1
474 3314	Módulo fotodetector 400-1100 nm	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 128	Módulo de diodo láser	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7115	LIT: Anemómetro láser Doppler	1
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

* se requiere adicionalmente

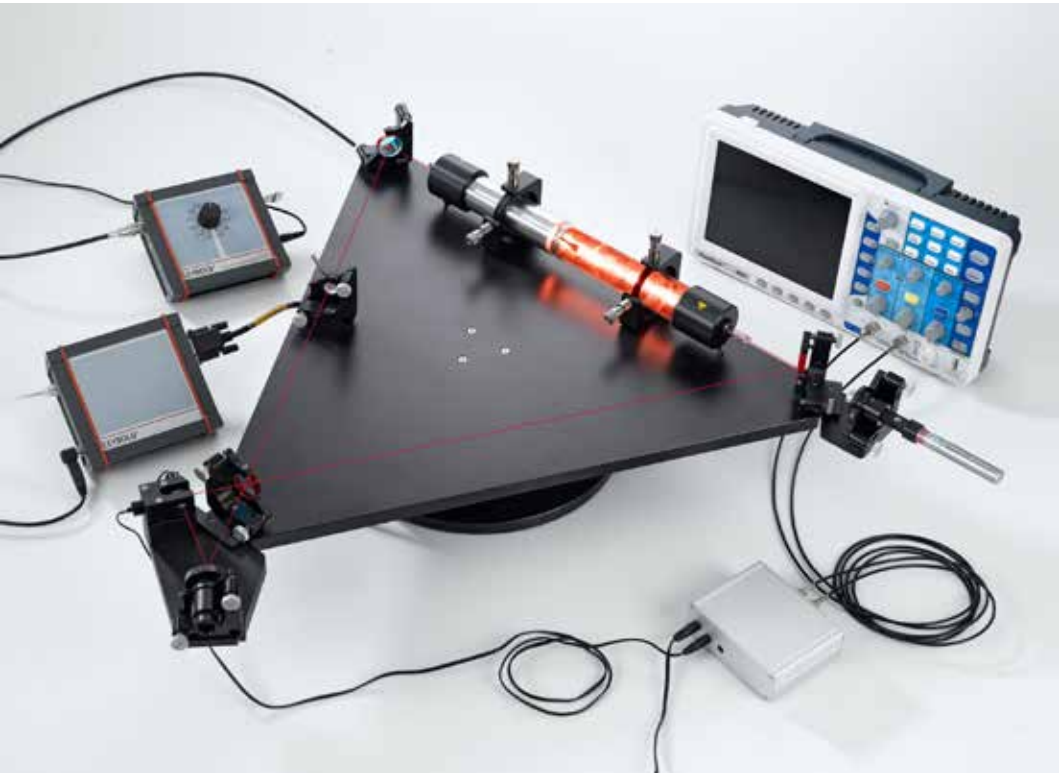
La anemometría del láser Doppler es un método de medición óptica sin contacto para obtener la velocidad de un flujo (líquido, gas). En el experimento P5.8.8.4 se ensambla un anemómetro láser Doppler. Entre otras cosas, este método se utiliza para calibrar sensores de flujo. Un rayo láser se divide en dos partes. Enfocados de nuevo a un punto, los rayos láser crean un patrón de interferencia. Las partículas en el flujo de fluido se mueven a través de las zonas brillantes y oscuras del patrón y la luz dispersa se modula de acuerdo con la velocidad de la partícula.

Alternativamente, la misma configuración se puede explicar en términos de luz desplazada Doppler.

En este experimento, las gotas de agua dentro de una corriente de aire se utilizan como partículas de dispersión. Las gotas de agua son demasiado pequeñas para adherirse a las superficies cercanas y mojarlas. Simplemente se evaporarán o rebotarán debido a la tensión superficial.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.8.5
Giroscopio láser HeNe



Giroscopio láser HeNe (P5.8.8.5)

Nº de cat.	Descripción	P5.8.8.5
474 159	Placa base de giroscopio	1
474 160	Unidad de rotación	1
474 330	Controlador de motor paso a paso, 1 eje, USB	1
474 407	Unidad detectora de franjas	1
474 308	Preamplificador de fotodetector	1
474 311	Contador ascendente y descendente de franjas	1
474 346	Fuente de alimentación enchufable 12 V - 2.5 A	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	4
728 950	Aislador de puerto USB	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 5423	Láser de alineación de 532 nm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 7116	LIT: Giroscopio láser de He-Ne	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows a partir de la versión 7	1

El experimento P5.8.8.5 muestra los conceptos básicos de un giroscopio láser. Los giroscopios láser se utilizan, por ejemplo, en aviones para apoyar la navegación. Se configura un láser de anillo He/Ne de modo mono de tres espejos; el uso de un láser piloto verde es fácil de ajustar. Ambos rayos de luz CW y CCW se acoplan desde el resonador y se alimentan a un interferómetro, creando patrones de interferencia.

Al girar este láser, la longitud de la cavidad CW y CCW ya no es igual debido a la relatividad especial, y la mezcla de ambos rayos de luz generar una frecuencia de batido en el rango de kHz. De esta manera se puede medir la rotación absoluta del láser.

Este no es un interferómetro de Sagnac, tener el medio láser dentro del sistema en movimiento crea una configuración mucho más sensible con frecuencia de batido en lugar del cambio de fase de un interferómetro Sagnac rotatorio.

P6.2.7.4

Medición de desdoblamiento Zeeman de la línea roja del cadmio en función del campo magnético - espectroscopía con un etalómetro de Fabry-Perot

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 206.



P6 FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR



P6.1	EXPERIMENTOS INTRODUCTORIOS	193
P6.2	CAPAS ATÓMICAS	198
P6.3	FÍSICA DE RAYOS X	207
P6.4	RADIOACTIVIDAD	218
P6.5	FÍSICA NUCLEAR	222
P6.6	FÍSICA CUÁNTICA	229

P6 FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR



P6.1 EXPERIMENTOS INTRODUCTORIOS

P6.1.2	Experimento de Millikan	193
P6.1.3	Carga específica del electrón	194
P6.1.4	Constante de Planck	195-196
P6.1.5	Dualismo onda-partícula	197

P6.2 CAPAS ATÓMICAS

P6.2.1	Serie de Balmer del hidrógeno	198-199
P6.2.2	Espectros de emisión y absorción	200-202
P6.2.4	Experimento de Franck-Hertz	203-204
P6.2.6	Resonancia de espín electrónico (ESR)	205
P6.2.7	Efecto Zeeman normal	206

P6.3 FÍSICA DE RAYOS X

P6.3.1	Detección de rayos X	207-209
P6.3.2	Atenuación de rayos X	210
P6.3.3	Física de las capas atómicas	211
P6.3.5	Espectroscopia energética de rayos X	212
P6.3.6	Estructura de espectros de rayos X	213-214
P6.3.7	Efecto Compton en los rayos X	215
P6.3.8	Tomografía de rayos X	216-217

P6.4 RADIOACTIVIDAD

P6.4.1	Detección de radioactividad	218
P6.4.2	Distribución de Poisson	219
P6.4.3	Decaimiento radioactivo y vida media	220
P6.4.4	Atenuación de la radiación α , β y γ	221

P6.5 FÍSICA NUCLEAR

P6.5.1	Demostración de trayectorias de partículas	222
P6.5.2	Dispersión de Rutherford	223
P6.5.3	Resonancia magnética nuclear (RMN)	224
P6.5.4	Espectroscopía α	225
P6.5.5	Espectroscopía γ	226
P6.5.6	Efecto Compton	227
P6.5.7	Propiedades de la radiación de partículas	228

P6.6 FÍSICA CUÁNTICA

P6.6.1	Óptica cuántica	229
P6.6.2	Partículas	230



EXPERIMENTO DE MILLIKAN

P6.1.2.1

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición de la tensión de suspensión y la velocidad descenso

P6.1.2.2

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición de la velocidad de ascenso y de la velocidad de descenso

P6.1.2.3

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición de la tensión de suspensión y la velocidad descenso con CASSY

P6.1.2.4

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición de la velocidad de ascenso y de la velocidad de descenso con CASSY

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición de la tensión de suspensión y la velocidad descenso (P6.1.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.1.2.1	P6.1.2.2	P6.1.2.3	P6.1.2.4
559 412	Aparato Millikan	1	1	1	1
559 421	Alimentación para el aparato de Millikan	1	1	1	1
575 471	Contador S	1	2		
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2	3	3	3
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2			1	1
524 220	CASSY Lab 2			1	1
524 034	Unidad Timer			1	1
500 421	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, rojo				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1	1

A través del método de la gota de aceite, *R. A. Millikan* logró demostrar la naturaleza cuántica de minúsculas cantidades de electricidad en 1910. El logro suspender gotas de aceite cargadas mediante un campo eléctrico vertical proveniente de un condensador de placas, y, a partir del radio r y la intensidad de campo eléctrico E , pudo determinar la carga q de una gota suspendida:

$$q = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \frac{\rho \cdot g}{E}$$

ρ : densidad del aceite

g : aceleración de la gravedad

El descubrió además que la carga q solo aparece como un múltiplo exacto de la carga e del electrón. Sus experimentos son efectuados en dos variantes.

En la primera variante, en los experimentos P6.1.2.1 y P6.1.2.3 se calcula el campo eléctrico

$$E = \frac{U}{d}$$

d : distancia entre placas

a partir de la tensión U en las placas del condensador, para la cual la gota de aceite observada apenas queda suspendida. Luego, para determinar el radio se mide el descenso de la velocidad v_1 de la gotita sin la presencia del campo eléctrico. Del equilibrio entre el peso y la fricción de Stokes se obtiene

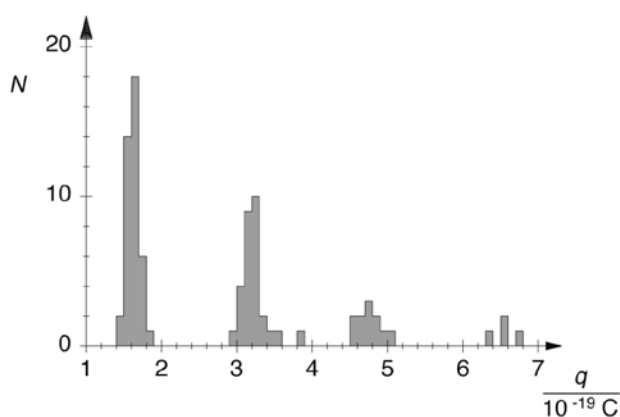
$$\frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_1$$

η : viscosidad

En la segunda variante, en los experimentos P6.1.2.2 y P6.1.2.4 se observan las gotitas de aceite que no están exactamente suspendidas, sino que ascienden con una pequeña velocidad v_2 . Para ellas se cumple

$$q \cdot \frac{U}{d} = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g + 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_2$$

Adicionalmente, se mide la velocidad del descenso v_1 como en los experimentos P6.1.2.1 y P6.1.2.3. La precisión en la medición de la carga q puede ser mejor haciendo subir y bajar varias veces a la gotita de aceite una distancia determinada midiendo los tiempos totales de subida y bajada.



Histograma para comprobar la naturaleza cuántica del cambio (P6.1.2.1-4)

CARGA ESPECÍFICA
DEL ELECTRÓN

P6.1.3.1
Determinación de la carga específica
del electrón



Determinación de la carga específica del electrón (P6.1.3.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.1.3.1
555 571	Tubo de rayo electrónico filiforme	1
555 581	Bobinas de Helmholtz con soporte	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2
521 651	Fuente de alimentación de tubo 0 ... 500 V	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	3
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	3
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	7
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1*
524 0382	Sonda B axial S, ±1000 mT	1*
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1*

* se requiere adicionalmente

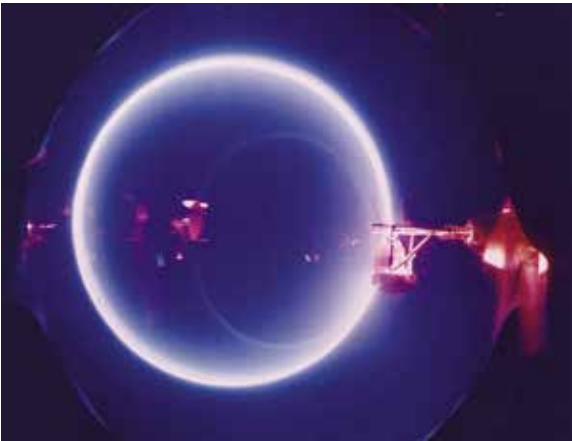
La masa m_e del electrón es muy difícil de medir en un experimento. Mucho más simple es determinar la carga específica del electrón

$$\varepsilon = \frac{e}{m_e}$$

a partir de la masa m_e conociéndose la carga elemental e .

En el experimento P6.1.3.1 para determinar la carga específica del electrón se desvía un haz de electrones en un campo magnético homogéneo para obtener una trayectoria circular cerrada. En función de la tensión de aceleración U se determina el campo magnético B que obliga a los electrones desplazarse en una trayectoria circular de radio r . La fuerza de Lorentz causada por el campo magnético actúa como fuerza centrípeta. Esta depende de la velocidad de los electrones que a su vez está determinada por la tensión de aceleración. La carga específica del electrón se puede calcular a partir de las magnitudes U , B y r según la expresión:

$$\frac{e}{m_e} = 2 \cdot \frac{U}{B^2 \cdot r^2}$$



Trayectoria circular de los electrones en el tubo de rayo electrónico filiforme (P6.1.3.1)



Determinación de la constante de Planck - Descomposición en longitudes de onda con un prisma de visión directa sobre el banco óptico (P6.1.4.2)

CONSTANTE DE PLANCK

P6.1.4.2

Determinación de la constante de Planck - Descomposición en longitudes de onda con un prisma de visión directa sobre el banco óptico

P6.1.4.3

Determinación de la constante de Planck - Selección de la longitud de onda con filtros de interferencia sobre el banco óptico

N° de cat.	Descripción	P6.1.4.2	P6.1.4.3
558 77	Célula fotoeléctrica para la constante de h	1	1
558 791	Montura para célula fotoeléctrica	1	1
460 317	Banco óptico, S1 perfil, 0,5 m	2	1
460 3151	Manguito giratorio con escala	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	1
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	5	4
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1	
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	2	
461 62	Juego de 2 diafragmas con rendijas	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
460 14	Rendija variable	1	
466 05	Prisma de visión directa	1	
466 04	Soporte para prisma de visión directa	1	
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión	1	1
451 195	Unidad de alimentación para lámpara de m	1	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1	1
578 22	Condensador 100 pF	1	1
579 10	Pulsador (NO), monopolar	1	1
590 011	Enchufe de sujeción	2	2
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
501 10	Unión recta, BNC	1	1
501 09	Adaptador BNC/4 mm, monopolar	1	1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm	1	1
502 04	Caja de tomacorrientes	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1
500 440	Cable de experimentación 100 cm amarillo	2	2
468 41	Soporte vástago para filtros de interfer		1
468 401	Filtro de interferencia, 578 nm		1
468 402	Filtro de interferencia, 546 nm		1

N° de cat.	Descripción	P6.1.4.2	P6.1.4.3
468 403	Filtro de interferencia, 436 nm		1
468 406	Filtro de interferencia, 365 nm		1
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm		1
460 26	Diafragma de iris		1
468 404	Filtro de interferencia, 405 nm		1*

* se requiere adicionalmente

Si incide luz de frecuencia ν sobre el cátodo de una fotocelda, se liberan electrones. Una parte de los electrones alcanzan el ánodo y generan una corriente en el circuito de corriente exterior, que es compensada a cero al aplicarse una tensión inversa $U = -U_0$. La relación que se cumple aquí

$$e \cdot U_0 = h \cdot \nu - W \quad W: \text{trabajo de salida}$$

se utilizó por primera vez por *R. A. Millikan* para determinar la constante de Planck h .

Para determinar la constante de Planck con ayuda del efecto fotoeléctrico es importante que la luz de una sola línea espectral de la lámpara de mercurio de alta presión incida sobre el cátodo de la célula fotoeléctrica. Para seleccionar la longitud de onda se puede implementar un filtro de interferencia de banda muy estrecha en lugar del prisma de visión directa. El montaje óptico es mucho más simple y el ambiente de experimentación no necesita ser oscurecido. Además, la intensidad de la luz que incide sobre el cátodo puede ser variado con un diafragma de iris como diafragma espacial.

En el experimento P6.1.4.2 se trabaja con un montaje abierto sobre un banco óptico. La luz se descompone mediante un prisma de visión directa. Sobre el cátodo de la fotocelda cada vez incide sólo la luz de una línea espectral.

Para generar la tensión inversa U entre cátodo y ánodo de la fotocelda en el experimento P6.1.4.3 se utiliza el método del condensador.

Entre cátodo y ánodo de la fotocelda se ha conectado un condensador que se carga a través de la corriente anódica generando así una tensión inversa U . Tan pronto como la tensión inversa haya alcanzado el valor $-U_0$, la carga del condensador termina y la corriente del ánodo se hace cero. La medición de U_0 se realiza sin corriente con un electrómetro amplificador. *Nota:* Como alternativa, la tensión inversa U también puede tomarse de una fuente de tensión continua. Para una medición sensible de la corriente anódica se recomienda usar el amplificador I de medición *D* (véase P6.1.4.4).

CONSTANTE DE PLANCK

P6.1.4.4

Determining Planck's constant
- Recording the current-voltage characteristics, selection of wavelengths using interference filters on the optical bench

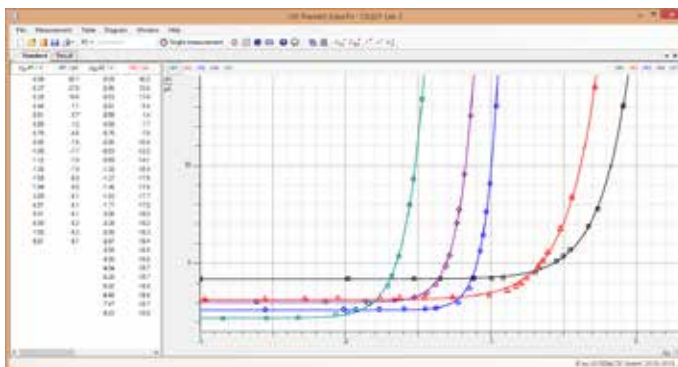


Determining Planck's constant - Recording the current-voltage characteristics, selection of wavelengths using interference filters on the optical bench (P6.1.4.4)

Nº de cat.	Descripción	P6.1.4.4
558 77	Célula fotoeléctrica para la constante de h	1
558 791	Montura para célula fotoeléctrica	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1
460 374	Jinetillo 90/50	2
460 375	Jinetillo 120/50	3
558 792	Rueda de filtros con diafragma de iris	1
468 401	Filtro de interferencia, 578 nm	1
468 402	Filtro de interferencia, 546 nm	1
468 403	Filtro de interferencia, 436 nm	1
468 404	Filtro de interferencia, 405 nm	1
468 406	Filtro de interferencia, 365 nm	1
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1
460 26	Diafragma de iris	1
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión	1
451 195	Unidad de alimentación para lámpara de m	1
532 00	Amplificador D de medida I	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	2
576 86	Soporte de celda mono STE 2/50	3
685 48	Pila 1,5 V JEC R20	3
577 93	Potenciometro de 10 pasos 1 kOhmios	1
579 13	Interruptor basculante STE 2/19	1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Para determinar la constante de Planck con ayuda del efecto fotoeléctrico es importante que la luz de una sola línea espectral de la lámpara de mercurio de alta presión incida sobre el cátodo de la célula fotoeléctrica. Para seleccionar la longitud de onda se puede implementar un filtro de interferencia de banda muy estrecha en lugar del prisma de visión directa. El montaje óptico es mucho más simple y el ambiente de experimentación no necesita ser oscurecido. Además, la intensidad de la luz que incide sobre el cátodo puede ser variado con un diafragma de iris como diafragma espacial.

En el experimento P6.1.4.4, se selecciona una de las líneas de emisión de una lámpara de descarga de vapor de mercurio por filtros de interferencia y centrado en el fotocátodo. El contravoltaje del ánodo se varía y la corriente resultante se mide con alta sensibilidad. La variación de las curvas características bajo irradiación con diferentes longitudes de onda conduce a la determinación de la constante de Planck h .



Curvas características de la fotocelda (P6.1.4.4)

DUALISMO ONDA-PARTÍCULA

P6.1.5.1

Difracción de electrones en una red policristalina (difracción de Debye-Scherrer)

P6.1.5.2

Analogía óptica de la difracción de electrones en una red policristalina



Difracción de electrones en una red policristalina (difracción de Debye-Scherrer) (P6.1.5.1)

N° de cat.	Descripción	P6.1.5.1	P6.1.5.2
555 626	Tubo de difracción de electrones	1	
555 600	Portatubo	1	
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	
311 54	Vernier de precisión	1	
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2	
555 629	Cruz rejilla, rotatable		1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/		1
450 66	Deslizador de imágenes		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	
460 03	Lente en montura f = +100 mm		1
460 22	Soporte con muelles		1
441 53	Pantalla traslúcida		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m		1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65		2
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35		3
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1

En 1924 *L. de Broglie* presentó primero la hipótesis que las partículas también poseen propiedades ondulatorias además de las propiedades de partículas y que su longitud de onda

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad h: \text{constante de Planck}$$

depende del impulso p .

Sus reflexiones fueron confirmadas experimentalmente en 1927 por *C. Davisson* y *L. Germer* por difracción de electrones en estructuras cristalinas.

En el experimento P6.1.5.1 se demuestra la difracción de electrones en grafito policristalino. Como en el método de Debye-Scherrer con los rayos X, se observan los anillos de difracción alrededor de una mancha central en un pantalla en la dirección del rayo. Estos se generan por la difracción de electrones en los planos reticulares de los microcristales, que cumplen con la condición de Bragg

$$2 \cdot d \cdot \sin \vartheta = n \cdot \lambda$$

ϑ : ángulo de abertura del anillo de difracción

d : distancia interplanar

En el 1er. orden se observan dos anillos de difracción debido a que la estructura del grafito contiene dos distancias interplanares. La longitud de onda del electrón

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U}}$$

m_e : masa del electrón, e : carga del electrón

está determinada por la tensión de aceleración U , de aquí se deduce que el ángulo de abertura del anillo de difracción.

En el experimento P6.1.5.2 se utiliza luz visible para ilustrar el método de Debye-Scherrer que se aplica con el tubo de difracción de electrones. A tal fin se hace pasar luz paralela monocromática a través de una rejilla bidimensional. El patrón de difracción de la rejilla cruzada en reposo, que consta de manchas de luz dispuestas alrededor del rayo central en un patrón de red, se deforma con la rotación en los anillos dispuestos concéntricamente alrededor de la mancha central. Mediante el uso de diferentes filtros de color se puede mostrar la dependencia de los diámetros del anillo con la longitud de onda de la luz.



Análogo óptico de la difracción de Debye-Scherrer (P6.1.5.2)

SERIE DE BALMER
DEL HIDRÓGENO

P6.2.1.1
Determinación de las longitudes
de onda H_{α} , H_{β} y H_{γ} de la serie
de Balmer del hidrógeno

P6.2.1.2
Observación de la serie Balmer
del hidrógeno con un espectrómetro
de prismas

P6.2.1.4
Observación de la serie Balmer
del hidrógeno con un espectrómetro
compacto



Determinación de las longitudes de onda H_{α} , H_{β} y H_{γ} de la serie de Balmer del hidrógeno (P6.2.1.1)

N° de cat.	Descripción	P6.2.1.1	P6.2.1.2	P6.2.1.4
451 13	Lámpara de Balmer	1	1	1
451 141	Fuente alimentación para las lámparas de Balmer	1	1	1
471 23	Reticula 6000/cm (Rowland)	1		
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1		
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1		
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1		
460 14	Rendija variable	1		
460 22	Soporte con muelles	1		
441 53	Pantalla traslúcida	1		
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1		
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	6		
467 231	Espectrómetro con goniómetro		1	
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física			1
460 251	Portafibraóptica			1
300 11	Zócalo			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1

El espectro de emisión del átomo de hidrógeno tiene cuatro líneas H_{α} , H_{β} y H_{γ} en el rango visible; esta secuencia continúa en el rango ultravioleta completando así la serie. Respecto a las frecuencias de esta serie, *Balmer* encontró en 1885 la siguiente fórmula que posteriormente se pudo explicar mediante el modelo de átomo de Bohr.

En el experimento P6.2.1.1 se utiliza una lámpara de Balmer llena con vapor de agua para excitar el espectro de emisión. En esta lámpara la descarga eléctrica descompone las moléculas de agua en átomos de hidrógeno excitados y un grupo hidroxilo. Con una rejilla de alta resolución se determinan las longitudes de onda de las líneas H_{α} , H_{β} y H_{γ} .

En el experimento P6.2.1.2 se estudia la serie de Balmer con un espectrómetro de prisma (dispositivo completo).

La serie de Balmer se estudia en el experimento P6.2.1.4 con una computadora vinculada a un espectrómetro compacto. El ajuste óptico es muy sencillo, para ello hay que ubicar la fibra óptica cerca a la lámpara de descarga.



