PAU 2027

PRÁCTICAS DE FÍSICA

2º BACHARELATO

GRUPO DE TRABALLO DE FÍSICA.

INTRODUCIÓN

O carácter da Física como ciencia experimental fai que as prácticas de laboratorio sexan un complemento imprescindible no ensino desta disciplina. As actividades prácticas poñen aos estudantes en contacto cos fenómenos físicos estudados nas clases de teoría e desenvolvidos nos exercicios de cada tema. Son, xa que logo, actividades que contribúen a unha formación máis completa do alumno, facilitándolle a comprensión dos conceptos e a adquisición e afianzamento dos coñecementos polo que resulta fundamental aproveitar ao máximo as posibilidades de formación que ofrece a realización de prácticas de laboratorio.

A serie de actividades experimentais que a continuación se propoñen é un conxunto de prácticas abertas, nas que os obxectivos e os procedementos pódense axustar a distintas condicións de traballo. Algunhas son cualitativas, outras cuantitativas; algunhas pódense facer autonomamente polos estudantes, noutras é imprescindible a participación do profesor en todo o proceso. Para todas elas faise unha proposta clásica de presentación de prácticas de laboratorio: obxectivos; fundamento teórico; procedemento experimental e adquisición de datos; expresión do resultado e comparación con modelos teóricos; e elaboración de conclusións. Propóñense tamén algunhas cuestións para avaliar as distintas etapas desta actividade tendo en conta o carácter de cada unha das prácticas: nas cualitativas pódese facer referencia a cuestións sobre o procedemento experimental e nas cuantitativas o peso recaerá na interpretación dos datos experimentais e na súa representación (táboas e gráficas).

A avaliación das actividades prácticas realizarase na PAU mediante unha cuestión ou problema relacionado coas prácticas de laboratorio recollidas no presente documento, cuxo valor dependerá do tipo de pregunta. Como no resto da proba, avaliarase a expresión correcta do resultado da medida experimental: a magnitude que se mide, o valor numérico coas súas cifras significativas e un tratamento sinxelo das incertezas (será suficiente dar como resultado o valor medio das medidas coa súa desviación típica como incerteza), e as unidades correspondentes.

Táboa de contidos

SATÉLITES TERRESTRES E AS SÚAS ÓRBITAS 1

CARGA POR INDUCIÓN. GAIOLA DE FARADAY 3

OBSERVACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS. EXPERIENCIAS DE OERSTED 5

FUNCIONAMENTO DUN CICLOTRÓN 7

EXPERIENCIAS DE FARADAY E HENRY 8

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DA ACELERACIÓN DA GRAVIDADE g CO PÉNDULO SIMPLE 11

DETERMINACIÓN DA CONSTANTE ELÁSTICACO k_e DUN RESORTE:ESTUDO ESTÁTICO E DINÁMICO 17

INTERFERENCIA E DIFRACCIÓN 23

DETERMINACIÓN DO ÍNDICE DE REFRACCIÓN DUN MEDIO 27

POLARIZACIÓN 29

LENTES CONVERXENTES 33

EFECTO FOTOELÉCTRICO 36

SATÉLITES TERRESTRES E AS SÚAS ÓRBITAS

OBXECTIVOS

- Aplicar as ecuacións básicas para determinar os parámetros orbitais dun satélite.
- Coñecer os diferentes tipos de satélites terrestres en función da súa órbita.
- Utilizar fontes de información para atopar os datos sobre algún dos satélites que orbitan a Terra.
- Coñecer a utilización dos diferentes tipos de satélites.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Como poderás observar na simulación que ofrecen varias webs como Stuff in Space ou What's in Space hai moitos tipos de órbitas para colocar os satélites no espazo. Pero hai 5 tipos que son os mais usados.