SERIE DE BALMER
DEL HIDRÓGENO

P6.2.1.5
Observación del desdoblamiento de la serie de Balmer, utilizando hidrógeno deuterizado (Desdoblamiento de isótopos) - Observación de la división de línea con una construcción del telescopio

Observación del desdoblamiento de la serie de Balmer, utilizando hidrógeno deuterizado (Desdoblamiento de isótopos)
- Observación de la división de línea con una construcción del telescopio (P6.2.1.5)

Cat. No.	Description	P6.2.1.5
451 41	Balmer lamp, deuterated	1
451 141	Power supply unit for Balmer lamp	1
460 02	Lens in frame, f=50 mm	1
460 08	Lens in frame, f=150 mm	1
460 09	Lens in frame, f=300 mm	1
460 14	Adjustable slit	1
471 27	Holographic grating in frame	1
460 135	Ocular with scale	1
460 32	Optical bench with standardised profile, 1 m	1
460 335	Optical bench with standardised profile, 0.5 m	1
460 341	Swivel joint with circular scale	1
460 374	Optics rider, 90/50	6

Las líneas espectrales de la serie de Balmer en el deuterio son desplazadas hacia longitudes de onda más cortas comparadas con las líneas espectrales del hidrógeno. Este fenómeno se denomina variación isotópica.
En el experimento P6.2.1.5, la serie de Balmer es analizada mediante un espectrómetro de alta resolución. Una rejilla holográfica (con su constante g) es implementada.

ESPECTROS DE EMISIÓN Y ABSORCIÓN

P6.2.2.1

Representación de los espectros de líneas de gases nobles y de vapores metálicos

P6.2.2.2

Estudio cualitativo del espectro de absorción del sodio



Representación de los espectros de líneas de gases nobles y de vapores metálicos (P6.2.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.2.2.1	P6.2.2.2
451 011	Lámpara espectral Ne	1	
451 041	Lámpara espectral Cd	1	
451 062	Lámpara espectral Hg 100	1	
451 111	Lámpara espectral Na	1	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1	1
471 23	Reticula 6000/cm (Rowland)	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
460 02	Lente en montura $f = +50$ mm	1	
460 03	Lente en montura $f = +100$ mm	1	
460 14	Rendija variable	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	5	
450 60	Carcasa de lámpara		1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2		1
521 210	Transformador 6/12 V		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		2
300 11	Zócalo		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		2
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano		1
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2
666 962	Doble espátula, 150 x 9 mm		1
673 0840	Varillas de magnesita, 25 piezas		1
673 5700	Cloruro sódico 250 g		1

Cuando un electrón en una capa de un átomo o un ión atómico cae de un estado excitado con la energía E_2 a uno de menor energía E_1 , puede emitir un fotón con la frecuencia

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

h : constante de Planck

En el caso contrario, se absorbe un fotón con la misma frecuencia. Considerando que las energías E_1 y E_2 se pueden asumir únicamente como valores discretos, los fotones solo se emiten y absorben en frecuencias discretas. La totalidad de las frecuencias que se producen se le denomina espectro del átomo. Las posiciones de las líneas espectrales son características del elemento correspondiente.

En el experimento P6.2.2.1 se descomponen espectros de emisión de vapores metálicos y gases nobles (mercurio, sodio, cadmio y neón) con una rejilla espectral de alta resolución y se los proyecta sobre una pantalla para compararlos.

En el experimento P6.2.2.2 se observa sobre una pantalla una llama de un mechero de Bunsen irradiada alternadamente con luz blanca y con luz de sodio. Si el sodio se quema en la llama, una sombra oscura sobre la pantalla aparecerá al irradiar con luz del sodio. De esto se puede concluir que la luz emitida desde una lámpara de sodio es absorbida en el vapor de sodio y en la absorción y emisión participan las mismas condiciones atómicas.



ESPECTROS DE EMISIÓN
Y ABSORCIÓN

P6.2.2.3
Estudio del espectro de la lámpara
de mercurio de alta presión

Estudio del espectro de la lámpara de mercurio de alta presión (P6.2.2.3)

N° de cat.	Descripción	P6.2.2.3
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión	1
451 195	Unidad de alimentación para lámpara de m	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1
460 09	Lente en montura f = +300 mm	1
460 14	Rendija variable	1
471 27	Rejilla holográfica en montura	1
441 531	Pantalla	1
460 135	Ocular graticulado	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 341	Bisagra con escala	1
460 373	Jinetillo 60/50	1
460 374	Jinetillo 90/50	4
460 382	Jinetillo inclinable 90/50	1

Las líneas espectrales surgen de la transición electrónica de altos a bajos estados de energía en la nube atómica excitada. La longitud de onda de la luz emitida depende de esta diferencia energética

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Los múltiples estados energéticos en la tabla de orbitales del mercurio generan un gran número de líneas con diferentes intensidades (probabilidades de transición). Estas líneas pueden ser observadas en el rango visible, medidas respectivamente cerca del rango UV.

En el experimento P6.2.2.3 se estudia las líneas espectrales de una lámpara de mercurio de alta presión mediante un montaje de espectrómetro de alta resolución usando una rejilla holográfica. Esta rejilla trabaja en modo reflexión, provocando una mayor intensidad de las líneas espectrales. Se observan diferentes líneas y sus respectivas longitudes de onda, especialmente la línea amarilla, verde, azul, violeta y incluso la ultravioleta. Se investigan algunas líneas detenidamente, por ejemplo la línea doble amarilla y se determina la división de las longitudes de onda.

ESPECTROS DE EMISIÓN
Y ABSORCIÓN

- P6.2.2.4
Registro del espectro de emisión de
una coloración de flama
- P6.2.2.5
Registro de las líneas de Fraunhofer
con un espectrómetro compacto
- P6.2.2.6
Registro del espectro de lámparas
de descarga de gas con un
espectrómetro compacto



Registro del espectro de emisión de una coloración de flama (P6.2.2.4)

Nº de cat.	Descripción	P6.2.2.4	P6.2.2.5	P6.2.2.6
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1	1	1
460 251	Portafibraóptica	1	1*	1
300 11	Zócalo	1	1*	1
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano	1		
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3	1		
666 731	Encendedor de gas, mecánico	1		
673 0840	Varillas de magnesio, 25 piezas	1		
604 5681	Espátula en polvo, acero inoxidable, 150 mm	1		
667 089	PLACA P.LA PRUEBA D.LA GOTA	1		
661 088	Sales para coloración de la llama	1		
674 6950	Ácido clorhídrico 0,1 mol/l, 500 ml	1		
467 63	Tubo espectral Hg (con Ar)			1
467 67	Tubo espectral He			1
467 68	Tubo espectral Ar			1
467 69	Tubo espectral Ne			1
467 81	Soporte para tubos espectrales			1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,			1
536 251	Resistencia de medida 100 kΩ			1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño			1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø			1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD			1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo			1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo			1
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

* se requiere adicionalmente

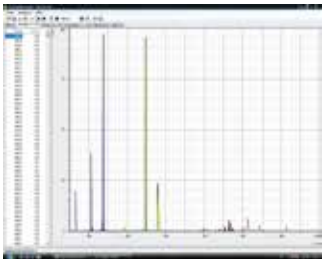
Las líneas espectrales surgen de la transición electrónica de altos a bajos estados de energía en la nube atómica excitada. La longitud de onda de la luz emitida depende de esta diferencia energética

ΔE = h · ν = (h · c) / λ

En el experimento P6.2.2.4, se realizan pruebas de fuego con sales metálicas. Un espectrómetro compacto conectado a un puerto USB de una computadora permite el fácil registro de dichos procesos transitorios y analiza las diferentes líneas de emisión. Contrariamente a la observación clásica con el ojo humano, el espectrómetro registra también líneas en el rango infrarrojo, identificando, por ejemplo, el potasio.

En el experimento P6.2.2.5, las líneas de absorción de Fraunhofer en el espectro solar se registran a través de un espectrómetro compacto. Se demuestra la presencia de varios elementos en la fotosfera solar.

El experimento P6.2.2.6 registra los espectros de las lámparas de descarga de gas utilizando un espectrómetro compacto, lo que permite un acceso muy fácil a la espectroscopia óptica de gases.



Espectros de emisión de lámparas de descarga de gas (P6.2.2.6)

EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ

P6.2.4.1

Experimento de Franck-Hertz en mercurio – Registro con osciloscopio

P6.2.4.2

Experimento de Franck-Hertz en mercurio – Registro y evaluación con CASSY

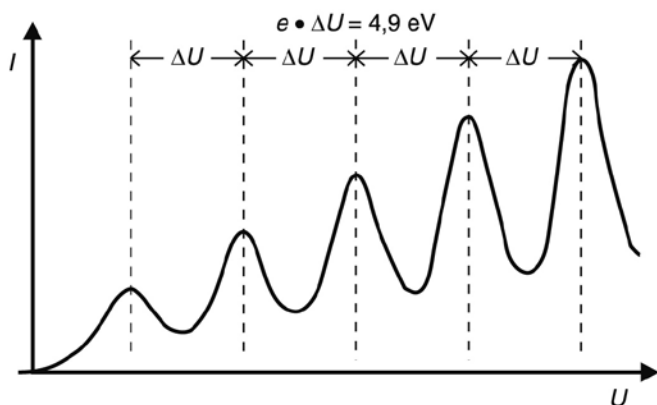


Experimento de Franck-Hertz en mercurio – Registro con osciloscopio (P6.2.4.1)

N° de cat.	Descripción	P6.2.4.1	P6.2.4.2
555 854	Tubo de Franck-Hertz Hg	1	1
555 864	Casquillo adaptador para tubo de Franck-	1	1
555 81	Horno eléctrico tubular, 230 V	1	1
555 880	Unidad de operación de Franck-Hertz	1	1
666 193	Sonda de temperatura NiCr-Ni	1	1
575 304	Osciloscopio de memoria digital 70MHz de dos canales	1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
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

En 1914 *J. Franck* y *G. Hertz* informan acerca de la entrega discontinua de energía de los electrones al pasar por vapor de mercurio y sobre la emisión de la línea espectral ultravioleta ($\lambda = 254 \text{ nm}$) asociada a ello. Meses después, *Niels Bohr* reconoce en este experimento la prueba para el modelo de átomo propuesto por él.

El experimento se ofrece en dos versiones, experimentos P6.2.4.1 y P6.2.4.2, que se diferencian solo en el registro y evaluación de los datos. Los átomos de mercurio se encuentran en un tetrodo compuesto de un cátodo, un electrodo de control de forma de rejilla, una rejilla de aceleración y un electrodo colector. Con la rejilla de control se ajusta la cuasi constante corriente de emisión del cátodo. Entre la rejilla de aceleración y el electrodo colector se aplica una tensión inversa. Al aumentar la tensión de aceleración U entre el cátodo y la rejilla de aceleración, después de sobrepasar la tensión inversa, la corriente del colector sigue en lo posible la curva característica del tubo. Tan pronto como la energía cinética de los electrones es suficiente para excitar los átomos de mercurio mediante choques inelásticos, los electrones no llegan a alcanzar el colector y la corriente del colector disminuye. La zona de excitación se encuentra, para esta tensión de aceleración, directamente delante de la rejilla de aceleración. Un aumento adicional de la tensión de aceleración hace que la zona de excitación migre hacia el cátodo, los electrones puedan tomar energía en su recorrido hacia la rejilla y la corriente del colector aumente otra vez. Finalmente los electrones son capaces de excitar por segunda vez los átomos de mercurio, la corriente del colector disminuye, y así sucesivamente. Por lo tanto, la característica $I(U)$ muestra una fluctuación periódica, en donde la distancia entre los mínimos $\Delta U = 4,9 \text{ eV}$ corresponde a la energía de excitación de los átomos de mercurio del estado fundamental 1S_0 hacia el primer estado 3P_1 .



Curva de Franck-Hertz para mercurio (P6.2.4.1)

EXPERIMENTO DE
FRANCK-HERTZ

P6.2.4.3
Experimento de Franck-Hertz en neón
- Registro con osciloscopio

P6.2.4.4
Experimento de Franck-Hertz en neón
- Registro y evaluación con CASSY

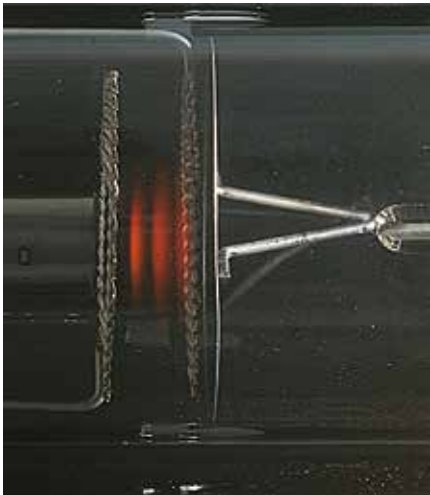


Experimento de Franck-Hertz en neón - Registro y evaluación con CASSY (P6.2.4.4)

N° de cat.	Descripción	P6.2.4.3	P6.2.4.4
555 870	Tubo de neón de Franck-Hertz	1	1
555 871	Montura par tubo de Neón Franck-Hertz	1	1
555 872	Cable de conexión Ne-FH, 6 polos	1	1
555 880	Unidad de operación de Franck-Hertz	1	1
575 304	Osciloscopio de memoria digital 70MHz de dos canales	1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
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

La excitación de los átomos de neón mediante choques inelásticos de electrones se realiza con una alta probabilidad en estados que se encuentran en aproximadamente 18,7 eV por sobre el estado fundamental para una presión del gas de unos 10 hPa. La desexcitación de estos estados puede llevarse a cabo emitiendo fotones a través de estados intermedios como camino alternativo. Aquí las longitudes de onda de los fotones se encuentran en el rango visible entre el rojo y el verde. La luz emitida puede ser observada a simple vista y ser medida por ejemplo con el espectroscopio de Kirchhoff/Bunsen para prácticas de laboratorio (467 112).

El experimento de Franck-Hertz en neón se ofrece en dos versiones, experimentos P6.2.4.3 y P6.2.4.4, que se diferencian solo en el registro y evaluación de los datos. En ambas versiones los átomos de neón se encuentran en un tubo de vidrio con cuatro electrodos: el cátodo K, el electrodo de control de forma de rejilla G_1 , la rejilla de aceleración G_2 y el electrodo colector A. De manera similar al experimento de Franck-Hertz en mercurio aquí se aumenta continuamente la tensión aceleradora U y se mide la corriente I de los electrones en el colector que pueden vencer la tensión inversa entre G_2 y A. La corriente del colector es siempre mínima si la energía cinética directamente delante de la rejilla G_2 es justo la energía que se necesita para excitar por medio de choques a los átomos de neón, y para tensiones mayores de aceleración nuevamente crece. Entre las rejillas G_1 y G_2 se observan claramente zonas luminosas rojas separadas entre sí, cuyo número aumenta conforme aumenta la tensión. Se trata de zonas con mayor densidad de excitación, en las que los átomos excitados emiten luz espectral.



Zonas luminosas entre el electrodo de control y la rejilla de aceleración (P6.2.4.3-4)

RESONANCIA DE ESPÍN ELECTRÓNICO (ESR)

P6.2.6.2

Resonancia de espín electrónico en DPPH – Determinación del campo magnético en función de la frecuencia de resonancia

P6.2.6.3

Absorción resonante en un circuito oscilatorio HF pasivo



Resonancia de espín electrónico en DPPH – Determinación del campo magnético en función de la frecuencia de resonancia (P6.2.6.2)

N° de cat.	Descripción	P6.2.6.2	P6.2.6.3
514 55	Unidad básica para ESR	1	1
514 571	Unidad de mando para ESR	1	1
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1	
575 304	Osciloscopio de memoria digital 70MHz de dos canales	1	1
501 02	Cable BNC, 1 m	2	
300 11	Zócalo	3	2
501 20	Cable de experimentación, 25 cm, rojo	1	
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	1	
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1
501 644	Juego de 6 acopladores, negros		1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm		1

El momento magnético del electrón no apareado con momento angular total j toma en el campo magnético los estados de energía discretos

$$E_m = -g_j \cdot \mu_B \cdot m \cdot B \quad \text{con } m = -j, -j+1, \dots, j$$

$$\mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}} : \text{magnetón de Bohr}$$

g_j : factor g

Cuando un campo magnético de alta frecuencia perpendicular al campo magnético se aplica y con frecuencia ν excita transiciones entre estados energéticos vecinos, si se cumple la condición de resonancia

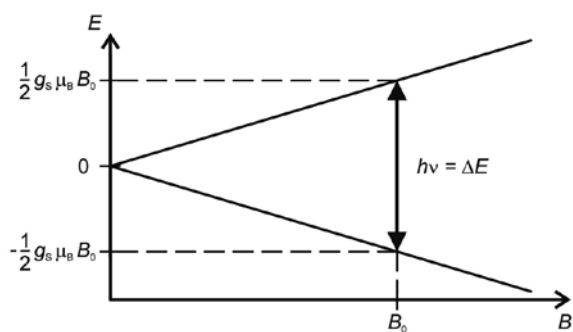
$$h \cdot \nu = E_{m+1} - E_m$$

h : constante de Planck

Este hecho es la piedra fundamental de la resonancia de espín electrónico, en la que la señal de resonancia puede ser detectada con un sistema de alta frecuencia. Frecuentemente se puede suponer que los electrones pueden moverse libremente. El factor g se diferencia muy poco de aquel del electrón libre ($g = 2,0023$), y la frecuencia de resonancia ν es de unos 27,8 MHz para un campo magnéticos de 1 mT. En la resonancia de espín electrónico se estudian propiamente los campos magnéticos internos de la sustancia de prueba causados por los momentos magnéticos de los electrones y núcleos adyacentes.

En el experimento P6.2.6.2 se verifica la resonancia de espín electrónico en difenil-picril-hidracilo (DPPH). El DPPH es un radical con un electrón libre en un átomo de nitrógeno. En el experimento se puede prefijar de manera continua las frecuencias de resonancia ν entre 13 y 130 MHz. El objetivo de la evaluación es la determinación del factor g .

El propósito del experimento P6.2.6.3 es la detección de la absorción de resonancia con un circuito oscilatorio pasivo.



Esquema de la condición de resonancia para electrones libres (P6.2.6.2)

EFECTO ZEEMAN NORMAL

P6.2.7.3

Observación del efecto Zeeman normal en una configuración transversal y en una configuración longitudinal - espectroscopía con un etalómetro de Fabry-Perot

P6.2.7.4

Medición de desdoblamiento Zeeman de la línea roja del cadmio en función del campo magnético - espectroscopía con un etalómetro de Fabry-Perot



Observación del efecto Zeeman normal en una configuración transversal y en una configuración longitudinal - espectroscopía con un etalómetro de Fabry-Perot (P6.2.7.3)

Nº de cat.	Descripción	P6.2.7.3	P6.2.7.4
451 12	Lámpara de cadmio	1	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1	1
562 131	Bobina de 480 espiras, 10 A	2	2
560 315	Par de piezas polares perforadas grande	1	1
521 551	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 0 ... 10 A	1	1
471 221	Etalón de Fabry-Perot	1	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	2	2
472 601	Placa de cuarto de onda, 140 nm	1	
472 401	Filtro de polarización	1	
468 41	Soporte vastago para filtros de interfer	1	1
468 400	Filtro de interferencia, 644 nm	1	1
460 135	Ocular gratificado	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 381	Jinetillo con rosca	1	1
460 373	Jinetillo 60/50	7	5
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	2	2
662 1584	WEBCAM con USB 1080p		1
688 801	Varilla de soporte con foto rosca 1/4", 10 x 112,5 mm		1
460 374	Jinetillo 90/50		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
524 0381	Sonda B multiuso S		1
501 11	Cable de extensión, 15 polos		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

El efecto Zeeman es el desdoblamiento de niveles de energías atómicas en un campo magnético externo que causa el desdoblamiento de las transiciones entre los niveles. El efecto fue predicho por *H. A. Lorentzen* 1895 y un año después comprobado experimentalmente por *P. Zeeman*. Zeeman observó en la línea espectral roja del cadmio ($\lambda = 643,8 \text{ nm}$), en dirección perpendicular al campo magnético un triplete de líneas, en lugar de una sola línea y en dirección paralela al campo magnético, un doblete de líneas. Posteriormente se descubrieron otros desdoblamientos complejos en otros elementos y que fueron denominados efecto Zeeman anómalo. Se dedujo que el efecto Zeeman normal sea una excepción, ya que este solo se presenta en transiciones entre niveles atómicos con espín total $S = 0$.

En el experimento P6.2.7.3, el efecto Zeeman es observado en la línea roja del cadmio, en configuración paralela y perpendicular al campo magnético, y se determina el estado de polarización de los componentes Zeeman individuales. Estas observaciones pueden ser explicadas en base a la característica radiactiva de la radiación dipolar. La componente π corresponde a un dipolo hertziano, que oscila paralelamente al campo magnético (es decir, no se puede observar paralela al campo magnético) e irradia luz linealmente polarizada perpendicular al campo magnético. Cada una de las dos componentes σ corresponde a dos dipolos oscilando perpendicularmente uno respecto al otro con una diferencia de fase de 90° . Estas irradian luz circularmente polarizada en la dirección del campo magnético, y la luz linealmente polarizada paralela a este.

En el experimento P6.2.7.4, la división Zeeman de la línea roja del cadmio es medida en función del campo magnético B . El intervalo de energía de los componentes del triplete

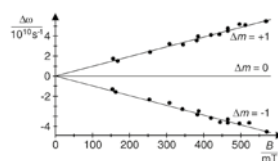
$$\Delta E = \frac{h}{4\pi} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot B$$

m_e : masa del electrón, e : carga elemental

h : constante de Planck

B : inducción magnética

se usa para calcular la carga específica del electrón.



Desdoblamiento Zeeman en función del campo magnético (P6.2.7.2+4)



DETECCIÓN DE RAYOS X

- P6.3.1.1
Fluorescencia de una pantalla fluorescente provocada por rayos X
- P6.3.1.2
Fotografía de rayos X: Ennegrecimiento de películas causada por rayos X
- P6.3.1.5
Estudio del modelo de implante
- P6.3.1.6
Influencia de la sustancia de contraste a la absorción de rayos X

Estudio del modelo de implante (P6.3.1.5)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.1.1	P6.3.1.2	P6.3.1.5	P6.3.1.6
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1	1	1	1
554 838	Soporte de película para Rayos X		1	1	
554 895	Película para rayos X		1		
554 8391	Modelo de implante			1	
554 839	Modelo de vaso sanguíneo para sustancia de contraste				1
602 023	Vaso de precipitado de cristal al borosi				1
602 295	Botella de cristal marrón con tapón ancho				1
602 783	Varilla de vidrio, 200 mm, Ø 6 mm				1
672 6610	Yoduro potásico, 100 g				1

En la radiografía de rayos X y el procesamiento de imágenes, es esencial conocer las características de la fuente de radiación y el objeto utilizado. La resolución mínima se determina por el tamaño del punto focal en el ánodo. El contraste en la imagen y, por lo tanto, la visibilidad de los detalles se define por la absorción de diferentes materiales dependiente de la longitud de onda y el espectro de la fuente de rayos X.

En el experimento P6.3.1.1 se demuestra la radiación con rayos X en objetos simples, cuyas partes individuales están compuestas de materiales de diferentes características de absorción. Para detectar los rayos X se utiliza una pantalla de sulfuro de zinc-cadmio, en la que se excitan átomos por absorción de rayos X y se emite cuantos de luz en el rango visible. Se estudia la influencia de la corriente de emisión I del tubo de rayos X sobre la luminosidad y la influencia de la alta tensión U sobre el contraste de la pantalla fluorescente.

En el experimento P6.3.1.2 se fija la irradiación de objetos con una película de rayos X. La medición del tiempo de exposición para un determinado ennegrecimiento de la película permite sacar conclusiones cuantitativas sobre la intensidad de los rayos X.

El experimento P6.3.1.5 demuestra el uso de la radioscopia para detectar objetos ocultos. Una varilla metálica dentro de un bloque de madera es invisible al ojo humano, pero se puede detectar e incluso sus dimensiones por intermedio de fluorescencia de rayos X.

El experimento P6.3.1.6 demuestra el uso de un medio de contraste. Una solución de yodina radiopaca fluye a lo largo de canales dentro de una placa y es claramente visible en la imagen de fluorescencia de rayos X. No obstante, el agua pura no puede ser vista de esta manera.