- **LEO: Low Earth Orbit**.
  Comunmente coñecida como "orbita baixa", que é unha ampla rexión que se sitúa entre os 160 km e os 2000 km de altura. Como a velocidade é maior canto mais baixa sexa a órbita, os obxectos móvense a gran velocidade respecto da superficie terrestre. Como están "rozando" as capas exteriores da atmosfera terrestre, teñen un rápido decaemento orbital e precisan ser reposicionados con frecuencia para retornar á orbita correcta.
  Neste grupo atópase a Estación Espacial Internacional, a maioría dos satélites meteorolóxicos ou de observación e moitos satélites de comunicacións.
- **MEO: Medium Earth Orbit**.
  Órbita circular intermedia, entre 2.000 e 36.000 Km de distancia da superficie terrestre, cun período orbital medio de varias horas. Usada por satélites de observación, defensa e posicionamento, como as redes de satélites de GPS e os satélites Glonass rusos ou os Galileo europeos.
  Un tipo especial de órbita intermedia é a **órbita Molnya**, especialmente usada polos países próximos ao círculo polar ártico. Esta órbita é moi elíptica e moi inclinada, para ter alta visibilidade desde as zonas polares, permitindo aos países nórdicos establecer satélites de comunicacións en zonas onde os xeoestacionarios non poden chegar.
- **GEO: Geoestationary Orbit.**
  Probablemente sexa a órbita mais coñecida de todas: a *órbita xeoestacionaria*. Esta órbita ecuatorial sitúase a 35.786 km da superficie terrestre, cun período orbital de 23,93446 horas (coincidindo coa duración do día sideral), o que fai que os satélites situados nesta órbita parezan "inmóbiles" no espazo, ao rotar coa mesma velocidade angular que a terra. Esta órbita é o lugar onde se sitúan todos os satélites que transmiten os sinais de internet, televisión, telefonía e datos ás distintas rexións do planeta.
- **HEO: High EarthOrbit.**
  Básicamente, son todas as *órbitas altas*, que se sitúan máis aló das órbitas xeoestacionarias, a máis de 36.000 Km e con períodos orbitais maiores a 24 horas .Moitos deles son de uso militar.

- **SSO: Sun Sincronous Orbit**

A *órbita sincrónica solar* é un caso particular de órbita polar, que permite que un obxecto situado nela, pase todos os días sobre un determinado lugar á mesma hora. É unha órbita empregada en observación e meteoroloxía.

PROCEDEMENTO

O procedemento é aberto para que cada alumno/a poida analizar o satélite que máis lle interese, podendo obter valores do:

- Apoxeo
- Perixeo
- Altitude
- Velocidade orbital
- Período

CUESTIÓNS

Determinar o tipo de órbita e analizar unha posible aplicación do satélite.

- Calcular a velocidade no apoxeo e perixeo.
- Calcular o período orbital e comparalo co dato recollido da simulación.
- Calcular a enerxía mecánica total.
- Determinar a velocidade areolar e comprobar a súa constancia na órbita.
- Determinar a velocidade de escape.

CARGA POR INDUCIÓN. GAIOLA DE FARADAY

OBXECTIVOS

- Distinguir carga por indución de carga por contacto.
- Observar o comportamento dun campo eléctrico no interior dun condutor en equilibrio.
- Coñecer algunhas aplicacións da gaiola de Faraday

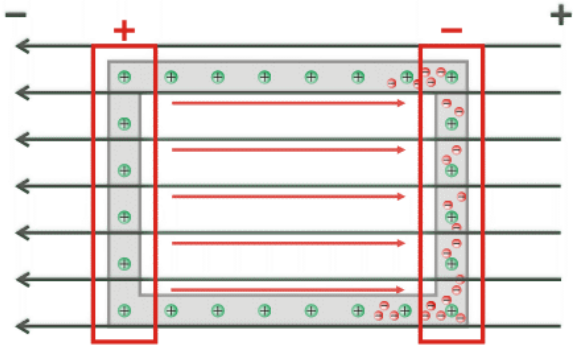
FUNDAMENTO TEÓRICO

Unha gaiola de Faraday é unha caixa metálica que protexe dos campos eléctricos estáticos. Debe o seu nome ao físico Michael Faraday, que construíu unha en 1836. Empréganse para protexer de descargas eléctricas, xa que no seu interior o campo eléctrico é nulo.

O funcionamento da gaiola de Faraday baséase nas propiedades dun condutor en equilibrio electrostático. Cando a caixa metálica colócase en presenza dun campo eléctrico externo, as cargas positivas quedan nas posicións da rede; os electróns, que nun metal son libres, empezan a moverse posto que sobre eles actúa unha forza dada por:

$$\vec{F} = e \cdot \vec{E}_{ext}$$

onde ***e*** é a carga do electrón. Como a carga do electrón é negativa, os electróns móvense en sentido contrario ao campo eléctrico e, aínda que a carga total do condutor é cero, un dos lados da caixa (no que se acumulan os electróns) queda cun exceso de carga negativa, mentres que o outro lado queda cun defecto de electróns (carga positiva). Este desprazamento das cargas fai que no interior da caixa se forme un campo eléctrico (representado en vermello no debuxo) de sentido contrario ao campo externo, representado en azul.



O campo eléctrico resultante no interior do condutor é por tanto nulo. Como no interior da caixa non hai campo, ningunha carga pode atravesala; por iso emprégase para protexer dispositivos de cargas eléctricas. O fenómeno denomínase apantallamento eléctrico.

Moitos dispositivos que empregamos na nosa vida cotiá están provistos dunha gaiola de Faraday: os microondas, escáneres, cables, etc. Outros dispositivos, sen estar provistos dunha gaiola de Faraday actúan como tal: os ascensores, os coches, os avións, etc. Por esta razón recoméndase permanecer no interior do coche durante unha treboada eléctrica: a súa carrozaría metálica actúa como unha gaiola de Faraday.

PROCEDEMENTO

Para a realización desta actividade, precisaremos o seguinte **material**:

- Papel de aluminio
- Caixa de malla metálica
- Radio ou teléfono móbil

Acendemos o receptor de radio ou móbil.

Envolvémolo en papel de aluminio. Que ocorre?

Sacámolo e introducímolo na caixa feita con malla fina.

Se dispomos dunha malla con buratos máis grandes, probamos a ver que ocorre.

E no interior do microondas da casa? (sen acendelo!)

CUESTIÓNS

- Descrición da construción dunha gaiola de Faraday
- Explicación dos principios físicos que xustifican o seu funcionamento[1]

[1] Lectura sobre o funcionamento da gaiola de Faraday no interior dun ascensor: http://gluonconleche.blogspot.com.es/2005/11/el-mito-de-la-jaula-de-faraday.html

OBSERVACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS. EXPERIENCIAS DE OERSTED

OBXECTIVOS

- Entender a natureza do magnetismo.
- Reproducir a experiencia de Oersted.
- Comparar os campos magnéticos creados por unha barra imantada e por unha bobina pola que circula unha corrente.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Hans Christian Oersted (1777-1851), realizou por primeira vez un experimento que mostrou a existencia dunha relación entre a electricidade e o magnetismo. En 1813 predicira esa relación e en 1820, mentres preparaba a súa clase de física na Universidade de Copenhague, comprobou que ao mover un compás preto dun cable que conducía corrente eléctrica, a agulla tendía a orientarse para quedar nunha posición perpendicular á dirección do cable.

A diferenza fundamental da experiencia de Oersted con intentos anteriores que deran resultado negativo é o feito de que no experimento **as cargas que interaccionan co imán están en movemento**. Tendo en conta este feito André-Marie Ampère (1775-1836), formularía que toda corrente eléctrica produce un campo magnético. O propio Ampère utilizou este concepto para anticipar unha explicación do magnetismo natural e formalizou estes desenvolvementos en termos matemáticos.

O achado de que toda corrente eléctrica produce un campo magnético abriu abundantes vías de investigación sobre o magnetismo e a súa relación coa electricidade. Entre os camiños abertos que produciron desenvolvementos moi frutíferos mencionase:

- A determinación cuantitativa do campo magnético producido por diferentes tipos de correntes eléctricas.
- O aproveitamento das forzas existentes entre correntes eléctricas e imáns. Permitiu construír motores eléctricos, instrumentos para medir a intensidade de corrente e outras aplicacións (por exemplo, a balanza electrónica).
- A explicación do magnetismo natural. Baseada no coñecemento acumulado da estrutura interna da materia e no feito de que toda corrente xera nas súas proximidades un campo magnético.
- O efecto recíproco ao mostrado pola experiencia de Oersted, isto é, a obtención de corrente eléctrica a partir dun campo magnético. Abriu o camiño á obtención industrial de corrente eléctrica e ao seu aproveitamento pola maioría da poboación.