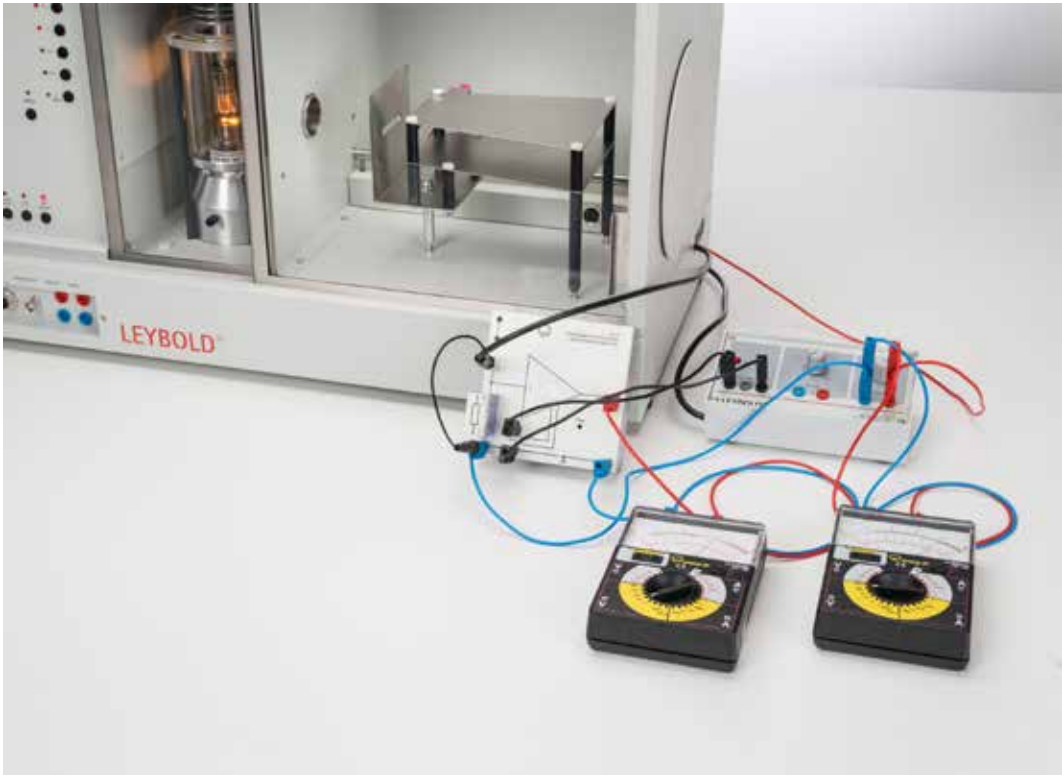


Imagen del modelo de implantación (P6.3.1.5)

DETECCIÓN DE RAYOS X

P6.3.1.3
Detección de rayos X con una cámara de ionización

P6.3.1.4
Determinación de la intensidad de la dosis ionizante del tubo de rayos X con ánodo de molibdeno

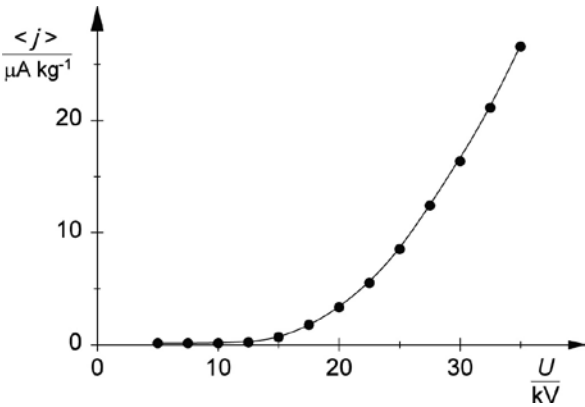


Detección de rayos X con una cámara de ionización (P6.3.1.3)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.1.3-4
554 800	Unidad básica para rayos X	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1
554 840	Condensador de placas para rayos X	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1
577 02	Resistencia 1 GOhmio, 0,5 W, 5 %	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
501 451	Par de cables 50 cm, negro	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	2

Como los rayos X ionizan los gases, estos pueden se pueden medir mediante la corriente de ionización de una cámara de ionización.

El objetivo de los experimentos P6.3.1.3 y P6.3.1.4 es detectar rayos X utilizando una cámara de ionización. Mientras que el experimento P6.3.1.3 se centra en la investigación de las características de saturación de la configuración experimental, el experimento P6.3.1.4 investiga la tasa de dosis de iones para cuantificar el efecto de los rayos X. La intensidad de dosis iónica media se calcula a partir de la corriente de ionización I_{ion} que genera la radiación X en el volumen de aire irradiado V y la masa m del aire irradiado. Las mediciones se realizan para diversas corrientes de emisión I y altos voltajes U del tubo de rayos X.



Intensidad de dosis ionizante media j en función de la alta tensión del tubo U , $I = 1,0 \text{ mA}$ (P6.3.1.4)

DETECCIÓN DE RAYOS X

P6.3.1.11
Fotografía de rayos X digital con el
módulo de tomografía computarizada

P6.3.1.12
Fotografía de rayos X digital con el
sensor de imágenes de rayos X



Fotografía de rayos X digital con el sensor de imágenes de rayos X (P6.3.1.12)

N° de cat.	Descripción	P6.3.1.11	P6.3.1.12
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1
554 866	Tubo de rayos X de Au	1	1
554 821	Módulo de tomografía computarizada	1	
554 838	Soporte de película para Rayos X	1	
554 8382	Portaobjetos de rayos X 1	1	
554 834	Absorbentes de rayos X	1	1
554 822	Plantillas de prueba, 2D	1	1
554 8281	Sensor de imágenes de rayos X		1
554 8291	Banco de precisión de sensor de imágenes de rayos X		1
554 8292	Portaobjetos de rayos X 2		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

En la radiografía de rayos X y el procesamiento de imágenes, es esencial conocer las características de la fuente de radiación y el objeto utilizado. La resolución mínima se determina por el tamaño del punto focal en el ánodo. El contraste en la imagen y, por lo tanto, la visibilidad de los detalles se define por la absorción de diferentes materiales dependiente de la longitud de onda y el espectro de la fuente de rayos X.

El experimento P6.3.1.11 mide la atenuación de los rayos X mediante la evaluación cuantitativa de una imagen digital de rayos X en la computadora, mide el contraste de una imagen digital de rayos X en función de la energía e intensidad de la radiación X y la resolución de las imágenes de rayos X digitales se determina sobre la base de varias imágenes de prueba.

El experimento P6.3.1.12 mide la atenuación de los rayos X mediante la evaluación cuantitativa de una imagen digital de rayos X en la computadora, mide el contraste de una imagen digital de rayos X en función de la energía e intensidad de la radiación X, la resolución de las imágenes de rayos X digitales se determina sobre la base de varias imágenes de prueba y la mancha focal del ánodo del tubo de rayos X se proyecta en el sensor de imagen de rayos X mediante una imagen geométrica simple y se mide.

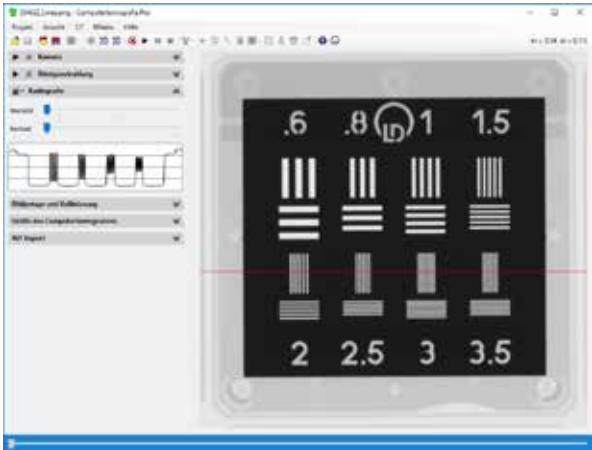


Imagen de la estructura del ánodo a través de un estenopeico (P6.3.1.12)

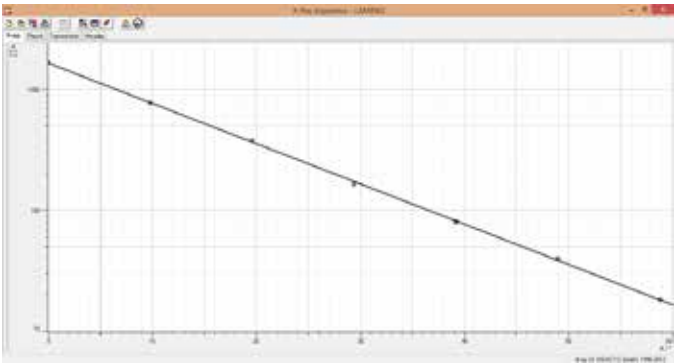
ATENUACIÓN DE RAYOS X

- P6.3.2.1
Estudio de la atenuación de rayos X en función del material y el espesor del absorbente
- P6.3.2.2
Estudio del coeficiente de atenuación en función de la longitud de onda
- P6.3.2.3
Estudio del coeficiente de atenuación en función del número atómico Z
- P6.3.2.4
Estudio de la atenuación de los rayos X en función de la distancia



Estudio de la atenuación de rayos X en función del material y el espesor del absorbente (P6.3.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.2.1	P6.3.2.2	P6.3.2.3	P6.3.2.4
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1	1	1	
554 831	Goniómetro	1	1	1	
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1	1	1	
554 834	Absorbentes de rayos X	1			
554 78	Cristal de NaCl para reflexión de Bragg		1	1	
554 832	Juego de láminas absorbedoras		1	1	
554 866	Tubo de rayos X de Au				1
554 8281	Sensor de imágenes de rayos X				1
554 8291	Banco de precisión de sensor de imágenes de rayos X				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1		1



Estudio de la atenuación de rayos X en función del material y el espesor del absorbente (P6.3.2.1)

La atenuación de rayos X al penetrar un absorbente de espesor d es descrita por la ley de atenuación de Lambert:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

I_0 : intensidad de irradiación primaria
 I : intensidad transmitida

En la atenuación participan tanto la absorción como la dispersión de los rayos X en el absorbente. El coeficiente μ de atenuación lineal μ depende del material absorbente y de la longitud de onda λ de los rayos X. Se observa un borde de absorción, es decir, un paso abrupto de una región de poca atenuación hacia una región de fuerte atenuación, si la energía $h \cdot \nu$ de los cuantos de rayos X apenas sobrepasa la energía necesaria para separar un electrón de las capas electrónicas internas del átomo del absorbente.

El objetivo del experimento P6.3.2.1 es la confirmación experimental de la ley de atenuación de Lambert en aluminio y también la determinación de los coeficientes de atenuación μ promediados en todo el espectro del tubo de rayos X para seis diferentes materiales absorbentes.

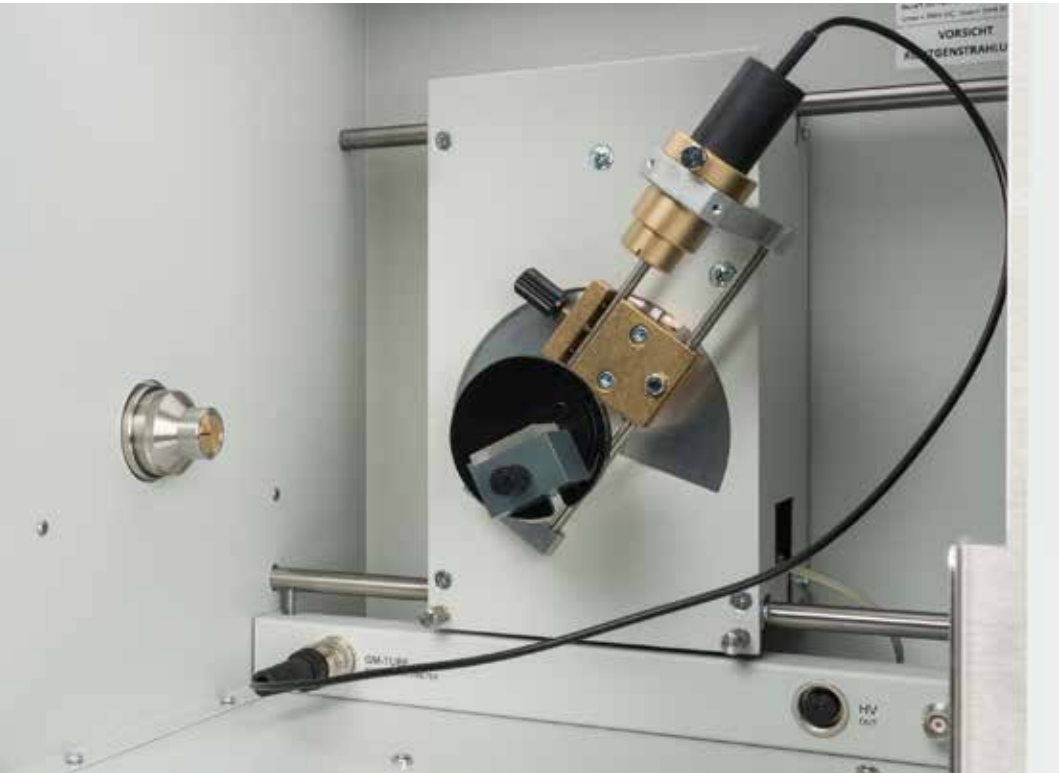
En el experimento P6.3.2.2 se registran las curvas de transmisión

$$T(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}$$

para diferentes materiales absorbentes. El objetivo de la evaluación es verificar la dependencia λ^3 de los coeficientes de atenuación para longitudes de onda fuera de los cantos de absorción.

En el experimento P6.3.2.3 se determina el coeficiente de atenuación $\mu(\lambda)$ para diferentes materiales absorbentes para una longitud de onda λ , que se encuentra fuera del canto de absorción. Aquí se concluye que los coeficientes de atenuación aumentan, en buena aproximación, de manera proporcional a la cuarta potencia del número atómico Z de los absorbente.

El experimento P6.3.2.4 mide la intensidad de la radiación X a diferentes distancias del tubo de rayos X. Se confirma la ley de distancia cuadrática.

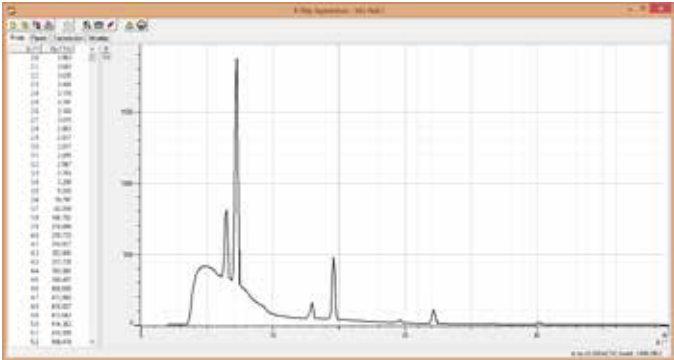


FÍSICA DE LAS CAPAS ATÓMICAS

- P6.3.3.1 Reflexión de Bragg: Difracción de rayos X en un monocristal
- P6.3.3.2 Estudio de los espectros de energía de un tubo del rayos X en función de la alta tensión y de la corriente de emisión
- P6.3.3.3 Ley del desplazamiento de Duane-Hunt y determinación de la constante de Planck
- P6.3.3.5 Absorción en forma de cantos: Filtrado de rayos X
- P6.3.3.6 Ley de Moseley y determinación de la constante de Rydberg

Estudio de los espectros de energía de un tubo del rayos X en función de la alta tensión y de la corriente de emisión (P6.3.3.2)

Cat. No.	Description	P6.3.3.1-3	P6.3.3.5	P6.3.3.6
554 801	X-ray apparatus, Mo, complete	1	1	1
559 01	End-window counter with cable for α , β , γ and X-rays	1	1	1
554 832	Set of absorber foils			1
	additionally required: PC with Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 or x64)	1	1	1



Espectro de Bragg de un ánodo de Molibdeno (P6.3.5.2)

La radiación de un tubo de rayos X tiene dos contribuciones: una radiación de frenado continua que surge cuando electrones rápidos son frenados en el ánodo y una radiación característica compuesta de líneas individuales causada por las transiciones de electrones hacia las capas interiores del átomo del material del ánodo, de las que se ha extraído un electrón por choques.

Para verificar la naturaleza ondulatoria de los rayos X, en el experimento P6.3.3.1 se estudia la difracción de las líneas características K_α y K_β del ánodo de molibdeno en un monocristal de NaCl haciéndose uso de la ley de reflexión de Bragg para explicarla.

En el experimento P6.3.3.2, con un goniómetro en el montaje de Bragg se registra el espectro de energías del tubo de rayos X en función de la alta tensión y de la corriente de emisión. Aquí se estudia la distribución espectral del espectro continuo de radiación de frenado y la intensidad de las líneas características.

En el experimento P6.3.3.3 se mide la dependencia de la longitud de onda $\lambda_{\min}$ del espectro continuo de radiación de frenado con respecto a la alta tensión U del tubo de rayos X. Mediante la ley de desplazamiento de Duane-Hunt se obtiene la constante de Planck h a partir de los valores de la medición.

El objetivo del experimento P6.3.3.5 es el filtrado de rayos X por el canto de absorción de un absorbente, es decir, el paso abrupto de una región débil a una región fuerte de absorción.

En el experimento P6.3.3.6 se determinan las longitudes de onda λ_K de los cantos de absorción en función de los números atómicos Z . A partir de los valores de la medición, con la ley de Moseley se obtiene la constante de Rydberg R y el blindaje promedio σ .

ESPECTROSCOPIA ENERGÉTICA DE RAYOS X

P6.3.5.1

Registro y calibración de un espectro energético de rayos X

P6.3.5.2

Registro del espectro energético de un ánodo de molibdeno

P6.3.5.3

Registro del espectro energético de un ánodo de cobre

P6.3.5.4

Estudio del espectro característico en función al número atómico: líneas K

P6.3.5.5

Investigación del espectro característico en función al número atómico: líneas L

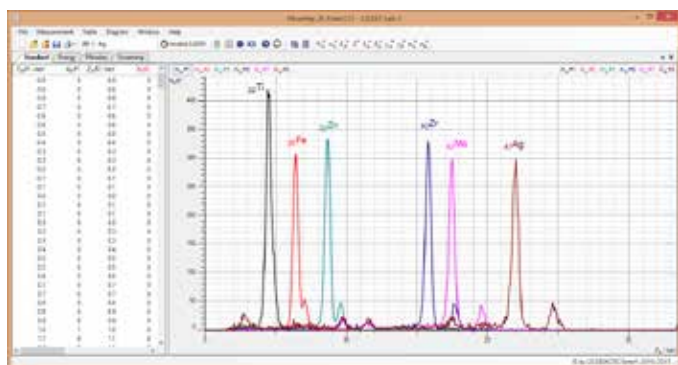
P6.3.5.6

Reflexión de Bragg resuelta energéticamente en ordenes distintas de difracción



Registro y calibración de un espectro energético de rayos X (P6.3.5.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.5.1-2	P6.3.5.3	P6.3.5.4	P6.3.5.5	P6.3.5.6
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1		1	1	
554 831	Goniómetro	1	1	1	1	1
559 938	Detector de energía de rayos X	1	1	1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1	1	1
524 058	Unidad MCA	1	1	1	1	1
501 02	Cable BNC, 1 m	1	1	1	1	1
554 862	Tubo de rayos X de Cu		1			1
554 844	Juego de muestras para la fluorescencia de las líneas K			1		
554 846	Juego de muestras para la fluorescencia de las líneas L				1	
554 78	Cristal de NaCl para reflexión de Bragg					1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1	1	1



Fluorescencia de rayos X de diversos elementos (P6.3.5.4/5)

El detector de energía de rayos X permite el registro del espectro energético de dicha radiación. El detector se compone de un fotodiodo refrigerado mediante el efecto Peltier, el cual genera pares de electrón hueco por acción de los rayos X incidentes. El número de pares electrón hueco, y por consiguiente, la altura del pulso de voltaje después de la amplificación es proporcional a la energía de los rayos X. El análisis de la altura del pulso es realizado a través del CASSY, que funciona como un analizador de canales múltiples (Caja-MCA), el cual está conectado a una computadora (PC).

El objetivo del experimento P6.3.5.1 es registrar el espectro de fluorescencia de rayos X de una muestra, y usar las energías dadas para la calibración del eje de energía. La muestra esta hecha de acero galvanizado y emite varias líneas fluorescentes.

Los experimentos P6.3.5.2 y P6.3.5.3 hacen uso de un detector calibrado para registrar el espectro emitido desde un ánodo de molibdeno o de cobre. El espectro resultante muestra las líneas características del material del que esta hecho el ánodo y el espectro continuo de radiación de frenado.

El experimento P6.3.5.4 demuestra las diferencias en las líneas características fluorescentes K (transiciones hacia la capa K) en el espectro de rayos X de diferentes elementos. Estas son consideradas para confirmar la ley de Moseley' y mostrar aspectos de análisis de materiales.

El experimento P6.3.5.5 muestra líneas características fluorescentes L similares para elementos más pesados, demostrando la emisión de rayos X debido a las transiciones a la capa L.

En el experimento P6.3.5.6, es posible observar diferentes energías de rayos X simultáneamente ya que la condición de Bragg se cumple para diferentes órdenes.

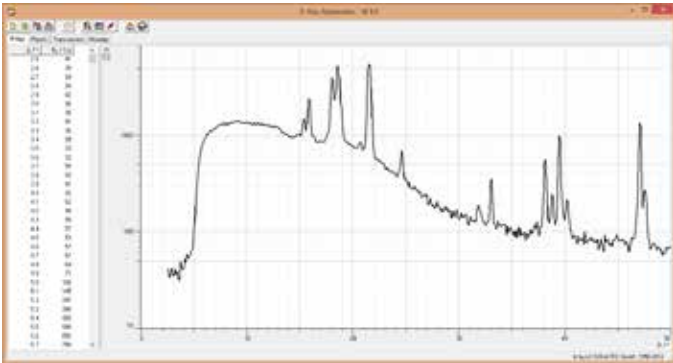


ESTRUCTURA DE ESPECTROS DE RAYOS X

- P6.3.6.1
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de molibdeno
- P6.3.6.2
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de cobre
- P6.3.6.3
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de hierro
- P6.3.6.4
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de plata
- P6.3.6.5
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de tungsteno
- P6.3.6.6
Determinación de la energía de enlace de las capas corticales separadas por excitación selectiva
- P6.3.6.7
Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de oro

Estructura fina de los rayos X característicos de un ánodo de molibdeno (P6.3.6.1)

N° de cat.	Descripción	P6.3.6.1	P6.3.6.2	P6.3.6.3	P6.3.6.4	P6.3.6.5-6	P6.3.6.7
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1					
554 831	Goniómetro	1	1	1	1	1	1
554 78	Cristal de NaCl para reflexión de Bragg	1			1		
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1	1	1	1	1	1
554 862	Tubo de rayos X de Cu		1				
554 791	Cristal de KBr para reflexión de Bragg		1				
554 863	Tubo de rayos X de Fe			1			
554 77	Cristal de LiF para reflexión de Bragg			1		1	1
554 865	Tubo de rayos X de Ag				1		
554 864	Tubo de rayos X de W					1	
554 866	Tubo de rayos X de Au						1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1	1	1	1



Espectro de Bragg del ánodo de tungsteno (P6.3.6.5)

La estructura y estructura fina del espectro de rayos X revela información valiosa acerca de la posición de los niveles de energía atómica. Se presenta la sistemática de las transiciones de rayos X. Empezando con molibdeno y completando con otros materiales que funcionan también como ánodos, como cobre y hierro, las transiciones de la capa K son investigadas en elementos ligeros y medianamente pesados.

A diferencia de estos materiales, los elementos pesados ??como el tungsteno muestran una emisión característica de la capas L con muchos detalles, porque el nivel inferior de la transición consta de varios subniveles que también pueden excitarse selectivamente.

El experimento P6.3.6.1 investiga el espectro de rayos X de un ánodo de molibdeno y la estructura fina de la línea K_{α} .

En los experimentos P6.3.6.2 y P6.3.6.3, se observan la radiación característica de baja energía de un ánodo de cobre o de hierro, y la estructura fina de la línea K_{α} .

El experimento P6.3.6.4 muestra la radiación característica de alta energía de plata y la división de estructura fina debido al acoplamiento de espín y orbita.

El experimento P6.3.6.5 demuestra la estructura fina de las líneas L de tungsteno. Debido a la división de los niveles energéticos, existen aproximadamente 11 transiciones visibles ($L_{\alpha 1-2}$, $L_{\beta 1-4}$, $L_{\gamma 1-3}$, L_{δ} , L_{ϵ}), las cuales pueden ser usadas para evaluar la posición de los niveles energéticos y demostrar transiciones permitidas y prohibidas.

Complementando el experimento P6.3.6.5, el experimento P6.3.6.6 mide directamente la división de la capa L. Solo el nivel L3 puede ser excitado a baja tensión de aceleración, y las transiciones de voltaje ascendente a L2 y luego a L1 se vuelven observables. Las energías de unión absoluta de los subniveles L se pueden medir directamente.

El experimento P6.3.6.7 demuestra la estructura fina de las líneas L de oro. Debido a la división de los niveles energéticos, existen aproximadamente 10 transiciones visibles ($L_{\alpha 1-2}$, $L_{\beta 1-4}$, $L_{\gamma 1-3}$, L_{δ} , L_{ϵ}), las cuales pueden ser usadas para evaluar la posición de los niveles energéticos y demostrar transiciones permitidas y prohibidas.

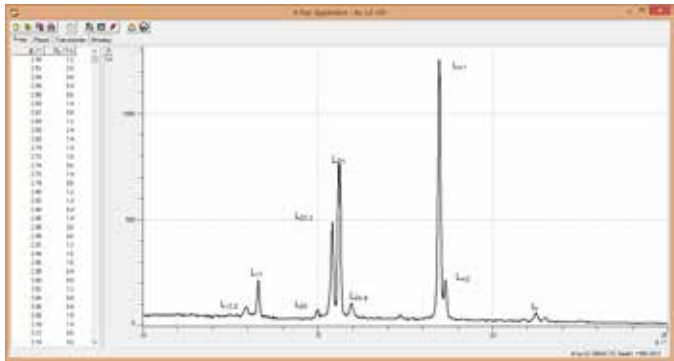
ESTRUCTURA DE
ESPECTROS DE RAYOS X

- P6.3.6.11
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de molibdeno
- P6.3.6.12
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de cobre
- P6.3.6.13
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de hierro
- P6.3.6.14
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de plata
- P6.3.6.15
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de tungsteno
- P6.3.6.17
Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de oro



Estructura fina en alta resolución de los rayos X característicos de un ánodo de molibdeno (P6.3.6.11)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.6.11	P6.3.6.12	P6.3.6.13	P6.3.6.14	P6.3.6.15	P6.3.6.17
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1					
554 831	Goniómetro	1	1	1	1	1	1
554 835	Accesorio HD, Rayos X	1	1	1	1	1	1
554 78	Cristal de NaCl para reflexión de Bragg	1			1		
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1	1	1	1	1	1
554 862	Tubo de rayos X de Cu		1				
554 77	Cristal de LiF para reflexión de Bragg		1	1		1	1
554 863	Tubo de rayos X de Fe			1			
554 865	Tubo de rayos X de Ag				1		
554 864	Tubo de rayos X de W					1	
554 866	Tubo de rayos X de Au						1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1		1	1	1	1



Espectro de Bragg de alta resolución de un ánodo de oro (P6.3.6.17)

La resolución de los espectros de rayos X puede mejorarse mediante el uso de rendijas más estrechas en el colimador y el detector. En combinación con un goniómetro que puede manejar tamaños de paso más pequeños, la fina estructura de los espectros de rayos X también puede resolverse en una orden de difracción más baja, lo que ahorra tiempo durante la medición.