PROCEDEMENTO

Para realizar as actividades propostas precísase o **material** seguinte:

- Imáns rectos
- Imáns de formas variadas
- Bobina
- Núcleo ferromagnético
- Multímetro dixital e/ou analóxico
- Fonte de alimentación
- Limaduras de ferro

- Compases e agullas imantadas
- Clips

Xogando con imáns

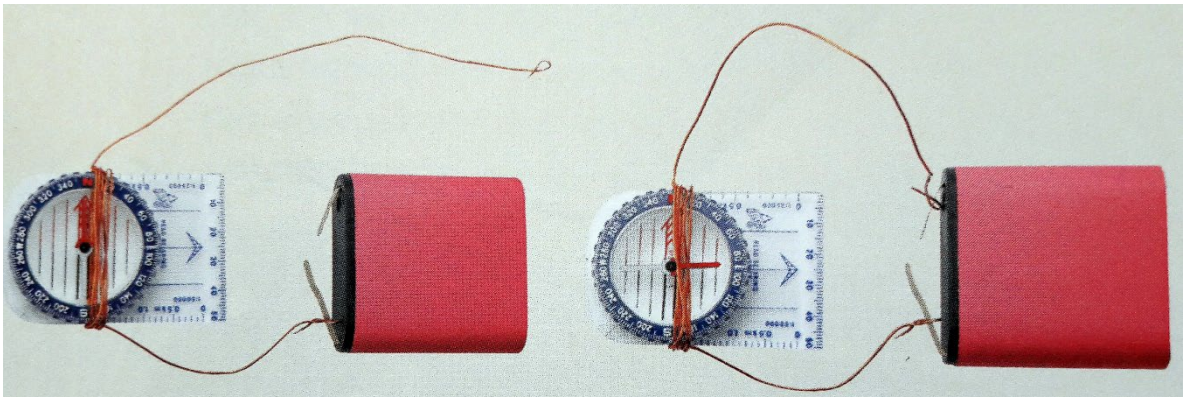
Comprobar que o dipolo magnético é a unidade básica de magnetismo, combinando imáns e observando que aínda que dividamos un imán segue a haber polo norte e polo sur magnético en cada peza.

Visualización de liñas de campo magnético

Situar o imán baixo un plano transparente ou opaco e esparexar limaduras de ferro, para observar as liñas de campo magnético.

Experiencia de Oersted

Realizar unha montaxe similar a mostrada na figura, para comprobar como se xera un campo magnético ao paso dunha corrente eléctrica.



Facelo tamén cunha bobina, comprobando que o campo magnético é semellante ao dunha barra imantada (dipolo magnético)

CUESTIÓNS

- Podemos separar os dous polos dun imán, como nas cargas eléctricas? Por que? Como se explica o magnetismo na materia?
- Por que foi tan importante a experiencia de Oersted?
- Representa as liñas de campo magnético producido por un imán permanente, e unha bobina e un fío rectilíneo polos que circula unha corrente.

FUNCIONAMENTO DUN CICLOTRÓN

OBXECTIVOS

- Entender o comportamento de cargas eléctricas en movemento en presenza de campos eléctricos e campos magnéticos.
- Comprender o funcionamento do ciclotrón e a súa aplicación como aceleradores de partículas.

FUNDAMENTO TEÓRICO

O ciclotrón foi inventado en 1932 por Ernest O. Lawrence e M.S.Livingston en Berkeley. As partículas ou ións inxéctanse no centro de dous obxectos en forma de "D" ocos, chamados "Des". Aplícaselles un campo magnético perpendicular ao plano no que se moven e aceléranse entre cada "D" mediante unha diferenza de potencial. Os radios das órbitas van aumentando tras cada volta e, finalmente, ao conseguir o aumento de enerxía buscado, as partículas son expulsadas para impactar nun branco. É un dos primeiros tipos de aceleradores en uso hoxe en día.

No ciclotrón aplícanse:

- O teorema de conservación da enerxía mecánica.
- O movemento de partículas cargadas en campos eléctricos e magnéticos uniformes.

PROCEDEMENTO

- Visualizar o funcionamento dun ciclotrón, manipulando os datos precisos para analizar a relación entre frecuencia/período e campo magnético.
    - http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/cyclotron.html
    - http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/ciclotron/ciclotron.html

CUESTIÓNS

- Determinar o potencial eléctrico comunicado para producir a variación de enerxía cinética en cada cambio de D.
- Determinar o valor do campo magnético que produce o xiro da partícula.
- Que sucede se duplicamos o campo eléctrico?
- E se duplicamos o campo magnético?
- Como sería a gráfica que representa a enerxía cinética en función do tempo?
- Como debe ser a polaridade do campo eléctrico entre cada "D"?