El uso de rendijas de diferentes anchuras también permite investigar la intensidad de la radiación de la línea atómica en comparación con la intensidad del continuo debido a la separación de los electrones.

El experimento P6.3.6.11 investiga el espectro de rayos X de alta resolución de un ánodo de molibdeno y la estructura fina de la línea K_{α} .

Los experimentos P6.3.6.12 y P6.3.6.13 observan la radiación característica de baja energía de un ánodo de cobre o hierro y la estructura fina de alta resolución de la línea K_{α} .

El experimento P6.3.6.14 observa la radiación característica de alta energía de la plata y la estructura fina de alta resolución que se divide debido al acoplamiento espín-órbita.

El experimento P6.3.6.15 demuestra la estructura fina de alta resolución de las líneas L de tungsteno. Debido a la división de los niveles de energía, hay aproximadamente 10 transiciones visibles ($L_{\alpha 1-2}$, $L_{\beta 1-5}$, $L_{\gamma 1-3}$), que se puede utilizar para evaluar la posición de los niveles de energía y para demostrar transiciones permitidas y prohibidas.

El experimento P6.3.6.17 demuestra la fina estructura de las líneas L doradas. Debido a la división de los niveles de energía, hay aproximadamente 10 transiciones visibles ($L_{\alpha 1-2}$, $L_{\beta 1-4}$, $L_{\gamma 1-3}$, L_{δ} , L_{ϵ}), que se pueden utilizar para evaluar la posición de los niveles de energía y para demostrar las transiciones permitidas y prohibidas.

EFFECTO COMPTON EN LOS RAYOS X

P6.3.7.1

Efecto Compton: Verificación de la pérdida de energía de los cuantos de rayos X dispersados

P6.3.7.2

Efecto Compton: Medición de la energía de los fotones dispersados en función del ángulo de dispersión



Efecto Compton: Medición de la energía de los fotones dispersados en función del ángulo de dispersión (P6.3.7.2)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.7.1	P6.3.7.2
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1	1
554 831	Goniómetro	1	1
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , y γ X	1	
554 836	Accesorio Compton para rayos X	1	
554 8371	Accesorio Compton II para rayos X		1
559 938	Detector de energía de rayos X		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 058	Unidad MCA		1
524 220	CASSY Lab 2		1
501 02	Cable BNC, 1 m		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

A principios de la década de 1920, cuando la naturaleza de la luz como partícula (fotón) –sugerida por el efecto fotoeléctrico– era aun tema de debate, el experimento de Compton en 1923, que consiste en la dispersión de rayos X– en electrones débilmente ligados, constituyó otra evidencia del comportamiento de los rayos X como partículas. *Arthur Holly Compton* investigó la dispersión de rayos X que atravesaban la materia. Considerando la física clásica, la frecuencia de radiación no debe ser alterada por el proceso de dispersión. Sin embargo, *A. H. Compton* observó un cambio de frecuencia en rayos X dispersos. El interpretó este fenómeno en base al modelo de partícula, es decir, como una colisión de un fotón de rayos X y un electrón del material donde se lleva a cabo la dispersión. Asumiendo la conservación total de impulso y energía, una cantidad de energía es transferida del fotón al electrón, de manera que la energía del fotón dispersado depende del ángulo de dispersión ϑ .

El experimento P6.3.7.1 verifica la variación de longitud de onda (Compton shift) usando un contador de ventana. La variación de longitud de onda debido al proceso de dispersión se visualiza como un cambio de la atenuación de un material absorbente, el cual es colocado ya sea delante o detrás del cuerpo dispersado.

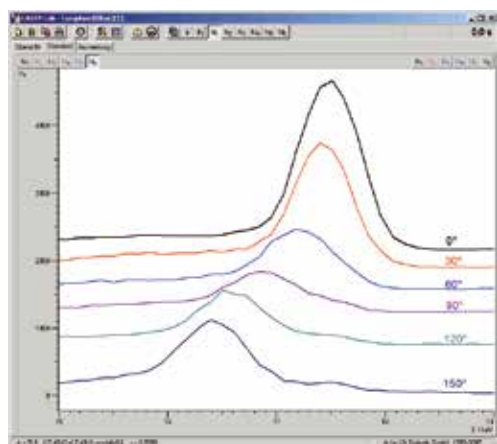
El objetivo del experimento P6.3.7.2 es registrar directamente el espectro energético de los rayos X dispersos en función al ángulo de dispersión ϑ usando el detector de energía de rayos X. La energía $E(\vartheta)$ de los fotones dispersados en diferentes ángulos se determina y se compara con la energía calculada a partir de las leyes de conservación de energía e impulso, usando la expresión relativística para la energía

$$E(\vartheta) = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m \cdot c^2} \cdot (1 - \cos \vartheta)}$$

E_0 : energía del protón antes de la colisión

m : masa del electrón en reposo

c : velocidad de la luz



Variación de energía de los rayos X dispersados en diferentes ángulos (P6.3.7.2)

TOMOGRAFÍA DE RAYOS X

- P6.3.8.1
Medición y representación de una tomografía computarizada
- P6.3.8.2
Tomografía computarizada de objetos geométricos simples
- P6.3.8.3
Fundamentos de tomografía con el módulo de tomografía computarizada
- P6.3.8.4
Medición del coeficiente de absorción y de las unidades de Hounsfield por medio de tomografía computarizada con el módulo de tomografía computarizada
- P6.3.8.5
Tomografía computarizada de muestras biológicas



Medición y representación de una tomografía computarizada (P6.3.8.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.3.8.1	P6.3.8.2-4	P6.3.8.5
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1
554 831	Goniómetro	1	1	1
554 866	Tubo de rayos X de Au	1	1	1
554 821	Módulo de tomografía computarizada	1	1	1
554 823	Fantasma, 3D		1	
554 825	Adaptador LEGO		1	
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

En el año 1972, el primer escáner de tomografía computarizada fue construido por Godfrey Hounsfield, junto con Allan Cormack, quien fue distinguido con el Premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1979. La idea básica de la tomografía computarizada (TC) es la iluminación de un objeto con rayos X desde muchos ángulos distintos. Nuestro aparato educacional permite la iluminación de objetos con rayos X. Las proyecciones en 2D resultantes son visualizadas en la pantalla fluorescente. Al girar un objeto usando un goniómetro implementado en el aparato de rayos X, y registrando las proyecciones en 2D de cada ángulo, la computadora puede reconstruir el objeto iluminado por los rayos X. Nuestro software (con manuales en la web) visualiza la retro proyección necesaria para reconstruir la tomografía computarizada simultáneamente al proceso de escaneo. El modelo en 3D es presentado posteriormente en la pantalla de la PC.

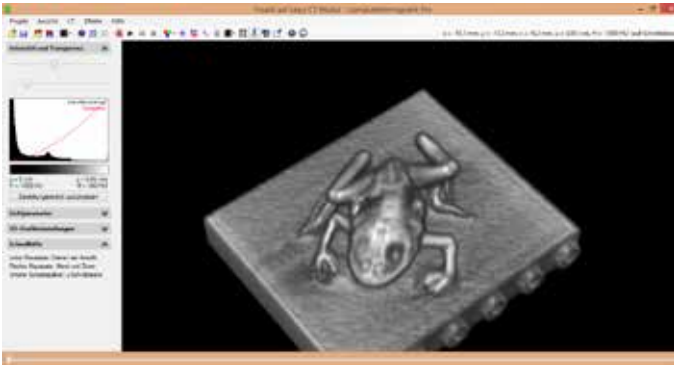
El experimento P6.3.8.1 trata los fundamentos de la tomografía computarizada. Las imágenes de tomografía computarizada de objetos geométricos simples son registradas y visualizadas.

El experimento P6.3.8.2 muestra la tomografía computarizada (TC) de objetos geométricos simples para demostrar los fundamentos de la tomografía.

El experimento P6.3.8.3 muestra la TC de objetos relacionados con la medicina para demostrar las propiedades básicas de la tomografía y para investigar posibles problemas con agentes externos o errores de imagen.

El experimento P6.3.8.4 analiza el coeficiente de absorción del agua dentro de un cuerpo plástico para demostrar las capacidades de la TC en distinguir diferentes tipos de tejidos. Además, se discuten efectos de endurecimiento de los rayos X.

El experimento P6.3.8.5 analiza la TC de especímenes biológicos, aplicando los resultados de los experimentos previos.



Tomografía computarizada de muestras biológicas (P6.3.8.5).



Tomografía computarizada de una figura de Lego (P6.3.8.2)

TOMOGRAFÍA DE RAYOS X

- P6.3.8.11
Medición y representación de una tomografía computarizada con el sensor de imágenes de rayos X
- P6.3.8.12
Tomografía computarizada de objetos geométricos simples con el sensor de imágenes de rayos X
- P6.3.8.13
Fundamentos de la tomografía computarizada con el sensor de imágenes de rayos X
- P6.3.8.14
Medición del coeficiente de absorción y de las unidades de Hounsfield por medio de tomografía computarizada con el sensor de imágenes de rayos X
- P6.3.8.15
Tomografía computarizada de muestras biológicas con el sensor de imágenes de rayos X



Medición y representación de una tomografía computarizada con el sensor de imágenes de rayos X (P6.3.8.11)

N° de cat.	Descripción	P6.3.8.11	P6.3.8.12-4	P6.3.8.15
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1
554 831	Goniómetro	1	1	1
554 866	Tubo de rayos X de Au	1	1	1
554 820P1	Paquete tomografía computarizada Pro	1	1	1
554 823	Fantasma, 3D		1	
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

El sensor de imagen del paquete de Tomografía Computarizada PRO se caracteriza por una resolución significativamente más alta, tanto geoméricamente como en las gradaciones de brillo. Esto permite imágenes de objetos mucho más detalladas.

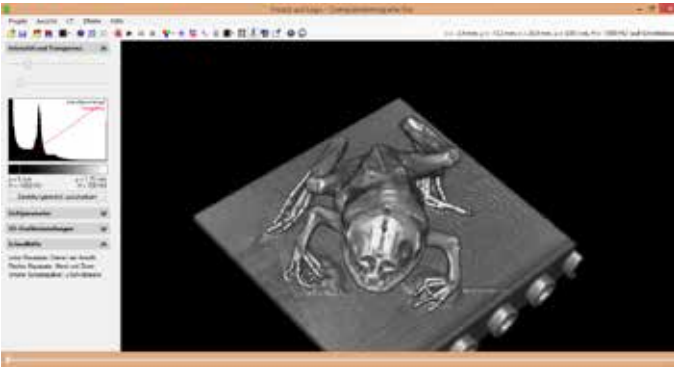
En el experimento P6.3.8.11 se desarrollan los conceptos básicos de la tomografía computarizada y se lleva a cabo el registro y la representación de los tomogramas de objetos geométricos simples.

El experimento P6.3.8.12 examina objetos geométricos simples para estudiar las propiedades básicas y la resolución de la tomografía.

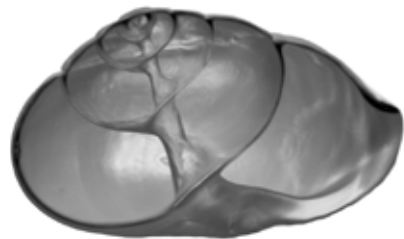
En el experimento P6.3.8.13, se examinan los objetos relacionados con la medicina para presentar las características básicas de la tomografía y también para presentar los posibles problemas relacionados con artefactos y aberraciones.

En el experimento P6.3.8.14, se examinan los coeficientes de absorción de agua en un cuerpo plástico para mostrar las posibilidades de la TC para diferenciar diferentes tipos de tejidos, calibrarlos con unidades Hounsfield y analizar los efectos del endurecimiento del haz.

En el experimento P6.3.8.15, los objetos biológicos reales son examinados por CT y los hallazgos de los experimentos preliminares se aplican en contexto.



La misma rana que se muestra en la página anterior, pero utilizando el sensor de imagen PRO se mejora la resolución a 0,05 mm y se reduce significativamente el ruido (P6.3.8.15).



Tomografías computarizadas de alta resolución de una concha de caracol

DETECCIÓN DE
RADIOACTIVIDAD

P6.4.1.4
Registro de la curva característica de
un tubo contador Geiger-Müller

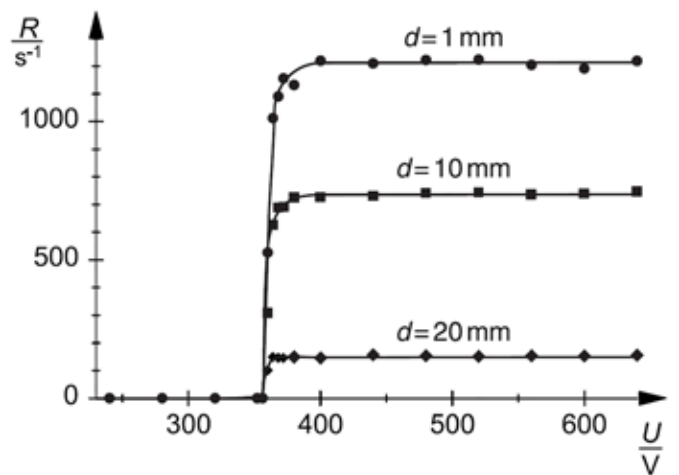


Registro de la curva característica de un tubo contador Geiger-Müller (P6.4.1.4)

Nº de cat.	Descripción	P6.4.1.4
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1
559 436	Preparado de Ra-226, 5 kBq	1
624 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 440	Adaptador GM M	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
591 21	Enchufe grande con muelle	1
532 16	Barra de conexión	1
300 11	Zócalo	2

H. Becquerel descubrió la radioactividad en 1895 al realizar el estudio de sales de uranio. Él descubrió que estas sales de uranio emitían una radiación que cambiaba los materiales fotográficos sensibles a la luz inclusive a través de un papel negro. Además descubrió que el aire es ionizado y que la radiación puede ser identificada mediante este efecto ionizante.

El experimento P6.4.1.4 registra la tasa de conteo frente a la característica de voltaje de un tubo contador Geiger-Müller. La tasa de conteo aumenta con el voltaje para valores de voltaje bajo, antes de alcanzar un valor de saturación (meseta) que depende de la intensidad o distancia de la fuente.



Características del contratubo (tasa de conteo R en función de la tensión del contratubo U) a tres distancias d diferentes entre la preparación y el contratubo (P6.4.1.4)

DISTRIBUCIÓN DE POISSON

P6.4.2.1
Fluctuaciones estadísticas en la
determinación de las tasas de conteo



Fluctuaciones estadísticas en la determinación de las tasas de conteo (P6.4.2.1)

N° de cat.	Descripción	P6.4.2.1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 0331	Tubo contador GM S	1
559 835	Preparaciones radiactivas, juego de 3	1
591 21	Enchufe grande con muelle	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
532 16	Barra de conexión	2
300 11	Zócalo	1*
587 07	Altavoz para altas audiofrecuencias	1*
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1*
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

* se requiere adicionalmente

En cada partícula de un preparado radioactivo el azar determina si en el intervalo de tiempo Δt siguiente la partícula decae. La probabilidad que una determinada partícula decaiga en el intervalo de tiempo siguiente es muy pequeña. Por esta razón, el número n de partículas que decaen en un intervalo de tiempo Δt está distribuido en una curva de Poisson, alrededor de un valor promedio μ . Esto es, la probabilidad que en un intervalo de tiempo Δt is

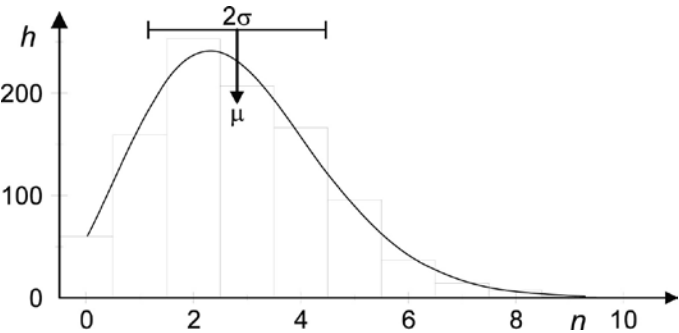
$$W_{\mu}(n) = \frac{\mu^n}{n!} e^{-\mu}$$

μ sea proporcional al tamaño del preparado y al intervalo de tiempo Δt y sea inversamente proporcional a la vida media $T_{1/2}$ del decaimiento radioactivo.

Usando el sistema CASSY, en el experimento P6.4.2.1 se determina varias veces y de manera consecutiva el número n de impulsos, que la radioactividad producen un tubo contador Geiger-Müller durante un tiempo de puerta Δt elegible. Después de un total de N procesos de conteo se determinan las frecuencias $h(n)$, con las que justo se puede contar impulsos cada vez n y representadas como un histograma. Con fines de comparación, el programa de evaluación calcula el valor promedio μ y la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\mu}$$

de la distribución de frecuencias medida $h(n)$ así como la distribución de Poisson $w_{\mu}(N)$. Para valores medios más altos μ la distribución de Poisson se convierte en una distribución de Gauss.



Distribución de Poisson medida y calculada Histograma: $h(n)$, curva: $N \cdot wB(n)$ (P6.4.2.1)

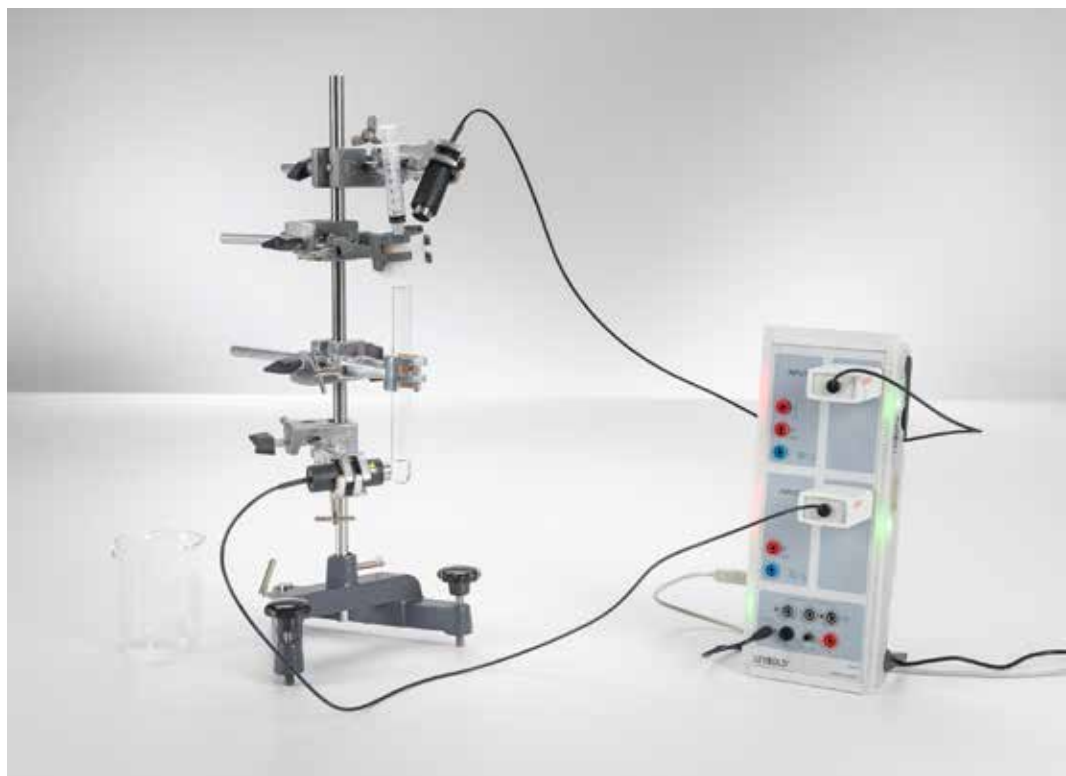
DECAIMIENTO RADIOACTIVO Y VIDA MEDIA

P6.4.3.3

Determinación de la vida media del Cs-137 – Registro punto a punto de la curva de decaimiento radioactivo

P6.4.3.4

Determinación de la vida media del Cs-137 – Registro y evaluación de la curva de decaimiento y de producción radioactivo con CASSY



Determinación de la vida media del Cs-137 – Registro y evaluación de la curva de decaimiento y de producción radioactivo con CASSY (P6.4.3.4)

Nº de cat.	Descripción	P6.4.3.3	P6.4.3.4
559 8150Z	Cs/Ba-137m Generador de isótopos 370 kBq	1	1
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1	
524 440	Adaptador GM M	1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm $\varnothing$	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2	4
666 555	Pinza universal 0...80 mm	2	4
664 043	10 tubos de ensayo de Fiolax con borde r	1	1
664 103	Vaso, 250 ml, forma baja	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 0331	Tubo contador GM S		2
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

Para la actividad de una muestra radioactiva se cumple

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right|$$

En donde N es el número de núcleos atómicos radioactivos en el instante t . Sin embargo, no se puede predecir el instante de decaimiento para núcleos atómicos individuales. Pero el hecho de que todos los núcleos atómicos decaen con la misma probabilidad, resulta que durante el intervalo de tiempo siguiente dt el número de núcleos radioactivos decrece en

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot t$$

λ : constante de decaimiento

Para el número N es válida la ley de decaimiento:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

N_0 : número de núcleos atómicos

radioactivos en el tiempo $t = 0$

Se deduce, entre otros, que después del tiempo de vida media

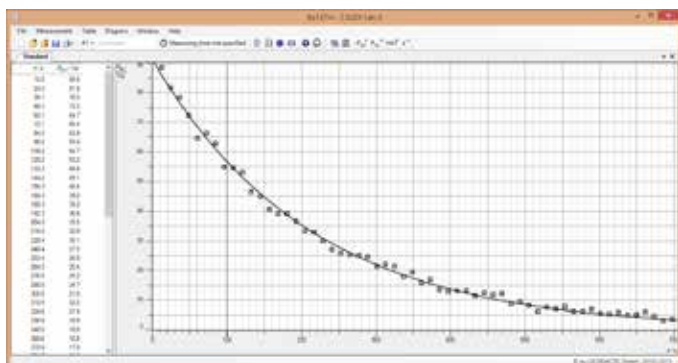
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

el número de núcleos radiactivos ha disminuido a la mitad.

Para determinar la vida media de Ba-137m, en el experimento P6.4.3.3 se usan una botella plástica con Cs-137 guardado en sal. El isótopo meta-estable Ba-137m proveniente de la desintegración β se libera mediante una solución. El medio tiempo es de 2.6 minutos aproximadamente.

En el experimento P6.4.3.4, se utiliza una botella de plástico con Cs-137 radioactivo. El Cs-137 se descompone continuamente en Ba-137m. El isótopo metaestable Ba-137m que surge de la decadencia β es lavado selectivamente por una jeringa con solución de elución. El medio tiempo es de 2.6 minutos aproximadamente.

Usando dos tubos contadores, podemos observar primero la transferencia de elución del Ba-137m radioactivo de la botella de plástico al tubo de ensayo. Dentro del tubo de ensayo, el Ba-137m decaerá exponencialmente con el tiempo en unos pocos minutos, al mismo tiempo, la actividad del Ba-137m dentro de la botella de plástico se acumulará de nuevo. Al final, hay de nuevo un equilibrio dinámico de decaimiento y producción en la botella de plástico.



Radioactividad en decaimiento después de la elución de Ba-137m (P6.4.3.4)



ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN α , β Y γ

P6.4.4.2

Atenuación de la radiación β al pasar por la materia

P6.4.4.3

Confirmación de la ley de la distancia para la radiación β

P6.4.4.4

Absorción de radiación γ al pasar por la materia

Confirmación de la ley de la distancia para la radiación β (P6.4.4.3)

N° de cat.	Descripción	P6.4.4.2	P6.4.4.3	P6.4.4.4
559 835	Preparaciones radiactivas, juego de 3	1	1	
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1	1	1
575 471	Contador S	1	1	1
559 18	Colimador con láminas de absorción	1		
590 02	Soporte con muelle prensor	1	1	
591 21	Enchufe grande con muelle	1	1	
532 16	Barra de conexión	2	2	
300 11	Zócalo	2	2	
460 97	Escala metálica, 0,5 m		1	
559 845	Lamina de oro y aluminio en retén a,b,g			1
559 855	Isótopo radioactivo de Co-60			1
686 651	Placa de experimentación RAD			1
686 653	Soportes de tubo contador y preparación			1
686 657	Pinzas de plástico, separación 1,2 cm, juego de 3			1
686 660	Montura y 9 placas, juego de			1
686 661	Placas de plomo, 50 x 50 x 2 mm, juego de 8			1

Las partículas α y β de altas energías entregan sólo una parte de su energía al chocar con un átomo absorbente. Por esta razón se requieren numerosos choques para frenar totalmente una partícula. El alcance R de estas partículas

$$R \propto \frac{E_0^2}{n \cdot Z}$$

depende de la energía inicial E_0 , de la densidad numérica n y del número atómico Z de los átomos absorbentes. Una fracción determinada de partículas α y β de menor energía, son frenadas, absorbidas o dispersadas al penetrar un absorbente de espesor dx y desaparecen del haz. De aquí que la intensidad de la irradiación I decrezca exponencialmente respecto al recorrido de absorción x

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

μ : coeficiente de atenuación

En el experimento P6.4.4.2 se mide la atenuación de la radiación β del Sr-90 en aluminio en función del espesor d del absorbente. El experimento muestra una reducción exponencial de la intensidad.

Con fines de comparación, en el experimento P6.4.4.3 se retira al absorbente y se varía la distancia entre el preparado β y el tubo contador. Como es de esperar, en buena aproximación la intensidad de un radiador puntual tiene la siguiente expresión:

$$I(d) \propto \frac{1}{d^2}$$

En el experimento P6.4.4.4 se estudia la atenuación de la radiación γ en la materia. Aquí también la intensidad decrece exponencialmente en buena aproximación. El coeficiente de atenuación μ depende del material absorbente y de la energía γ .

DEMOSTRACIÓN
DE TRAYECTORIAS
DE PARTÍCULAS

P6.5.1.1
Demostración de las trayectorias de
partículas α en la cámara de niebla
de Wilson

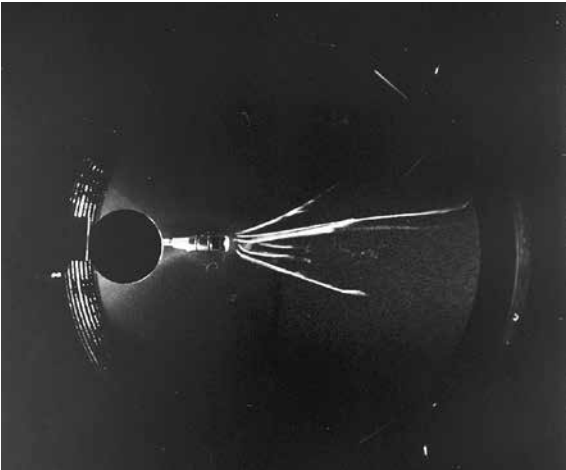


Demostración de las trayectorias de partículas α en la cámara de niebla de Wilson (P6.5.1.1)

N° de cat.	Descripción	P6.5.1.1
559 57	Camara de Wilson según Schürholz	1
559 596	Preparado de Ra-226 para la cámara de Wilson	1
450 60	Carcasa de lámpara	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1
521 210	Transformador 6/12 V	1
301 06	Mordaza de mesa	1
300 11	Zócalo	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
671 9720	Etanol - solvente, 1 l	1

En la cámara de niebla de Wilson, mediante expansión adiabática se hace pasar brevemente una mezcla de aire, agua y alcohol a un estado de sobresaturación. El vapor sobresaturado se condensa bruscamente en gotitas de niebla alrededor de los gérmenes de condensación. Los gérmenes de condensación apropiados son iones que surgen por ejemplo mediante choques α entre partículas y moléculas de agua en la cámara de niebla para hacer semillas de condensación particularmente eficientes.

En el experimento P6.5.1.1 se observan las trayectorias de partículas α en una cámara de Wilson. Estas son visibles como huellas de gotitas después de cada encendido rápido de la bombilla por uno a dos segundos, con luz que incide lateralmente. En la cámara un campo eléctrico limpia el ambiente de la misma de iones residuales.



Huellas de gotitas en la cámara de niebla de Wilson (P6.5.1.1)



DISPERSIÓN DE RUTHERFORD

P6.5.2.1

Dispersión de Rutherford:

Medición de la tasa de dispersión
en función del ángulo de dispersión
y del número atómico

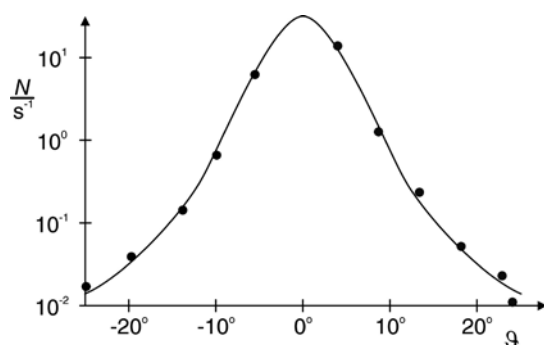
Dispersión de Rutherford: Medición de la tasa de dispersión en función del ángulo de dispersión y del número atómico (P6.5.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.5.2.1
559 820Z	Preparado de Am-241	1
559 56	Cámara de dispersión de Rutherford	1
559 52	Lámina de aluminio en montura	1
559 931	Discriminador-Preamplificador	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
575 471	Contador S	1
378 73	Bomba de vacío S 1,5	1
378 005	Pieza en T, DN 16 KF	1
378 040	Anillo centrado DN10/16KF	1
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	1
378 050	Collarin apriete DN 10/16 KF	2
378 771	Válvula de aireación DN 10 KF	1
378 031	Brida DN 16 KF con boquilla	1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø	1
501 01	Cable BNC, 0,25 m	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1

Mediante uno de los experimentos más trascendentes de toda la historia de la física, siendo *Rutherford*, *Geiger* y *Marsden* confirmaron como un hecho que un átomo sea «esencialmente vacío». Ellos hicieron incidir un haz paralelo de partículas α sobre una lámina delgada de oro. Dedujeron que la mayoría de partículas α penetran la lámina de oro casi sin desviarse y sólo unos pocos son dispersados. Concluyeron entonces que los átomos están compuestos de unas capas sin masa, extensas y un núcleo prácticamente puntual y masivo.

En el experimento P6.5.2.1 se hace esta observación con un preparado de Am-241 en una cámara de vacío. Se mide la tasa de dispersión $N(\vartheta)$ de las partículas α en función del ángulo de dispersión ϑ por medio de un detector de semiconductor. Como dispersor se dispone de una lámina de oro ($Z = 80$) y de una lámina de aluminio ($Z = 13$). Para la tasa de conteo se confirma la relación

$$N(\vartheta) \propto \frac{1}{\sin^4 \frac{\vartheta}{2}} \quad \text{y} \quad N(\vartheta) \propto Z^2$$



Tasa de dispersión N en función del ángulo de dispersión ϑ (P6.5.2.1)

RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN)

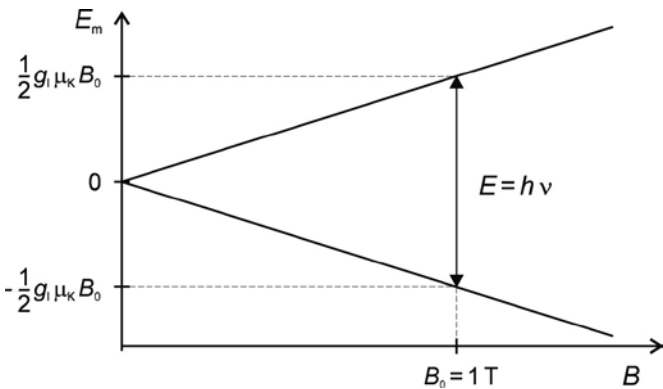
P6.5.3.1
Resonancia magnética nuclear en poliestireno, glicerina y teflón



Resonancia magnética nuclear en poliestireno, glicerina y teflón (P6.5.3.1)

Table with 3 columns: N° de cat., Descripción, and P6.5.3.1. It lists various equipment items such as NMR service unit, measurement unit, U-shaped nuclei, coils, power source, oscilloscope, cables, and safety cables.

* se requiere adicionalmente



Esquema de la condición de resonancia para átomos de hidrógeno (P6.5.3.1)

El momento magnético de un núcleo vinculado al espín nuclear / toma los esta- dos energéticos

Em = -gi · μk · m · B con m = -I, -I + 1, K , I

μk = 5,051 · 10^-27 J/T : magnéton nuclear

gi: factor g del núcleo

en un campo magnético B. Un campo magnético perpendicular a éste último y de alta frecuencia con frecuencia ν excita transiciones entre estados de energía vecinos, si se cumple la condición de resonancia

h · ν = Em+1 - Em

h: constante de Planck

Este hecho es el fundamento de la resonancia de espín nuclear, para la cual la señal de resonancia se detecta con un sistema de medición de alta frecuencia. Para núcleos de hidrógeno la frecuencia de resonancia es por ejemplo de unos 42,5 MHz en un campo magnético de 1 T. Su valor exacto depende de la entorno químico del átomo de hidrógeno, ya que además del campo magnético exterior B, también actúa el campo local interior sobre los núcleos de hidrógeno, el cual es generado por los átomos y núcleos de la vecindad más cercana. Aún el ancho de la señal de resonancia depende de la estructura de la sustancia estudiada.

En el experimento P6.5.3.1 se verifica la resonancia de espín nuclear en poliesti- reno, glicerina y teflón. Aquí se evalúa la posición, el ancho y la intensidad de las líneas de resonancia. Además, el tiempo de relajación del sistema de giro se puede observar mediante una medición de la frecuencia de los latidos.



Espectroscopia α en muestras radioactivas (P6.5.4.1)

ESPECTROSCOPIA α

P6.5.4.1
Espectroscopia α en muestras radioactivas

P6.5.4.2
Determinación de la pérdida de energía de radiación α en aire

P6.5.4.3
Determinación de la pérdida de energía de radiación α en aluminio y en oro

P6.5.4.4
Determinación de la edad en una muestra de Ra-226

P6.5.4.5
Estructura fina de la radiación α de Am-241

N° de cat.	Descripción	P6.5.4.1	P6.5.4.2	P6.5.4.3	P6.5.4.4	P6.5.4.5
559 565	Cámara espectroscópica Alfa	1	1	1	1	1
559 921	Detector de semiconductor	1	1	1	1	1
559 825	Preparado de Am-241, abierto, 3,7 kBq	1	1	1		1
559 436	Preparado de Ra-226, 5 kBq	1		1	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1	1	1
524 058	Unidad MCA	1	1	1	1	1
559 931	Discriminador-Preamplificador	1	1	1	1	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1	1	1	1
501 02	Cable BNC, 1 m	1	1	1	1	1
501 01	Cable BNC, 0,25 m	1	1	1	1	1
378 73	Bomba de vacío S 1,5	1	1	1	1	1
378 005	Pieza en T, DN 16 KF	1		1	1	1
378 040	Anillo centrado DN10/16KF	1		1	1	1
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	1	3	1	1	1
378 050	Collarín apriete DN 10/16 KF	2	3	2	2	2
378 771	Válvula de aireación DN 10 KF	1		1	1	1
378 031	Brida DN 16 KF con boquilla	1	1	1	1	1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1*				1*
378 015	Pieza en cruz DN 16 KF		1			
378 776	Valvula dosificadora DN 16 KF		1			
378 510	Manómetro de puntero, DN 16 KF		1			
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1			
559 521	Papel de aluminio y oro en soporte			1		
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1	1	1

* se requiere adicionalmente

Aproximadamente hasta el año 1930, la energía de radiaciones α se caracterizó por su alcance en el aire. Una partícula de 5,3 MeV (Po-210) tiene por ejemplo un alcance de 3,84 cm. Hoy en día se puede estudiar con más exactitud los espectros de energía; con detectores basados en semiconductores. Con ellos se encuentra líneas discretas que corresponden a los niveles excitados de los núcleos atómicos emisores.

El objetivo del experimento P6.5.4.1 es el registro y la comparación de los espectros de energía α de ambos preparados estándares Am-241 y Ra-226. Para mejorar la exactitud de la medición, ésta se lleva a cabo en una cámara de vacío.

En el experimento P6.5.4.2 se mide la energía E de partículas en función de la presión de aire p en la cámara de vacío. Los datos de medición se utilizan para determinar la energía por unidad de distancia dE/dx que el α las partículas se pierden en el aire. Aquí se tiene que

$$x = \frac{p}{p_0} \cdot x_0$$

x_0 : distancia real

p_0 : presión normal

es la distancia aparente entre preparado y detector.

En el experimento P6.5.4.3 se determina la pérdida de energía por trayectoria recorrida de las partículas α en oro y en aluminio, como cociente de la variación de energía ΔE y el espesor Δx de las láminas de metal.

Para determinar la edad del preparado del Ra-226, en el experimento P6.5.4.4 se analizan las contribuciones individuales de la cadena de decaimiento del Ra-226 del espectro de energía α .

El objetivo del experimento P6.5.4.5 es registrar la estructura fina en el α espectro de Am-241. Una desintegración alfa puede terminar en varios estados excitados del núcleo hijo, revelando los niveles de excitación nuclear del núcleo. Experimentalmente, esto se puede registrar utilizando una fuente radiactiva sin sellar.

ESPECTROSCOPIA γ

- P6.5.5.1
Detección γ radiación con un contador de centelleo
- P6.5.5.2
Registro γ calibración de un espectro
- P6.5.5.3
Absorción de radiación γ
- P6.5.5.4
Identificación y determinación de la actividad en muestras radioactivas débiles
- P6.5.5.5
Registro β espectro con un contador de centelleo
- P6.5.5.6
Coincidencia y correlación angular γ - γ en el caso de decaimiento de positrones
- P6.5.5.7
Coincidencia γ decaimiento de cobalto



Absorción de radiación γ (P6.5.5.3)

N° de cat.	Descripción	P6.5.5.1	P6.5.5.2	P6.5.5.3	P6.5.5.4	P6.5.5.5	P6.5.5.6	P6.5.5.7
559 845	Lamina de oro y aluminio en retén α , β , γ	1					1	
559 901	Contador de centelleo	1	1	1	1	1	2	2
559 891	Zócalo para el Contador de centelleo	1	1	1	1	1	1	1
559 912	Etapa de salida para detector	1	1	1	1	1	2	2
521 68	Fuente de alimentación de alta tensión	1	1	1	1	1	2	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1	1	1	1	1
524 058	Unidad MCA	1	1	1	1	1	2	2
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1	1	1	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm $\varnothing$	1	1	1		1	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1	1		1	1	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1	1		1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1*						
501 02	Cable BNC, 1 m	1*						
559 835	Preparaciones radiactivas, juego de 3		1	1		1		
559 865	Isótopo radioactivo de Na-22		1				1	
559 855	Isótopo radioactivo de Co-60		1*	1*				1
559 94	Juego de absorbedores y targets			1		1		
559 89	Blindaje de contador de centelleo				1	1		
559 88	Vaso de Marinelli				2			
559 885	Preparado calibrado Cs-137, 5 kBq				1			
672 5210	Cloruro potásico, 250 g				4			
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1	1	1	1	1

* se requiere adicionalmente

Los espectros γ registrados con un detector de centelleo, permiten la identificación de diferentes núcleos y dan una idea de los aspectos fundamentales de la física nuclear y la interacción de la radiación con la materia, como la dispersión de Compton o el efecto fotoeléctrico.

En el experimento P6.5.5.1 se estudian los impulsos de salida del contador de centelleo con el osciloscopio y el analizador multicanal MCA-CASSY. El pico de absorción total y la distribución de Compton se identifican en la distribución de amplitud de pulso generada con γ monoenergético radiación.

El objetivo del experimento P6.5.5.2 es el registro y comparación de the γ los espectros de energía de los preparados estándares. Los picos de absorción total sirven para calibrar el contador de centelleo y para identificar preparados.

En el experimento P6.5.5.3 se mide la atenuación μ_{γ} de radiación en diferentes absorbentes. El objetivo del estudio es la dependencia del coeficiente μ el cual depende del material absorbente y de la energía E_{γ}

Para medir cuantitativamente muestras poco activas, en el experimento P6.5.5.4 se emplea un vaso de Marinelli. Este encierra, en lo posible, totalmente al cristal del centelleador garantizando así una geometría de medición definida. Un blindaje de plomo reduce directamente el fondo perturbador proveniente de las inmediaciones del laboratorio.

En el experimento P6.5.5.5 se registra el espectro continuo de un radiador β puro (Sr-90/Y-90) con el contador de centelleo. Para determinar la pérdida de energía dE/dx de las partículas β en aluminio se colocan absorbentes de aluminio de diferentes espesores x en el trayecto de los rayos entre preparado y detector.

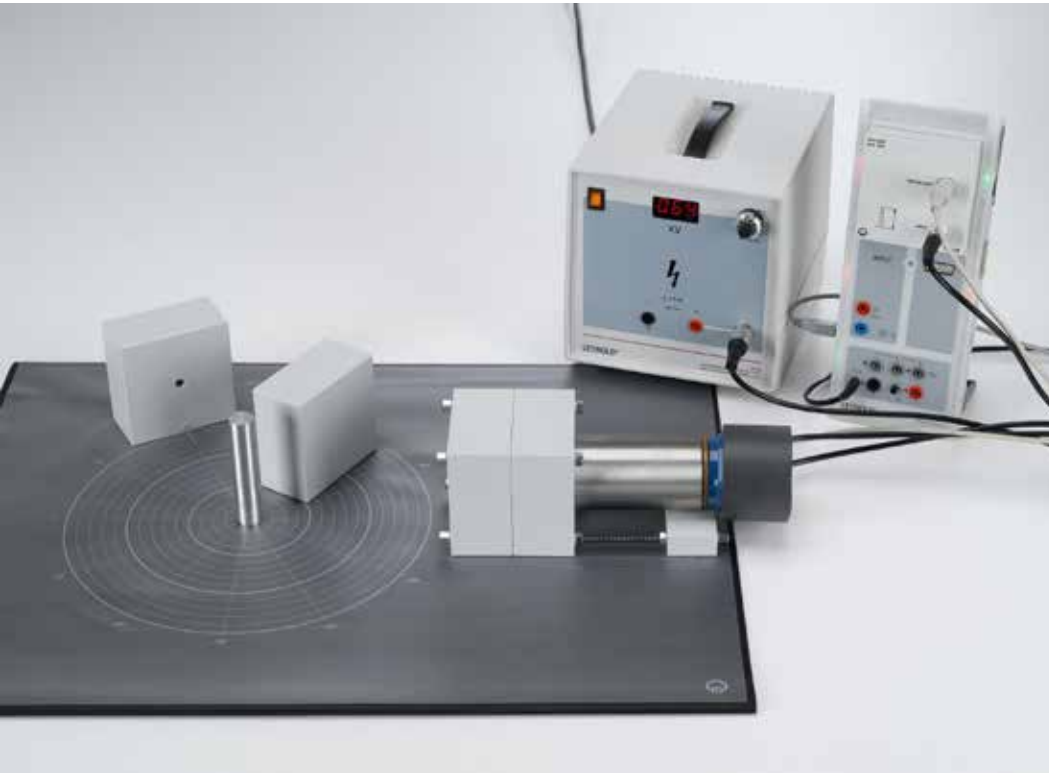
En el experimento P6.5.5.6, la correlación espacial de dos cuantos γ en una aniquilación de pares electrón-positrón es demostrada. La conservación del impulso requiere una emisión de los dos cuantos en un ángulo de 180° . Mediciones selectivas de un espectro coincidente conduce a la supresión de líneas no correlacionadas.

El experimento P6.5.5.7 muestra la desintegración del cobalto-60 en detalle y prueba la existencia de una cadena de desintegración mediante mediciones de coincidencia.

EFFECTO COMPTON

P6.5.6.1

Observación cuantitativa del efecto Compton



Observación cuantitativa del efecto Compton (P6.5.6.1)

N° de cat.	Descripción	P6.5.6.1
559 800	Juego de aparatos para dispersión Compton	1
559 809	Preparado de Cs-137, 3,7 MBq	1
559 845	Lamina de oro y aluminio en retén a,b,g	1
559 901	Contador de centelleo	1
559 912	Etapa de salida para detector	1
521 68	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 058	Unidad MCA	1
524 220	CASSY Lab 2	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

En el efecto Compton un fotón transfiere a un electrón libre una parte de su energía E_0 y de su impulso

$$p_0 = \frac{E_0}{c}$$

c : velocidad de la luz en el vacío

mediante choque elástico. Aquí se cumple la ley de la conservación de la energía y del impulso como en el caso del choque de dos cuerpos en la mecánica.

$$E(\vartheta) = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m \cdot c^2} \cdot (1 - \cos \vartheta)}$$

m : masa en reposo del electrón

y el impulso

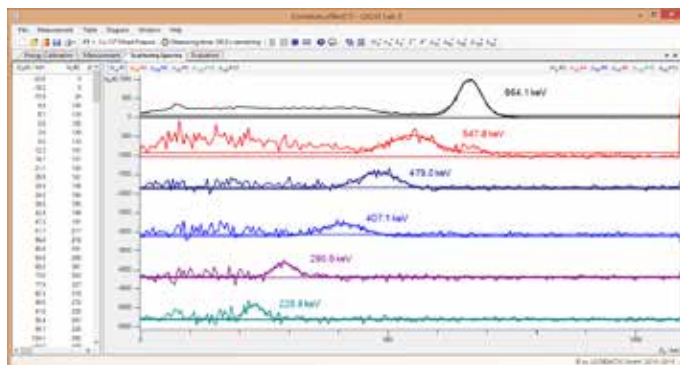
$$p = \frac{E}{c}$$

del fotón disperso, dependen del ángulo de dispersión ϑ . La sección eficaz dependiente del ángulo de dispersión está descrita por la fórmula de Klein-Nishina:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} \cdot r_0^2 \cdot \frac{p^2}{p_0^2} \cdot \left(\frac{p_0}{p} + \frac{p}{p_0} - \sin^2 \vartheta \right)$$

$$r_0: 2,5 \cdot 10^{-15} \text{ m: radio clásico electrón}$$

En el experimento P6.5.6.1 se estudia la dispersión Compton de cuantos de energía $E_0 = 667 \text{ keV}$ en los electrones cuasi libres de un dispersor de electrones de aluminio de un cuerpo disperso. En función del ángulo de dispersión ϑ un contador de centelleo calibrado registra cada vez un espectro γ «con» y «sin» dispersor de aluminio. La evaluación posterior se basa en el pico de absorción total del espectro diferencial, de cuya posición se obtiene la energía $E(\vartheta)$. Su integral de la tasa de conteo $N(\vartheta)$ se compara con la sección eficaz calculada.



Cambio de energía de la línea Cs-137 al ser dispersada en diferentes direcciones (P6.5.6.1)

PROPIEDADES DE LA
RADIACIÓN DE PARTÍCULAS

P6.5.7.1
Desviación de radiación beta en
el campo magnético



Desviación de radiación beta en el campo magnético (P6.5.7.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.5.7.1
559 835	Preparaciones radiactivas, juego de 3	1
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α, β, γ y X	1
575 471	Contador S	1
LDS 00001	Cronómetro, digital	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
560 31	Par de zapatos polares perforados	1
559 23	Estribo móvil	1
559 18	Colimador con láminas de absorción	1
300 11	Zócalo	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1*
524 0381	Sonda B multiuso S	1*
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1*

* se requiere adicionalmente

Históricamente, era fácil ver que existen diferentes tipos de radiación radiactiva. Pero identificar qué partículas estaban involucradas tomó algún tiempo. El comportamiento de esas partículas en un campo magnético fue y sigue siendo la herramienta más valiosa para caracterizar partículas cargadas. En el experimento P6.5.7.1 β la radiación pasa a través de un campo magnético y se registra la distribución angular resultante. A partir de estos datos, se puede estimar la energía de la desintegración.



ÓPTICA CUÁNTICA

P6.6.1.1
Borrador cuántico

Borrador cuántico (P6.6.1.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.6.1.1
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	9
473 431	Soporte para divisor de haz	2
473 432	Divisor de haz 50%	2
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2
473 471	Lente esférica $f= 2,7\text{ mm}$	2
473 49	Filtro de polarización para la placa bas	3
441 53	Pantalla traslúcida	2
300 11	Zócalo	2
311 02	Regla de metal, $l = 1\text{ m}$	1

Óptica cuántica es un campo de investigación en la física, que trata sobre la aplicación de la mecánica cuántica a fenómenos que involucran a la luz y sus interacciones con la materia.

Un principio básico de la física cuántica es su carácter complementario: cada objeto en la mecánica cuántica tiene tanto propiedades de onda como de partícula. En el experimento P6.6.1.1 se instala un experimento análogo a un borrador cuántico. Así se demuestra el carácter complementario de la información en cualquier dirección y la interferencia.

PARTÍCULAS

P6.6.2.1
Detección de muones



Detección de muones (P6.6.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P6.6.2.1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 033	Unidad GM	2
559 012	Tubo contador GM de gran superficie	2
300 11	Zócalo	1*
587 07	Altavoz para altas audiofrecuencias	1*
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1*
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

* se requiere adicionalmente

El origen de las partículas de alta energía no solo se debe a la desintegración radiactiva de los núcleos inestables de la tierra, sino que también se pueden encontrar en la radiación cósmica. Estas partículas son un tema interesante por sí mismas.

El Experimento P6.6.2.1 utiliza la detección de coincidencia de dos detectores de GM para identificar los muones naturales que pasan a través de este telescopio de muones. Las propiedades específicas de los muones se pueden mostrar de esta manera y el registro del flujo de muones durante el día muestra que su origen está relacionado con el sol.



Distribución de la tasa de recuento para el detector de muones orientado en diferentes direcciones (P6.6.2.1)

P7 SOLID-STATE PHYSICS



P7.1	PROPIEDADES DE CRISTALES	233
P7.2	FENÓMENOS DE CONDUCCIÓN	236
P7.3	MAGNETISMO	243
P7.5	FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO APLICADA	245

P7 SOLID-STATE PHYSICS



P7.1 PROPIEDADES DE CRISTALES

P7.1.2	Análisis de la estructura cristalina mediante rayos X	233-234
P7.1.4	Deformación elástica y plástica	235

P7.2 FENÓMENOS DE CONDUCCIÓN

P7.2.1	Efecto Hall	236-237
P7.2.2	Conducción eléctrica en sólidos	238
P7.2.3	Fotoconductividad	239
P7.2.4	Luminiscencia	240
P7.2.5	Termoelectricidad	241
P7.2.6	Superconductores	242

P7.3 MAGNETISMO

P7.3.1	Diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo	243
P7.3.2	Histéresis ferromagnética	244

P7.5 FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO APLICADA

P7.5.1	Análisis de fluorescencia de rayos X	245
--------	--------------------------------------	-----

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA MEDIANTE RAYOS X

P7.1.2.1

Reflexión de Bragg: Determinación de constantes de red de monocristales

P7.1.2.2

Método de Laue: Estudio de la estructura cristalina de monocristales

P7.1.2.3

Método de Debye-Scherrer: Determinación de la distancia reticular interplanar de muestras de polvo policristalino

P7.1.2.4

Escaneo Debye-Scherrer: Determinación de las distancias de planos de red de pruebas policristalinas en polvo

Método de Laue: Estudio de la estructura cristalina de monocristales (P7.1.2.2)

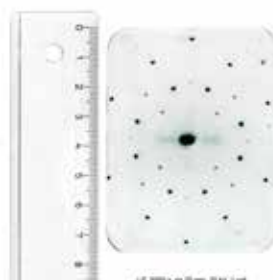
N° de cat.	Descripción	P7.1.2.1	P7.1.2.2	P7.1.2.3	P7.1.2.4
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1	1	1	
554 831	Goniómetro	1			1
559 01	Tubo contador con ventanilla con cable para rayos α , β , γ y X	1			1
554 77	Cristal de LiF para reflexión de Bragg	1			
554 78	Cristal de NaCl para reflexión de Bragg	1			
554 838	Soporte de película para Rayos X		1	1	
554 895	Película para rayos X		1	1	
554 87	Cristal de LiF para patrones de Laue		1		
554 88	Cristal de NaCl para patrones de Laue		1		
667 091	Pistilo 88 mm			1	1
667 092	Mortero porcelana 70 mm $\varnothing$			1	1
666 960	Cuchara para polvo, 150 x 5 mm			1	1
311 54	Vernier de precisión			1	
673 5700	Cloruro sódico 250 g			1	1
673 0520	Fluoruro de litio, analíticamente puro, 10 g			1	1
554 862	Tubo de rayos X de Cu				1
554 842	Soporte para cristales en polvo				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1			1

Los rayos X son una herramienta esencial para determinar la estructura de los cristales. Los planos de la red cristalina son identificados mediante los índices de Miller h, k, l , y reflejan los rayos X solo si la condición de Laue o de Bragg se cumple. La distribución de las reflexiones permite calcular el parámetro de red de la estructura cristalina que es investigada.

En el experimento P7.1.2.1 se utiliza la reflexión de Bragg de la radiación de K_α ($\lambda = 71,080$ pm) en monocristales de NaCl y de LiF para determinar la constante de rejilla. Con un filtro de circonio se puede suprimir la componente K_β de los rayos X. Para el método de *Laue* en monocristales de NaCl y de LiF del experimento P7.1.2.2 se utiliza la radiación de frenado del tubo de rayos X como radiación «blanca». De las posiciones de las reflexiones «de color» sobre una película de rayos X situada detrás del cristal y de su intensidad se puede determinar la estructura cristalina y la longitud de los ejes del cristal aplicando las condiciones de *Laue*.

Para el método de *Debye-Scherrer* en el experimento P7.1.2.3 con radiación Mo- K_α se irradian muestras de polvo fino con tamaño de grano reducido. Entre muchos de los cristallitos desordenados, los rayos X encuentran aquellos cuya orientación cumple con la condición de *Bragg*. Los rayos difractados llenan superficies cónicas, cuyos ángulos de apertura ϑ se obtienen de una placa fotográfica. Aquí se determina la distancia interplanar referida a ϑ y sus índices de *Laue* h, k, l y con ello la estructura cristalina de los cristallitos.

El experimento P7.1.2.4, registra el patrón *Debye-Scherrer* mediante un contador de ventana en lugar de una película de rayos X. Las reflexiones difractadas de una muestra de polvo fino son registradas en función del doble del ángulo de incidencia 2ϑ . La separación de planos adyacentes de la red cristalina es calculada a partir de la posición de los picos de intensidad del espectro de difracción.



Patrón de Laue del LiF (P7.1.2.2)

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA MEDIANTE RAYOS X

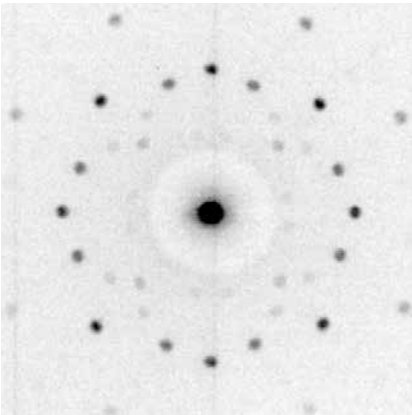
P7.1.2.5
Diagrama digital de Laue: Investigación de la red cristalina de monocristales

P7.1.2.6
Diagrama digital de Debye-Scherrer: Determinación de la distancia reticular interplanar de muestras de polvo policristalino



Diagrama digital de Laue: Investigación de la red cristalina de monocristales (P7.1.2.5)

Nº de cat.	Descripción	P7.1.2.5	P7.1.2.6
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1
554 866	Tubo de rayos X de Au	1	
554 8281	Sensor de imágenes de rayos X	1	1
554 8282	Blindaje para sensor de imágenes de rayos X	1	1
554 8291	Banco de precisión de sensor de imágenes de rayos X	1	1
554 8383	Colimador de orificio con cristales Laue	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo		1
667 091	Pistilo 88 mm		1
667 092	Mortero porcelana 70 mm Ø		1
666 960	Cuchara para polvo, 150 x 5 mm		1
673 5700	Cloruro sódico 250 g		1
673 0520	Fluoruro de litio, analíticamente puro, 10 g		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	



Patrón de Laue del NaCl y patrón de Debye-Scherrer del NaCl (P7.1.2)

Los rayos X son una herramienta esencial para determinar la estructura de los cristales. Los planos de la red cristalina son identificados mediante los índices de Miller h, k, l , y reflejan los rayos X solo si la condición de Laue o de Bragg se cumple. La distribución de las reflexiones permite calcular el parámetro de red de la estructura cristalina que es investigada.

En el experimento P7.1.2.5, la bremsstrahlung del tubo de rayos X se usa como radiación de rayos X „blanca“ para la absorción de Laue de monocristales de NaCl y LiF. Desde la posición de los reflejos „coloreados“ en un sensor de imagen de rayos X detrás del cristal y desde su intensidad, la estructura del cristal y la longitud de los ejes del cristal pueden determinarse usando las condiciones de Laue. El sensor de imagen de rayos X permite la creación de la grabación de Laue en solo un minuto y la medición digital de reflejos en la computadora.

Para el método de Debye-Scherrer en el experimento P7.1.2.6 con radiación Mo- K_{α} se irradian muestras de polvo fino con tamaño de grano reducido. Entre muchos de los cristallitos desordenados, los rayos X encuentran aquellos cuya orientación cumple con la condición de Bragg. Los rayos difractados llenan superficies cónicas, cuyos ángulos de apertura ϑ se obtienen de una placa fotográfica. Aquí se determina la distancia interplanar referida a ϑ y sus índices de Laue h, k, l y con ello la estructura cristalina de los cristallitos.

El sensible sensor de imagen de rayos X permite la creación de la grabación de Debye-Scherrer en solo un minuto y la medición digital del diámetro del círculo y la integral del círculo en la computadora, si la muestra de polvo ha sido cuidadosamente preparada y los rayos difractados tienen una intensidad correspondiente alta.

DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA

P7.1.4.1

Estudio del estiramiento elástico y plástico de alambres metálicos

P7.1.4.2

Estudio del estiramiento elástico y plástico de alambres metálicos – Registro y evaluación con CASSY



Estudio del estiramiento elástico y plástico de alambres metálicos (P7.1.4.1)

N° de cat.	Descripción	P7.1.4.1	P7.1.4.2
550 35	Alambre de cobre, 0,2 mm Ø	1	1
550 51	Alambre de hierro, 0,2 mm Ø	1	1
342 63	Pesa 50 g	18	
340 911	Polea 50 mm Ø, enchufable	1	
381 331	Indicador para dilatación de longitud	1	
340 82	Escala doble	1	
314 04	Asa de soporte, fijable	2	
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	2	2
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	4	3
301 25	Bloque de soporte MF	3	
301 26	Varilla de soporte 25 cm, 10 mm Ø	3	2
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø	1	
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
524 042	Sensor de fuerza S, ±50 N		1
524 082	Sensor de giro S		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1

Bajo la influencia de fuerzas un sólido cristalino cambia su forma. Se habla de comportamiento elástico si este vuelve a tomar su forma original cuando las fuerzas dejan de actuar. Si las fuerzas sobre pasan el límite elástico, entonces el cuerpo queda deformado. Este comportamiento plástico se debe a la migración de dislocaciones en la red cristalina.

En los experimentos P7.1.4.1 y P7.1.4.2 se estudian la tensión de alambres de hierro y cobre colgando pesas en un extremo.

Un indicador sensible o el sensor de giro S mide en CASSY la variación de longitud D_s , es decir, el estiramiento. Después de cada nueva carga con una tracción se verifica si el indicador sin carga o el sensor de giro retorna a la posición cero, es decir, si la carga se encuentra por debajo del límite de elasticidad s.

La representación de los datos en un diagrama tensión-estiramiento verifica la validez de la ley de Hook hasta un límite de proporcionalidad s.

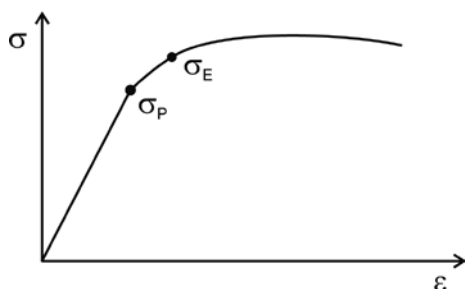


Diagrama de tensión y de estiramiento de un alambre metálico típico (P7.1.4.1)



Diagrama de tensión y de estiramiento de un alambre metálico típico (P7.1.4.1)

EFECTO HALL

P7.2.1.1
Estudio del efecto Hall en plata

P7.2.1.2
Estudio del efecto Hall anómalo
en wolframio



Estudio del efecto Hall en plata (P7.2.1.1)

Nº de cat.	Descripción	P7.2.1.1	P7.2.1.2
586 81	Aparato para el efecto Hall (plata)	1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1	1
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	1
524 0401	Sensor de µV S	1	1
521 551	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 0 ... 10 A	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1	1
560 31	Par de zapatos polares perforados	1	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2	2
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
500 442	Cable de experimentacion 100 cm azul	1	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2	2
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro	2	2
586 84	Aparato para el efecto de Hall (tungsteno)		1

En conductores o semiconductores eléctricos que se encuentran en un campo magnético B y por los cuales fluye una corriente I perpendicular al campo magnético se genera una tensión eléctrica debido al efecto Hall:

$$U_H = R_H \cdot B \cdot I \cdot \frac{1}{d} \quad d: \text{ espesor de la muestra}$$

La constante de Hall

$$R_H = \frac{1}{e} \cdot \frac{p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2}{(p \cdot \mu_p + n \cdot \mu_n)^2} \quad e: \text{ carga elemental}$$

depende de las concentraciones n y p de los electrones y huecos, así como de las movilidades μ_n y μ_p y por ello es un parámetro que depende del material y de la temperatura.

En los experimentos P7.2.1.1 y P7.2.1.2 se determinan la constante de Hall R_H de dos conductores eléctricos mediante la medición de la tensión de Hall U_H en función del campo magnético B para diferentes corrientes I . Para la constante de Hall en plata se obtiene un valor negativo, de lo que se deduce que el transporte de cargas se debe a los electrones. La constante de Hall del wolframio es positiva, esto es, los responsables de la conducción son los huecos.

EFEECTO HALL

P7.2.1.3

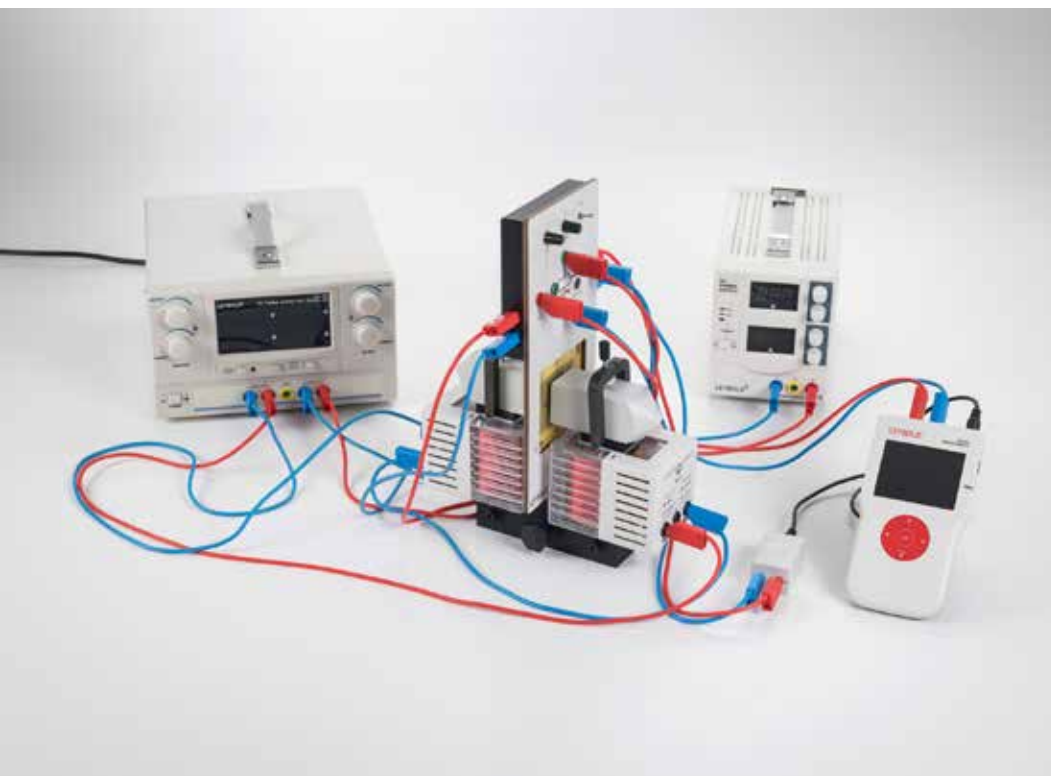
Determinación de la densidad y movilidad de los portadores de carga en germanio tipo n

P7.2.1.4

Determinación de la densidad y movilidad de los portadores de carga en germanio tipo p

P7.2.1.5

Determinación del intervalo de energías entre bandas del germanio



Determinación de la densidad y movilidad de los portadores de carga en germanio tipo p (P7.2.1.4)

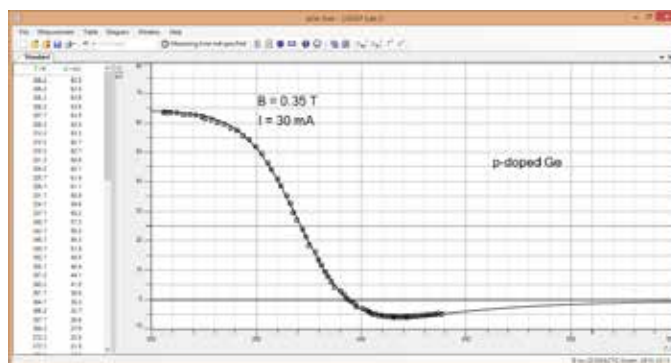
N° de cat.	Descripción	P7.2.1.3	P7.2.1.4	P7.2.1.5
586 850	Unidad básica Efecto Hall	1	1	1
586 853	Ge n en placa impresa	1		
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1	1	
562 13	Bobina de 250 espiras	2	2	
560 31	Par de zapatos polares perforados	1	1	
521 536	Fuente de alimentación de CC 2 x 0...16 V/2 x 0...5 A	1	1	
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1
524 438	Sensor de tensión $M_i \pm 30$ V	1	1	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1	1	
501 11	Cable de extensión, 15 polos	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	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1	
500 442	Cable de experimentación 100 cm azul	1	1	
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	6	6	4
586 852	Ge p en placa impresa		1	
586 851	Ge no dopado en placa impresa			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

En los experimentos P7.2.1.3 y P7.2.1.4 se estudia la dependencia de la tensión de Hall y de la conductividad eléctrica respecto de la temperatura

$$\sigma = e \cdot (p \cdot \mu_p + n \cdot \mu_n)$$

en muestras de germanio dopado. Bajo el supuesto que después del dopado una de las concentraciones n o p pueda ser despreciada, se determina las concentraciones y la movilidad de los portadores de carga.

En el experimento P7.2.1.5, con fines de comparación se mide la conductividad eléctrica del germanio no dopado en función de la temperatura. De los datos de la medición se determina la diferencia de energía entre la banda de valencia y la banda de conducción del germanio.



Voltaje Hall al calentar la muestra p-Ge (P7.2.1.4)

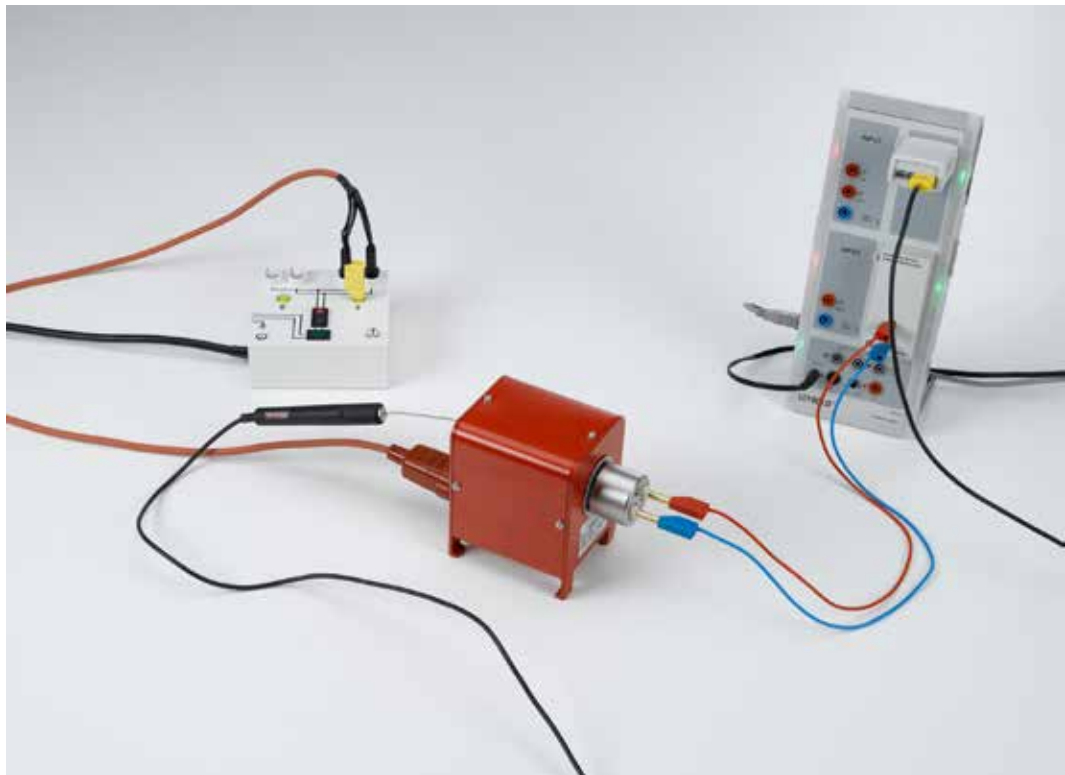
CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN SÓLIDOS

P7.2.2.1

Medición de la resistencia de un metal noble en función de la temperatura

P7.2.2.2

Medición de la resistencia de un semiconductor en función de la temperatura



Medición de la resistencia de un metal noble en función de la temperatura (P7.2.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P7.2.2.1	P7.2.2.2
586 80	Resistencia de metal precioso	1	
555 81	Horno eléctrico tubular, 230 V	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	1	1
524 031	Unidad Fuente de corriente	1	1
502 061	Caja de conexión de seguridad	1	1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	1
586 821	Resistencia de semiconductor 5 kΩ		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

El estudio de la dependencia de la resistencia específica ρ respecto de la temperatura es una simple prueba de modelos de conductividad eléctrica de conductores y semiconductores. En conductores eléctricos, ρ aumenta cuando la temperatura crece, ya que los choques de los electrones casi libres de la banda de conducción con los troncos de los átomos se hacen cada vez más importantes. Por el contrario, en semiconductores la resistencia específica decrece con el aumento de temperatura, porque cada vez más electrones de la banda de valencia alcanzan la banda de conducción y contribuyen a la conductividad.

En los experimentos P7.2.2.1 und P7.2.2.2 se mide los valores de la resistencia dependientes de la temperatura en un circuito puente de Wheatstone. Para el registro y evaluación de los valores medidos se dispone del sistema de adquisición de datos CASSY asistido por ordenador. Para la resistencia de metales nobles se verifica en buena aproximación la relación

$$R = R_0 \cdot \frac{T}{\Theta}$$

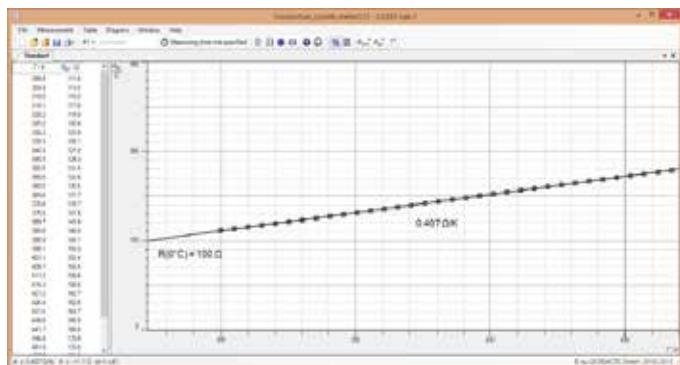
$\Theta = 240 \text{ K}$: temperatura de *Debye* del platino

para la región de temperatura en estudio. Para semiconductores la evaluación deja entrever una relación de la forma

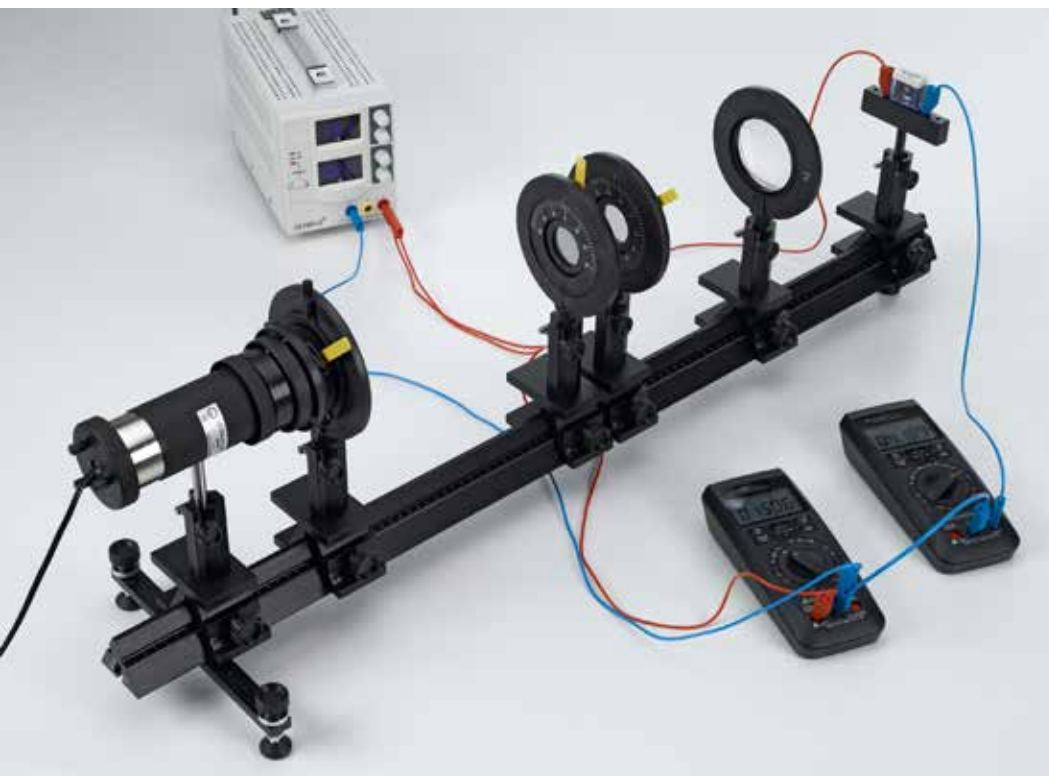
$$R \propto e^{\frac{\Delta E}{2kT}}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} : \text{constante de Boltzmann}$$

con la diferencia de energía entre bandas $E = 0,5 \text{ eV}$.



Resistencia vs. Temperatura (P7.2.2.1)



FOTOCONDUCTIVIDAD

P7.2.3.1

Registro de la curva característica corriente y tensión de una fotorresistencia de CdS

Registro de la curva característica corriente y tensión de una fotorresistencia de CdS (P7.2.3.1)

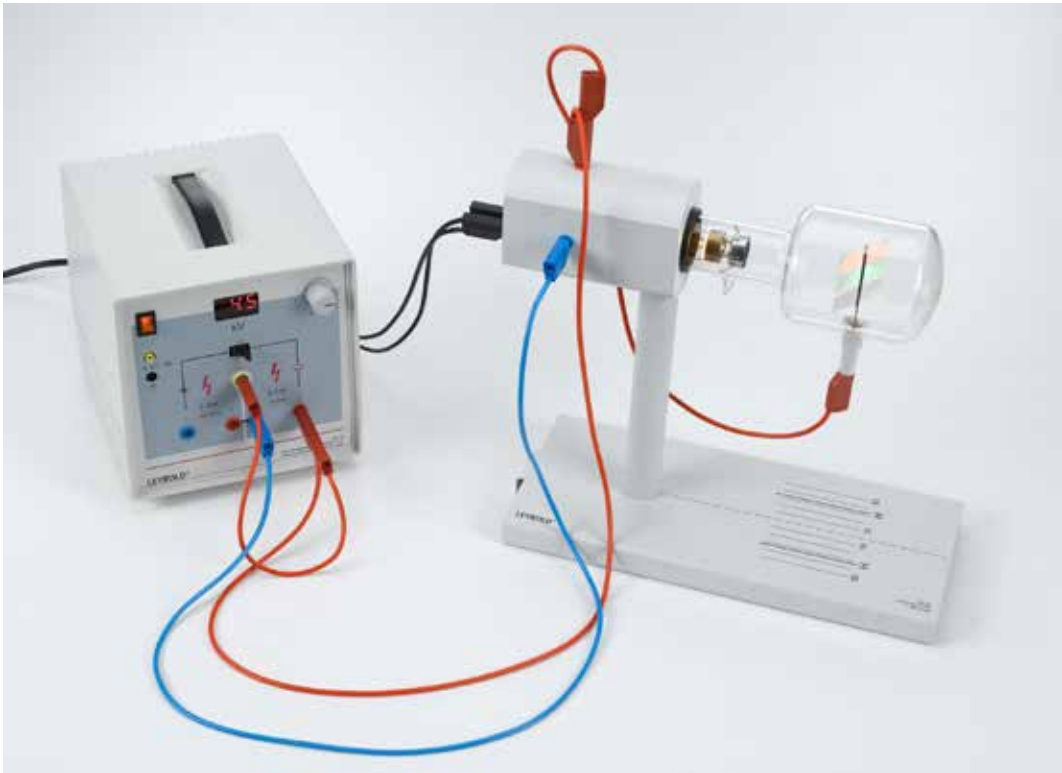
Nº de cat.	Descripción	P7.2.3.1
578 02	Fotorresistencia LDR 05, STE 2/19	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1
450 60	Carcasa de lámpara	1
460 20	Condensador esférico con porta diafragma	1
460 14	Rendija variable	1
472 401	Filtro de polarización	2
460 08	Lente en montura $f = +150$ mm	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 374	Jinetillo 90/50	6
460 21	Soporte para elemento enchufable	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
521 210	Transformador 6/12 V	1
531 282	Multímetro Metrahit Pro	1
531 303	Multímetro Metrahit X-tra	1
500 422	Cable de experimentación 50 cm azul	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2

La fotoconducción es el aumento de conductividad eléctrica σ en un sólido por absorción de luz. En CdS por ej. la energía absorbida permite la transición de los electrones activadores hacia la banda de conducción y el cambio de carga de trampas bajo la formación de huecos en la banda de valencia. Al aplicar una tensión U fluye una fotocorriente I_{ph} .

El objetivo del experimento P7.2.3.1 es determinar la relación entre la fotocorriente I_{ph} y la tensión U para una intensidad de iluminación constante Φ_e , así como entre la fotocorriente I_{ph} intensidad de iluminación Φ_e para una tensión constante en una fotorresistencia de CdS.

LUMINISCENCIA

P7.2.4.1
Excitación de la luminiscencia
mediante irradiación con luz
ultravioleta y con electrones



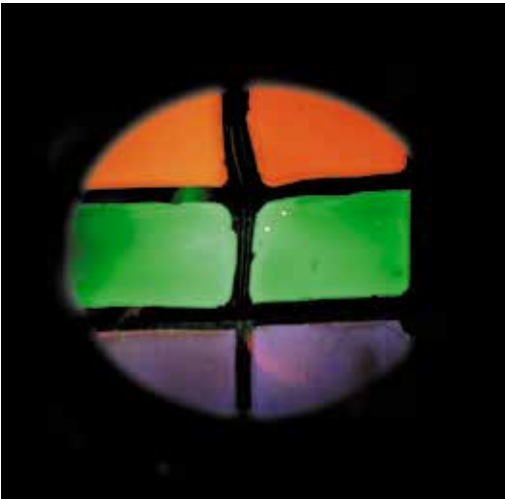
Excitación de la luminiscencia mediante irradiación con luz ultravioleta y con electrones (P7.2.4.1)

Nº de cat.	Descripción	P7.2.4.1
555 618	Tubo de luminiscencia	1
555 600	Portatubo	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión	1
451 195	Unidad de alimentación para lámpara de m	1
469 79	Filtro para luz ultravioleta	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2

La luminiscencia es la emisión de luz después de ocurrida una absorción de energía. La energía puede ser transferida por ejemplo mediante electrones rápidos o mediante fotones, cuyas energías son mayores que los fotones emitidos. Según el tipo de extinción se diferencia entre fluorescencia y fosforescencia: en el caso de fluorescencia la emisión de fotones disminuye exponencialmente luego de desactivar la excitación después de un tiempo muy breve (en unos 10^{-8} s). En el caso de la fosforescencia la extinción puede durar varias horas.

En el experimento P7.2.4.1 se demuestra la luminiscencia de diferentes cuerpos sólidos después de irradiarlos con luz ultravioleta o con electrones. Se trabaja con vanadato de itrio dopado con europio (rojo fluorescente, tiempo de decaimiento medio), sulfuro de cinc dopado con plata (azul fosforescente, tiempo de decaimiento medio) y sulfuro de cinc dopado con plata y cobalto (amarillo verdoso fosforescente, tiempo de decaimiento largo). Además se muestra que la radiación infrarroja acelera la extinción de la fosforescencia.

Nota: Con un espectrómetro se puede reconocer las líneas de emisión dentro de una espectro de bandas.



Excitación de la luminiscencia mediante irradiación con luz ultravioleta y con electrones (P7.2.4.1)

TERMoeLECTRICIDAD

P7.2.5.1

Efecto Seebeck: Determinación de la tensión termoelectrica en función de la diferencia de temperaturas



Efecto Seebeck: Determinación de la tensión termoelectrica en función de la diferencia de temperaturas (P7.2.5.1)

N° de cat.	Descripción	P7.2.5.1
557 01	Juego de 3 termopares	1
590 011	Enchufe de sujeción	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0401	Sensor de $\mu V S$	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1
666 767	Placa calentadora	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1

Cuando dos alambres de metal con diferente energía de Fermi E_F se tocan, los electrones de uno pasan al otro. El metal con menor trabajo de salida W_A entrega electrones y es positivo. La transferencia termina si la tensión de contacto

$$U = \frac{W_{A,1} - W_{A,2}}{e}$$

e : carga elemental

ya no existe. Si ambos alambres se ponen en contacto en ambos extremos y ambos puntos de contacto presentan una diferencia de temperatura $T = T_1 - T_2$, se genera una tensión eléctrica, esto es, una tensión termoelectrica

$$U_T = U(T_1) - U(T_2)$$

Aquí la termotensión diferencial

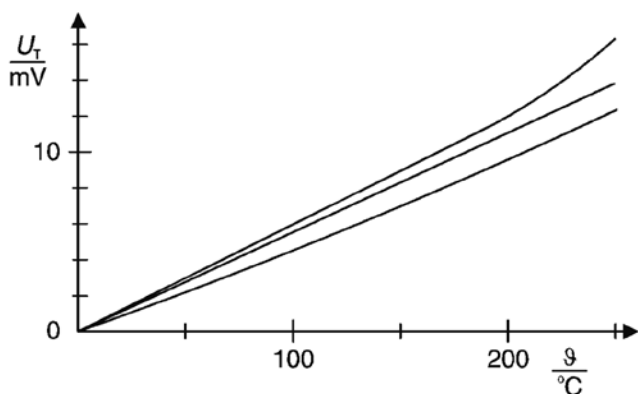
$$\alpha = \frac{dU_T}{dT}$$

depende de la combinación de ambos metales.

En el experimento P7.2.5.1 se mide la termotensión U_T en función de la diferencia de temperatura T entre ambos puntos de contacto en combinaciones hierro-constantán, cobre-constantán y cromo-níquel-constantán. Uno de los puntos de contacto permanece constante a temperatura ambiente, el otro es calentado en un baño de agua. Para determinar la termotensión diferencial se emplea un ajuste de recta de la forma

$$U_T = \alpha \cdot T$$

a los valores medidos.



Tensión termoelectrica en función de la temperatura; Arriba: cromo níquel-constantán; Al medio: fierro-constantán; Abajo: cobre-constantán (P7.2.5.1)

SUPERCONDUCTORES

- P7.2.6.1
Determinación de la temperatura crítica de un superconductor de alta temperatura
- P7.2.6.2
Efecto Meißner-Ochsenfeld en un superconductor de alta temperatura



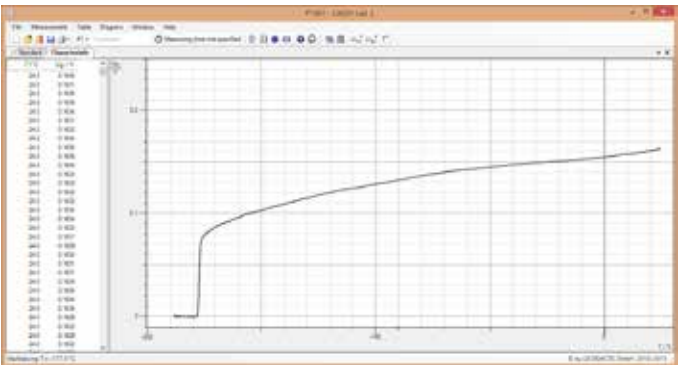
Determinación de la temperatura crítica de un superconductor de alta temperatura (P7.2.6.1)

Nº de cat.	Descripción	P7.2.6.1	P7.2.6.2
667 553	Kit experimental, Supraconductor	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	2	
667 551	Kit experimental para el efecto Meissner-Ochsenfeld		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

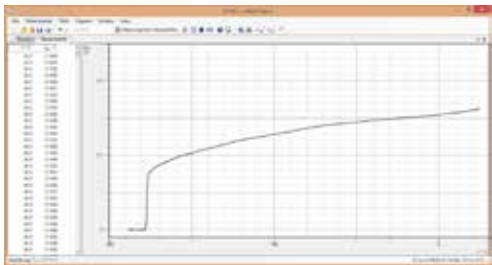
En 1986 *K. A. Müller* y *J. G. Bednorz* consiguieron comprobar que el compuesto $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ se hace superconductor a partir de una temperatura de transición muy por encima de los valores conocidos hasta entonces. Desde entonces se ha encontrado numerosos superconductores de temperaturas elevadas que pueden ser enfriados por debajo de la temperatura de transición con nitrógeno líquido. Como todo superconductor, los superconductores de elevada temperatura no tienen resistencia eléctrica y muestran el fenómeno conocido como efecto Meißner-Ochsenfeld en donde los campos magnéticos son desalojados fuera de la muestra superconductora.

En el experimento P7.2.6.1 se determina la temperatura de transición del superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Para ello la sustancia es enfriada con nitrógeno líquido por debajo de su temperatura de transición $T_c = 92 \text{ K}$. En una medición de cuatro puntos se registra la caída de tensión en la muestra en función de la temperatura de la misma utilizando el sistema de adquisición de datos CASSY.

En el experimento P7.2.6.2 se detecta la superconductividad del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ con ayuda del efecto Meißner-Ochsenfeld. Un imán de alta intensidad de campo magnético y poco peso situado sobre la muestra, empieza a levitar siempre y cuando la muestra se haga superconductora al enfriarla y desaloje de su interior al campo magnético del imán permanente.



Resistencia vs. Temperatura (P7.2.6.1)



Resistencia vs. Temperatura (P7.2.6.1)

DIAMAGNETISMO, PARAMAGNETISMO Y FERROMAGNETISMO

P7.3.1.1

Materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos en un campo magnético no homogéneo

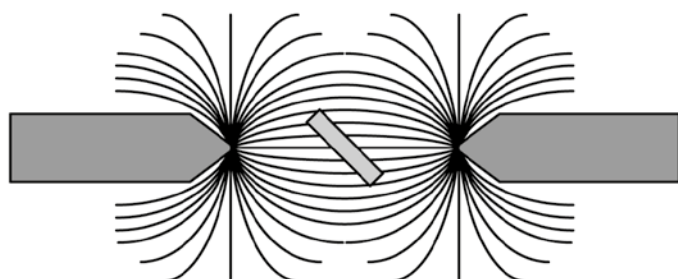


Materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos en un campo magnético no homogéneo (P7.3.1.1)

N° de cat.	Descripción	P7.3.1.1
560 41	Equipo para diamagnetismo y paramagnetis	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
560 31	Par de zapatos polares perforados	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	2
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
500 422	Cable de experimentacion 50 cm azul	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

Diamagnetismo es el fenómeno en el que un campo magnético externo, en una sustancia genera una magnetización que está en contraposición al campo magnético aplicado según la regla de Lenz. Por esta razón, en las sustancias diamagnéticas situadas en un campo magnético inhomogéneo actúa una fuerza en dirección decreciente de la intensidad de campo. Las sustancias paramagnéticas tienen momentos magnéticos permanentes que son dirigidos por un campo magnético externo. Se genera una magnetización en dirección del campo exterior, de tal manera que las sustancias son atraídas en dirección creciente de la intensidad del campo. Las sustancias ferromagnéticas adquieren una muy alta magnetización en un campo magnético y es mayor en varios órdenes de magnitud que el de las sustancias paramagnéticas.

En el experimento P7.3.1.1 se cuelgan tres varillas de 9 mm de largo con diferente comportamiento magnético, fáciles de girar y situadas en un campo magnético inhomogéneo intenso, de tal manera que éstas son atraídas hacia el campo magnético o desplazadas fuera del campo magnético según sus propiedades magnéticas.



Disposición de la muestra en el campo magnético (P7.3.1.1)

HISTÉRESIS FERROMAGNÉTICA

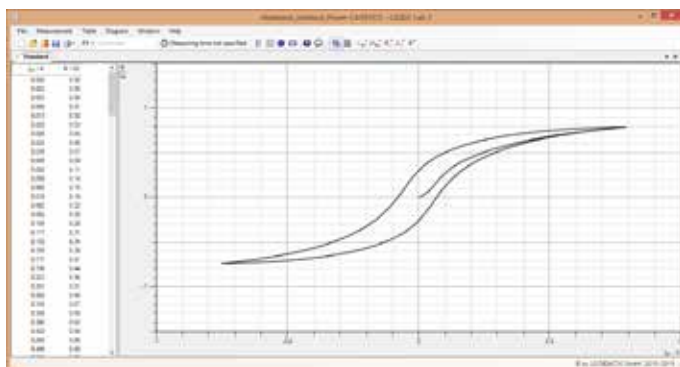
P7.3.2.1

Registro de la curva de la primera imantación y la curva de histéresis de un material ferromagnético y hierro



Registro de la curva de la primera imantación y la curva de histéresis de un material ferromagnético y hierro (P7.3.2.1)

Nº de cat.	Descripción	P7.3.2.1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 115	Núcleo en U con yugo, hierro	1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte	1
562 14	Bobina de 500 espiras	2
522 621	Generador de funciones S 12	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W	1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	7
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1



Flujo magnético en el núcleo de hierro vs. la corriente de la bobina (P7.3.2.1)

En un ferromagneto la inducción magnética

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} : \text{permeabilidad absoluta magnética del vacío}$$

para un campo magnético creciente H alcanza un valor de saturación B_s . El índice de permeabilidad μ_r del ferromagneto depende de la intensidad de campo magnético H y además del tratamiento magnético previo del ferromagneto. Por ello es usual representar la inducción magnética B en una curva de histéresis como función creciente y decreciente de la intensidad de campo H . La curva de histéresis se diferencia de la denominada nueva curva, la cual se inicia en el origen del sistema de coordenadas y solo puede ser medida cuando el material está completamente desmagnetizado.

En el experimento P7.3.2.1 una corriente I_1 en la bobina primaria de un transformador temporal lineal creciente (o decreciente) genera una intensidad de campo magnético

$$H = \frac{N_1}{L} \cdot I_1$$

L : longitud efectiva del núcleo de hierro

N_1 : número de espiras de la bobina primaria

La inducción magnética respectiva B se obtiene por integración de la tensión U_2 , que se induce en la bobina del secundario del transformador:

$$B = \frac{1}{N_2 \cdot A} \cdot \int U_2 dt$$

A : sección transversal del núcleo de hierro

N_2 : número de espiras de la bobina secundario

Para el control de la corriente, así como para el registro de los valores medidos, se utiliza el sistema de adquisición de datos CASSY asistido por ordenador. Aquí se determina la permeabilidad relativa μ_r sobre la nueva curva y sobre la curva de histéresis en función de la intensidad de campo magnético H .

ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

P7.5.1.1

Aplicación de la fluorescencia de los rayos X en el análisis no destructivo de la composición química

P7.5.1.2

Determinación de la composición química de una muestra de latón por análisis de fluorescencia de rayos X



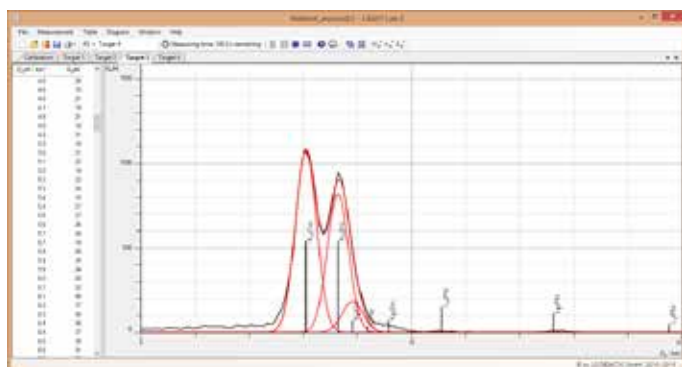
Aplicación de la fluorescencia de los rayos X en el análisis no destructivo de la composición química (P7.5.1.1)

N° de cat.	Descripción	P7.5.1.1	P7.5.1.2
554 800	Unidad básica para rayos X	1	1
554 861	Tubo de rayos X de Mo	1	1
554 831	Goniómetro	1	1
559 938	Detector de energía de rayos X	1	1
554 848	Juego de muestras de aleaciones	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 058	Unidad MCA	1	1
501 02	Cable BNC, 1 m	1	1
554 844	Juego de muestras para la fluorescencia de las líneas K		1
554 846	Juego de muestras para la fluorescencia de las líneas L		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

La fluorescencia de rayos X es una herramienta muy importante para realizar un análisis no destructivo de la composición química de una aleación. Al irradiar la muestra con rayos X, todos los elementos presentes en la muestra emiten rayos X característicos debido a la fluorescencia, los cuales son huellas digitales de cada uno de los elementos.

En el experimento P7.5.1.1, la fluorescencia de rayos X se usa para realizar un análisis cualitativo de identificación de sustancias presentes en cuatro muestras (aleaciones), compuestas de acero al cromo-níquel, dos diferentes tipos de latón y un imán de tierras raras.

En el experimento P7.5.1.2, la composición de una aleación de latón se analiza cuantitativamente. El porcentaje en peso de cada componente de la aleación se calcula a partir de la intensidad de diferentes líneas de fluorescencia.

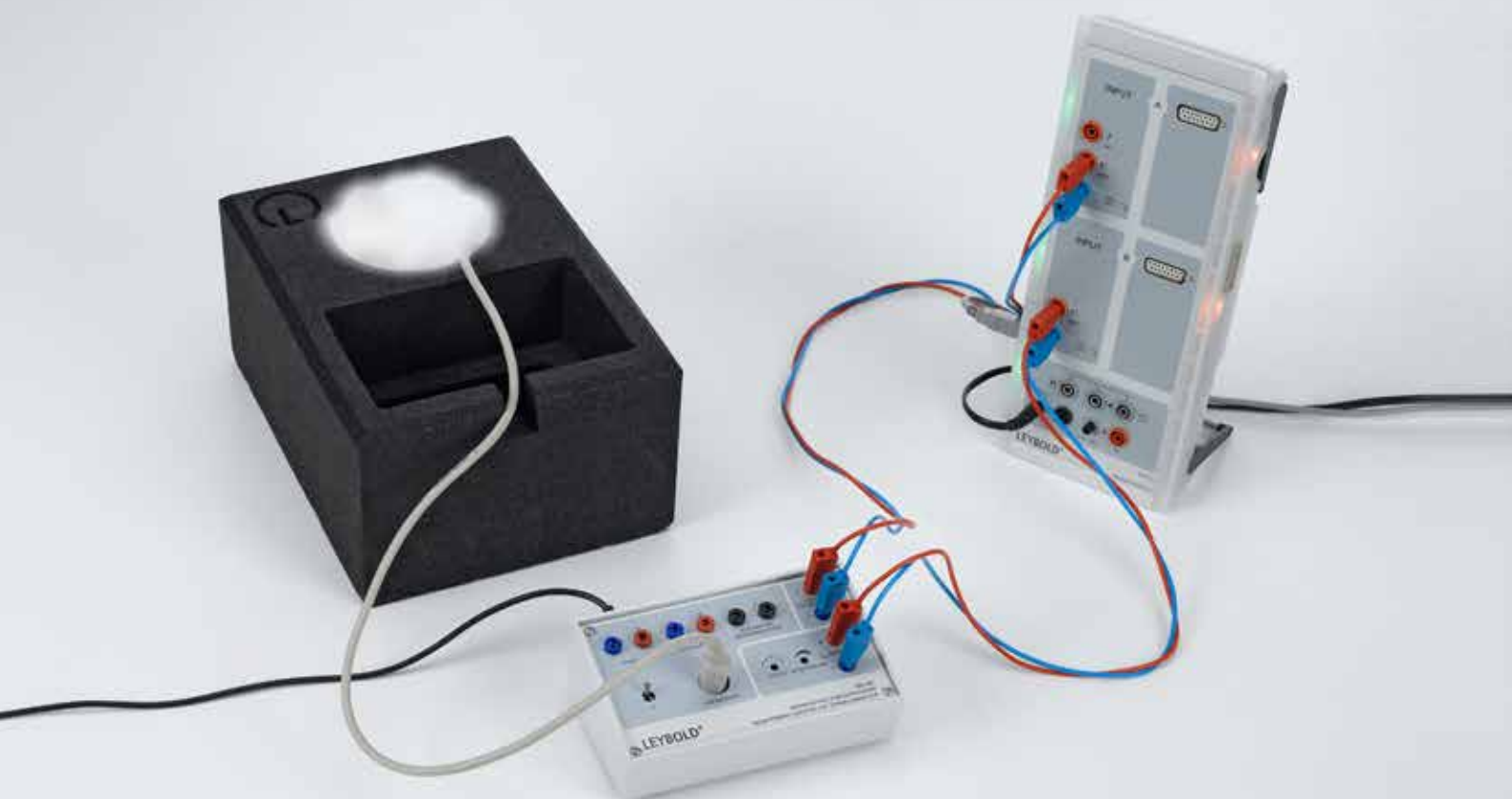


Espectro de fluorescencia de rayos X de una muestra de latón (P7.5.1.2)

P7.2.6.1

Determinación de la temperatura crítica de un superconductor de alta temperatura

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 242.



P8 REGISTRO



3

3D 216-217

A

Aberración cromática..... 147
 Aberración de la lente..... 147
 Aberración esférica..... 147
 Aberración esférica..... 147
 Aberración, cromática..... 147
 Aberración, lente 181
 Absorción..... 211
 Absorción de bordes..... 226
 Absorción de microondas..... 210-211
 Absorción de rayos X..... 205
 Absorción por resonancia 15, 17
 Acción = reacción 13-14
 Aceleración angular 21-22..... 18-19, 27-28
 Aceleración gravitatoria..... 12, 14, 21
 Aceleración uniforme..... 32-33
 Acoplamiento de las oscilaciones 166
 Actividad óptica..... 54-56
 Aerodinámica..... 61, 119
 Agua..... 237, 239
 Agujeros de electrones 62
 Aislamiento térmico..... 107
 Alta tensión..... 99-100
 Amperio, definición de..... 136
 Amplificador 138
 Amplificador operacional..... 138
 Amplificador operacional inversor 138
 Amplificador operacional no inversor 47
 Análisis del habla..... 233-234
 Análisis estructural con rayos X..... 47
 Análisis vocálico 197
 Análogo óptico..... 188
 Anemómetro doppler láser 164
 Ángulo de Brewster..... 108
 Ángulo de inclinación..... 157
 Anillos Newton..... 61
 Anomalía del agua 123
 Antena..... 72
 Aparato de resonancia elástica de los gases..... 147
 Astigmatismo 221
 Atenuación de la radiación α , β y γ 210, 212
 Atenuación de los rayos X..... 146

B

Balance de tensión de Kirchhoff..... 86-87
 Balanza de tensión..... 131
 Batería solar..... 156
 Biprisma de Fresnel..... 156
 Biprisma 165, 167-168
 Birrefringencia 9
 Bloque y aparejo..... 186
 Bloqueo de modo 113
 Bobina 102
 Bobinas de Helmholtz 75, 77
 Bomba de calor..... 181
 Bombeo óptico..... 210-211
 Borde de absorción..... 210-211
 Borde K..... 229
 Borrador cuántico 237
 Brecha de banda..... 211

C

Caída libre 165
 Calcita 3
 Calibre 3
 Calibre de deslizamiento 68
 Calor de condensación..... 68
 Calor de evaporación 68
 Calor de fusión..... 65
 Calor específico 68
 Calor latente 208
 Cámara de ionización..... 222
 Cámara de nubes..... 222
 Cámara de nubes Wilson 84-87, 92
 Campo eléctrico..... 87
 Campo eléctrico homogéneo 108
 Campo magnético de la tierra 102
 Campo magnético de las bobinas de Helmholtz 101-102
 Campo magnético de una bobina..... 108
 Campo magnético terrestre 127
 Capa brillante 65
 Capacidad calorífica..... 65
 Capacidad calorífica, específica..... 90-91
 Capacitancia de un condensador de placas..... 89
 Capacitancia de una esfera..... 211
 Característica de la radiación 133
 Característica del diodo..... 119
 Característica direccional 123
 Característica direccional de las antenas..... 133, 135
 Característica tensión-corriente..... 133

Característica(s) de un diodo	133	Conducción del calor.....	237
Característica(s) de un diodo emisor de luz.....	133	Conducción intrínseca	237-238
Característica(s) de un diodo Z.....	137	Conductividad	238
Característica(s) de un fototransistor.....	135	Conductividad específica	88, 93-95, 238-239
Característica(s) de un transistor.....	135	Conductor eléctrico	88, 93-95, 238-239
Característica(s) de un transistor de efecto de campo....	132	Conductor eléctrico.....	238
Característica(s) de un varistor	131	Conductor metálico	90
Característica(s) de una batería solar.....	239	Conexión en paralelo de condensadores	94
Característica(s) de una fotorresistencia.....	132	Conexión en paralelo de resistencias	90
Característica(s) de una lámpara de incandescencia ..86, 89		Conexión en serie de condensadores	94
Carga de la imagen.....	193	Conexión en serie de resistencias.....	102
Carga de los electrones	81-83, 124-126	Configuración de Helmholtz	15, 17, 22, 26
Carga eléctrica.....	81-83, 88, 124-126	Conservación de la energía	22
Carga eléctrica.....	126, 194, 206	Conservación del momento angular	15, 17
Carga específica de los electrones.....	12	Conservación del momento lineal	6
Carro de Fletcher.....	167	Constante de deformación elástica.....	97
Célula de Kerr.....	168	Constante de Faraday	195-196, 211
Célula de Pockels.....	75-77	Constante de Planck.....	211
Ciclo termodinámico	134	Constante de Rydberg.....	113
Circuito de Graetz.....	47, 114	Constante de tiempo L/R	112
Circuito oscilador	47, 114	Constante de tiempo RC	169
Circuito oscilador eléctrico.....	136	Constante de Verdet.....	90-91
Circuitos de generadores.....	59	Constante dieléctrica	119
Coeficiente de dilatación	60	Constante dieléctrica del agua.....	5
Coeficiente de expansión volumétrica	11	Constante gravitatoria	140
Coeficiente de fricción.....	181	Contador.....	226
Coeficientes de Einstein	155, 159	Contador de centelleo.....	141
Coherencia	155	Convertidor AD	141
Coherencia espacial.....	226, 230	Convertidor DA.....	88
Coincidencia	63	Copa Faraday.....	187
Colector solar	15-17	Corte de fibra	72
Colisión.....	22	Cp, Cv	166
Colisión de torsión	15, 17	Cuarzo, polarización derecha e izquierda.....	171-172
Colisión elástica	15, 17	Cubo de Leslie	171-172
Colisión inelástica	203-204	Cuerpo negro.....	244
Colisión inelástica de electrones.....	22	Curva de magnetización.....	147
Colisión rotacional elástica	22		
Colisión rotacional inelástica	202	D	
Coloración de la llama	147	Datación radiactiva	235
Coma.....	138	Deformación elástica	235
Comparador	7	Deformación plástica	170
Composición de fuerzas	245	Densidad de flujo radiante.....	4
Composición de las aleaciones.....	237	Densidad de los líquidos.....	4
Concentración de portadores de carga.....	90-92, 112	Densidad de los sólidos.....	4
Condensador	90-92	Densidad del aire	61
Condensador de placa.....	179	Densidad máxima del agua	127
Condición de Littrow	62	Descarga de gas.....	127

Descarga gaseosa autónoma	7	Distorsiones	147
Descomposición de fuerzas	220	Distorsiones de amortiguación	147
Descomposición radiactiva	125-126	Distorsiones de barril	88
Desviación de electrones		Distribución de la carga	219
en un campo eléctrico	124-126, 228	Distribución de Poisson	94
Desviación de electrones en un campo magnético	218	Divisor de tensión	6
Detección de la radiactividad	207, 212	Doblado	156
Detección de rayos X	5	Doble espejo	32
Detector de posición IR	225	Doble péndulo	38, 45, 121, 153-154
Detector semiconductor	226	Doble rendija, difracción en	237
Determinación de la actividad	140	Dopaje	208, 212
D-Flip-Flop	153	Dosimetría	197
Diafragma estenopeico, difracción en	12, 14, 21	Dualismo de onda y partícula	185
Diagrama camino-tiempo	233		
Diagrama de Laue	77	E	
Diagrama de Mollier	76	E, determinación de	126, 194
Diagrama PV	243	E/m, determinación de	44
Diamagnetismo	138	Ecosonda	56
Diferenciador	197	Ecuación de Bernoulli	118
Difracción de electrones	197	Ecuación de Thomson	211, 227
Difracción de electrones	197	Efecto Compton	48
Difracción de electrones de Debye-Scherrer	153-154	Efecto Debye-Sears	37, 46
Difracción de la luz	38	Efecto Doppler	188
Difracción de las ondas de agua	211	Efecto Doppler, óptico	169
Difracción de los rayos X	121	Efecto Faraday	195-196
Difracción de microondas	45	Efecto fotoeléctrico	236-237
Difracción de ondas ultrasónicas	153	Efecto Hall	236-237
Difracción en un diafragma estenopeico	153	Efecto Hall anómalo	236-237
Difracción en un poste	48	Efecto Hall normal	73
Difracción en una onda estacionaria	38, 45, 153	Efecto Joule-Thomson	167
Difracción en una rejilla	153	Efecto Kerr	242
Difracción en una rejilla cruzada	38, 45, 153-154	Efecto Meissner-Ochsenfeld	168
Difracción en una rejilla múltiple	38, 45, 121, 153-154	Efecto Pockels	241
Difracción en una rendija doble	38, 45, 121, 153-154	Efecto Seebeck	164
Difracción en una rendija simple	59	Efecto Tyndall	206
Dilatación térmica de los cuerpos sólidos	133-135	Efecto Zeeman	206
Diodo	133-134	Efecto Zeeman normal	63
Diodo emisor de luz	184	Eficiencia de un colector solar	75
Diodo láser	133, 134	Eficiencia de un motor de aire caliente	106-107
Diodo Z	215	Eficiencia de un transformador	77
Dispersión Compton	227	Eficiencia de una bomba de calor	206
Dispersión de los cuantos γ	149	El magnetón de Bohr	98
Dispersión de los líquidos	149	Electroimán	97
Dispersión de los vidrios	215	Electrólisis	81
Dispersión de rayos X	223	Electrométrico	81
Dispersión Rutherford	147	Electrostática	181
Distorsión de la imagen	147	Emisión	125

Emisión térmica en el vacío.....	14	Estructura fina de rayos X.....	213-214
Energía cinética	67, 116-117	Estructura fina, rayos X.....	225
Energía eléctrica.....	67, 116-117	Estructura nuclear	203-204
Energía eléctrica.....	9-10, 14-15, 17, 22, 66	Excitación de los átomos	59
Energía mecánica	9, 14-15, 17, 22, 66	Expansión lineal.....	60
Energía mecánica	26, 31	Expansión térmica de los líquidos	61
Energía potencial.....	66-67	Expansión térmica del agua	60
Energía térmica.....	66-67	Expansión volumétrica.....	203-204
Energía, calor.....		Experimento de Franck-Hertz.....	38, 156
Energía, conservación de 15, 17, 22, 26.....	26	Experimento de Lloyd.....	38, 45, 121, 153-155
Energía, mecánica	124	Experimento de Young	193
Enfoque magnético.....	8	Experimento Millikan	72
Equilibrio.....	4		
Equilibrio de la densidad	5	F	
Equilibrio de torsión gravitacional según Cavendish.....	8	Fabry Perot.....	117
Equilibrio del momento angular	67	Factor de cresta.....	
Equivalente de calor, eléctrico.....	66	Ferromagnetismo 243-244.....	135
Equivalente térmico mecánico	3	FET.....	151
Esferómetro	177, 200	Fibra.....	151
Espectro.....	151	Fibra de PMMA.....	187
Espectro de absorción.....	200	Fibra de vidrio	151
Espectro de absorción.....	199	Filtro de color	126
Espectro del deuterio	199	Filtro de velocidad para electrones.....	140
Espectro del hidrógeno.....	201	Flip-Flop.....	49, 56
Espectro del mercurio	211-212	Flotabilidad	54
Espectro energético de los rayos X.....	177-178, 198-200	Flujo de volumen	151, 240
Espectro lineal.....	225	Fluorescencia.....	212, 245
Espectro α	226	Fluorescencia de rayos X.....	227
Espectro β	226	Fórmula de Klein-Nishina	240
Espectro γ	151-152, 177, 198-199, 202	Fosforescencia	239
Espectrómetro.....	177	Fotoconductividad	137
Espectrómetro de prisma.....	178-179	Fotodiodo.....	165
Espectrómetro de rejilla	202	Fotoelasticidad.....	207, 209
Espectros de descarga de gas.....	200, 202	Fotografía de rayos X.....	233-234
Espectros de emisión.....	212, 245	Fotografías de Debye-Scherrer.....	132, 239
Espectros de rayos X	152	Fotoresistencia	137
Espectros de reflexión	151	Fototransistor	27, 30-41, 44-47, 118-119, 121
Espectros, absorción.....	152	Frecuencia	119
Espectros, reflexión.....	156	Frecuencia modulada (FM)	10
Espejo de Fresnel.....	205-206	Fricción.....	11
Espín del electrón.....	224	Fricción de deslizamiento.....	11
Espín nuclear	206	Fricción de rodadura	10
Espín orbital.....	205	Fricción estática	131
ESR	109-111	Fuente de corriente.....	131
Estator.....	234	Fuente de corriente constante.....	131
Estructura cristalina	213-214, 225	Fuente de tensión.....	131
Estructura fina	213-214	Fuente de tensión constante.....	6-9, 11-12

Fuerza	10
Fuerza a lo largo del plano	23
Fuerza centrífuga y centrípeta	244
Fuerza coercitiva	86-87
Fuerza en un campo eléctrico	10
Fuerza normal al plano	99-100

G

Gas ideal	70
Gas real	185
Generación de segundos armónicos	109
Generador AC-DC	109
Generador autoexcitado.....	109, 111
Generador de campo estacionario.....	109,111
Generador de campo giratorio.....	109
Generador de la central eléctrica	109, 111
Generador eléctrico	109, 111
Generador eléctrico	111
Generador trifásico	237
Germanio dopado con N	237
Germanio dopado con P.....	205-206, 224
Giro.....	24
Giroscopio	189
Giroscopio láser	189
Giroscopio, láser	151
Guía de luz	122
Guía de ondas.....	137

H

H, determinación de	88
Hemisferios de Cavendish	38, 45, 153-154
Hendidura múltiple, difracción en	38, 45, 121, 153-154
Hendidura simple, difracción en	38, 45, 121, 153-154
Hendidura, difracción en	244
Histéresis	162-163
Holograma.....	162-163
Holograma de amplitud.....	162-163
Holograma de fase.....	162
Holograma de reflexión de luz blanca	163
Holograma de transmisión.....	39

I

Imanes.....	98
Imanes permanentes	112-114
Impedancia.....	112, 114-115
Impedancia capacitiva.....	113-115
Impedancia inductiva.....	37, 149, 160, 164, 175-176
Índice de refracción.....	233

Índices de Laue	103-105
Inducción	81, 88
Inducción electrostática.....	108
Inductor terrestre.....	138
Integrador.....	
Intensidad luminosa 170	155, 182, 229
Interferencia	38,45
Interferencia de dos haces.....	156
Interferencia de la luz.....	38
Interferencia de las ondas de agua	45
Interferencia de las ondas ultrasónicas	121
Interferencia de microondas	158-160, 180
Interferómetro.....	160
Interferómetro de Mach-Zehnder.....	158-159, 180, 229
Interferómetro de Michelson	161
Interferómetro Fabry-Perot.....	189
Interferómetro Sagnac.....	161
Interferómetro, Fabry-Perot.....	180
Interferómetro, Mach-Zehnder	180
Interferómetro, Michelson.....	237

J

JK-Flip-Flop.....	140
-------------------	-----

L

Láser.....	186, 189
Láser anular	184
Láser de diodo	181
Láser de estado sólido.....	186
Láser de fibra.....	183
Láser de neón de helio	185
Láser DPSS	185
Láser Nd:YAG	186, 189
Láser, anillo	186
Láser, fibra.....	39, 45
Latidos.....	234
Laue.....	188
LDA	133-134
LED	71
Ley de Amontons.....	101-102
Ley de Biot-Savart.....	71
Ley de Boyle-Mariotte	82-83
Ley de Coulomb	211
Ley de Duane y Hunt	71
Ley de Gay-Lussac	52
Ley de Hagen-Poiseuille	6, 235
Ley de Hooke	171-172

Ley de Kirchhoff de la radiación	170	Método de ruptura.....	41
Ley de Lambert de la radiación	164	Método del corcho-polvo	173
Ley de Malus.....	36	Método del espejo giratorio	150
Ley de Melde.....	211-212	Mezcla de colores	150
Ley de Moseley.....	93	Mezcla de colores aditivos	150
Ley de Ohm	37, 145	Mezcla sustractiva de colores	121-122
Ley de Snellius.....	171,172	Microondas	148
Ley de Stefan-Boltzmann	25	Microscopio	207
Ley de Steiner.....	221	Modelo de implante.....	203-204
Ley del cuadrado inverso de la distancia.....	164	Modelo del átomo de Bohr	182
Leyes de Fresnel.....	94-95	Modos láser longitudinales.....	119
Leyes de Kirchhoff	171-172	Modulación de amplitud (AM).....	168
Leyes de la radiación.....	146	Modulación de la luz.....	48
Leyes de las imágenes.....	71	Modulador acústico-óptico.....	6
Leyes de los gases.....	137	Módulo de elasticidad.....	85, 92
Línea de transmisión óptica	198-199	Molino de campo.....	25
Línea H α	211	Momento de inercia	111
Línea K α	120, 122	Motor asíncrono	75-76
Línea Lecher.....	178	Motor de aire caliente.....	110-111
Líneas D de sodio.....	202	Motor eléctrico	110-111
Líneas de Fraunhofer.....	84, 98	Motor eléctrico	110-111
Líneas de fuerza.....	98	Motor sincrónico	74-76
Líneas de fuerza magnética	84	Motor térmico	110
Líneas equipotenciales.....	84	Motor universal	237
Líneas isoelectricas.....	51-52	Movilidad de los portadores de carga.....	21-22
Líquido newtoniano	159	Movimiento circular.....	21
Longitud de coherencia	34-37, 40-41, 158-159	Movimiento de rotación	12, 14
Longitud de onda	197	Movimiento lineal	12, 14, 21-22
Longitud de onda de De Broglie.....	240	Movimiento uniforme	14
Luminiscencia.....	148	Movimientos con inversión de dirección	12, 14
Lupa	173-176	Movimientos unidimensionales	12, 14, 21-22
M		Movimientos uniformemente acelerados	12, 14, 21-22
Máquina.....	35	Movimientos uniformes.....	6
Máquina de ondas.....	111	Muelle.....	6
Máquina trifásica	111	Muelle de hoja.....	6, 29
Máquina(s), eléctrica(s).....	11	Muelle helicoidal	33
Máquina(s), simple(s).....	109-110	Muelle helicoidal según Wilberforce	140
Máquinas eléctricas.....	9	Multiplexor.....	230
Máquinas simples.....	62	N	
Materiales de construcción	4	Naturaleza cuántica	193
Medición de la densidad.....	3	Naturaleza cuántica de las cargas	224
Medición de la longitud.....	174	NMR.....	77
Medición del tiempo de tránsito.....	4	Número de rendimiento.....	24
Medición del volumen.....	207	O	
Medio de contraste de rayos X.....	146	Onda estacionaria	34-47, 119-123, 153-154,
Método de Bessel.....	173		156-160, 162-163
Método de Foucault-Michelson	53		

Ondas.....	37	Picnómetro.....	117
Ondas circulares.....	37-38	Pico de tensión.....	10
Ondas de agua.....	34	Plano inclinado.....	125
Ondas de cuerda.....	34, 36	Polaridad de los electrones.....	166
Ondas de hilo.....	34	Polarímetro.....	166
Ondas de resorte helicoidal.....	119-120	Polarímetro de media sombra.....	36, 165
Ondas decimétricas.....	34	Polarización circular.....	164-169
Ondas longitudinales.....	34	Polarización de la luz.....	121
Ondas longitudinales.....	37	Polarización de las microondas.....	119
Ondas rectas.....	39, 41-43	Polarización de las ondas decimétricas.....	165
Ondas sonoras.....	34	Polarización elíptica.....	153
Ondas transversales.....	35	Polarización, difracción en un.....	9
Ondas transversales.....	44-46	Polea fija.....	9
Ondas ultrasónicas.....	145-148	Polea suelta.....	117
Óptica geométrica.....	137	Potencia activa.....	117
Optoelectrónica.....	30-31	Potencia aparente.....	116-117
Oscilación amortiguada.....	31	Potencia eléctrica.....	117
Oscilación anarmónica.....	27-31	Potencia reactiva.....	85
Oscilación armónica.....	31	Potencial eléctrico.....	94
Oscilación caótica.....	40	Potenciómetro.....	24
Oscilación de una cuerda.....	30-31	Precesión.....	69
Oscilación forzada.....	30-31	Presión de vapor.....	54
Oscilación rotacional.....	27-33, 40, 47	Presión dinámica.....	54
Oscilaciones.....	47, 118	Presión estática.....	54
Oscilaciones electromagnéticas.....	136	Presión total.....	49
P		Principio de Arquímedes.....	37
Palanca.....	8	Principio de Huygens.....	20
Palanca con lados desiguales.....	8	Principio de independencia.....	20
Palanca de dos caras.....	8	Principio de superposición.....	17
Palanca unilateral.....	207, 209	Principio del cohete.....	183
Pantalla fluorescente.....	20	Prisma de Littrow.....	183
Parábola de proyección.....	7	Prisma, Littrow.....	75-76
Paralelogramo de fuerzas.....	243	Proceso Stirling.....	37
Paramagnetismo.....	107	Propagación de las ondas de agua.....	124
Pararrayos bipolar.....	29	Propagación de los electrones.....	20
Péndulo de muelle.....	30-31	Proyección angular.....	115
Péndulo de torsión, Pohl.....	27-28	Puente de medición de Maxwell.....	94-95
Péndulo físico.....	27-28	Puente de medición de Wheatstone.....	94-95
Péndulo inversor.....	27	Puente de medición de Wheatstone.....	115
Péndulo matemático.....	28	Puente de medición de Wien.....	115
Péndulo, amplitud.....	32	Puente de medición, Maxwell.....	115
Péndulos acoplados.....	32	Puente de medición, Wien.....	135
Péndulos, acoplados.....	27	Puente rectificador.....	139-140
Péndulos, matemáticos y físicos.....	225	Puerta AND.....	139-141
Pérdida de energía de la radiación α	55-56	Puerta lógica.....	139-140
Perfil del aire.....	27, 29-33, 72, 118	Puerta OR.....	103
Período de oscilación.....	4	Pulso de tensión.....	70
		Punto crítico.....	146

R

Radiación de aniquilación	221
Radiación α	221, 228
Radiación β	221
Radiación γ	3
Radio de curvatura	218-219
Radioactividad	96
Rango de medición, ampliación	209, 234
Rayos X	207-212, 233-234, 245
Rayos X	112-114
Reactancia	134
Rectificación	135
Rectificador de media onda	135
Rectificador de onda completa	233-234
Red cristalina	211, 233-234
Reflexión de Bragg	145
Reflexión de la luz	121
Reflexión de las microondas	37
Reflexión de las ondas de agua	44
Reflexión de las ondas ultrasónicas	145
Reflexión total	121
Reflexión total de las microondas	37, 44, 145
Reflexión, ley de	145
Refracción de la luz	121
Refracción de las microondas	37
Refracción de las ondas de agua	37, 145
Refracción, ley de	140
Registro de desplazamiento	9
Regla de oro de la mecánica	179, 199, 201
Rejilla holográfica	153
Rejilla transversal	38, 45, 153
Rejilla, difracción en una	122
Relación de la onda estacionaria	244
Remanencia	93
Resistencia	55-56
Resistencia del aire	93, 238
Resistencia específica	96, 131
Resistencia interna	132
Resistencia NTC	93-96
Resistencia óhmica	132
Resistencia PTC	132
Resistencias especiales	132
Resistencias, especiales	183, 185
Resonador láser	182
Resonador óptico	183, 185
Resonador, láser	30, 114
Resonancia	205
Resonancia de espín de los electrones	224
Resonancia magnética nuclear	118
Retroalimentación	17
Retroceso	166, 169
Rotación del plano de polarización	109-111
Rotor	110
Rotor bipolar	110
Rotor tripolar	72
Rüchardt	26
Rueda de Maxwell	8
S	
Sacarímetro	238
Semiconductores	199
Separación de isótopos	198-199
Serie Balmer	185
SHG	183
Sintonizador birrefringente	166
Solución de azúcar, concentración de	85
Sonda de llama	47
Sonido	42
Sonido, velocidad de los gases	54
Sonido, velocidad del	43
Sonido, velocidad en los sólidos	138, 140
Sumador	242
Superconductividad	242
Superconductor de alta temperatura	85
Superficie equipotencial	138
T	
Tamaño atómico	208
Tasa de dosis de iones	219
Tasas de recuento, determinación de	216-217
TC	148
Telescopio	148
Telescopio astronómico	148
Telescopio galileano	148
Telescopio kepleriano	148
Telescopio terrestre	64
Temperatura	242
Temperatura crítica	238
Temperatura de Debye	64
Temperatura de mezcla	242
Temperatura de transición	242
Temperatura, crítica	117
Tensión efectiva	236-237
Tensión Hall	53
Tensión superficial	241

Tensión termoelectrica.....	153
Teorema de Babinet.....	71-72
Teoría cinética de los gases.....	16
Tercera ley de Newton.....	241
Termoelectricidad.....	71
Termómetro de gas.....	159
Tiempo de coherencia.....	216-217
Tomografía.....	216-217
Tomografía de rayos X.....	3
Tornillo micrométrico.....	116-117
Trabajo eléctrico.....	67, 75-76, 116-117
Trabajo eléctrico.....	9-10, 14, 66, 75-76
Trabajo mecánico.....	47
Transformación de Fourier.....	106
Transformación de la corriente de un transformador.....	106
Transformación de la tensión en un transformador.....	106-107
Transformador.....	106
Transformador bajo carga.....	68-70
Transición de fase.....	135-136
Transistor.....	135-136
Transistor de efecto de campo.....	135
Transistores bipolares.....	107
Transmisión de potencia de un transformador.....	119, 121
Transmisor.....	168
Trayectoria del rayo conoscópico.....	222
Trayectorias de las partículas.....	218
Tubo Contador.....	218
Tubo contador Geiger-Müller.....	125
Tubo de Braun.....	194
Tubo de haz fino.....	41
Tubo de Kundt.....	124
Tubo de malta.....	125
Tubo de Perrin.....	126
Tubo de Thomson.....	54
Tubo Venturi.....	56

U

Ultrasonidos.....	48
-------------------	----

V

Valor CW.....	62
Variaciones de temperatura.....	12, 14
Velocidad.....	21-22
Velocidad angular.....	36-37
Velocidad de fase.....	187
Velocidad de la luz.....	35-37
Velocidad de propagación de las ondas.....	174
Velocidad de propagación de los impulsos de tensión.....	54

Velocidad del sonido.....	42
Velocidad del sonido en el aire.....	54
Velocidad del viento.....	3
Vernier.....	14, 17
Vía de aire lineal.....	112-113, 220
Vida media.....	50-51
Viscosidad.....	50-51

W

Wilberforce, muelle helicoidal.....	33
-------------------------------------	----

X

XOR-Gate.....	139, 140
---------------	----------

Z

Zona luminosa.....	127
--------------------	-----

ENVÍEME UNA OFERTA



OBTENGA SU OFERTA INDIVIDUAL RÁPIDO Y SENCILLO

PUEDE ELEGIR ENTRE MÁS DE 10.000 PRODUCTOS Y
MÁS DE 2.500 CONFIGURACIONES DE EXPERIMENTOS.

1. Visite nuestra tienda web en <http://www.leybold-shop.com>
2. Busque su producto o experimento deseado.
3. Colocar el producto o experimento seleccionado en la cesta de la compra haciendo clic en el botón "Add to product list".
4. Vaya a la cesta de productos y pulse el botón "**Send me an offer**". Rellene el formulario y pulse "Send".

Nuestros expertos en educación se pondrán en contacto con usted.

FÍSICA

QUÍMICA
BIOLOGÍA

INGENIERÍA



CONTACTO

LD DIDACTIC GmbH
Leyboldstrasse 1
50354 Huerth
Germany

Tel.: +49 2233 604 0
E-Mail: info@ld-didactic.de

WWW.LD-DIDACTIC.COM
WWW.LEYBOLD-SHOP.COM

1200400ES 07.2022 LD
Los detalles técnicos están sujetos a cambios sin previo aviso.



BRANDS OF THE LD DIDACTIC GROUP

LEYBOLD® Feedback ELWE® TECHNIK