EXPERIENCIAS DE FARADAY E HENRY

OBXECTIVOS

- Reproducir as experiencias de Faraday.
- Entender como unha variación de fluxo magnético induce unha corrente eléctrica.
- Predicir o sentido da corrente inducida.
- Comprender o principio de xeración da corrente eléctrica.
- Coñecer diferentes aplicacións da indución electromagnética.

FUNDAMENTO TEÓRICO

O experimento de Oersted puxo de manifesto que as correntes eléctricas son capaces de producir campos magnéticos. Para completar a comprensión das relacións entre a electricidade e o magnetismo era necesario constatar o proceso inverso: como producir unha corrente eléctrica a partir dun campo magnético. Os traballos do británico Michael Faraday (1791-1867) e o estadounidense Joseph Henry (1797-1878) serviron para sentar definitivamente as bases do electromagnetismo.

No experimento de Faraday-Henry constátase que se o fluxo magnético cambia de maneira brusca (por exemplo, ao mover o imán con maior rapidez), a intensidade de corrente eléctrica inducida aumenta. A variación do fluxo magnético con respecto ao tempo vén dada pola chamada **lei de Faraday**:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt}$$

Sendo ε a forza electromotriz (f.e.m) xerada pola variación do fluxo magnético.

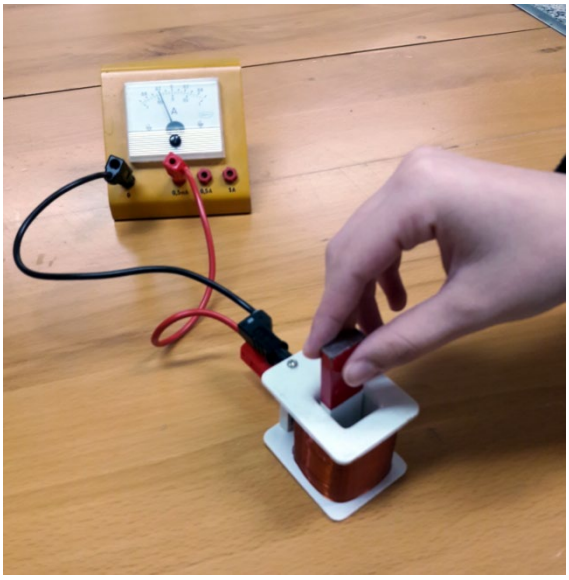
O sentido da corrente que circula pola espira do experimento de Faraday-Henry defínese segundo a chamada **lei de Lenz** (polo físico estoniano Heinrich Lenz, 1804-1865): a corrente inducida por un fluxo magnético variable adopta o sentido polo cal tende a oporse á causa que a provoca.

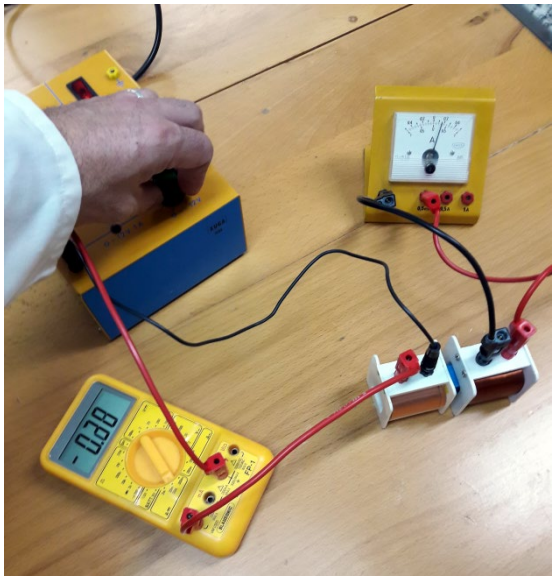
PROCEDEMENTO

Para a realización das experiencias de Faraday e Henry precísase o seguinte **material**[2]:

- Imáns rectos
- Bobinas
- Núcleo ferromagnético
- Multímetro dixital e/ou analóxico
- LED ou pequena lámpada (1,5 V)
- Fonte de alimentación ou pila
- Alternador

[2]Tamén se poden visualizar estas experiencias en simulacións virtuais:
https://phet.colorado.edu/gl/simulation/legacy/faraday
https://phet.colorado.edu/gl/simulation/legacy/faradays-law

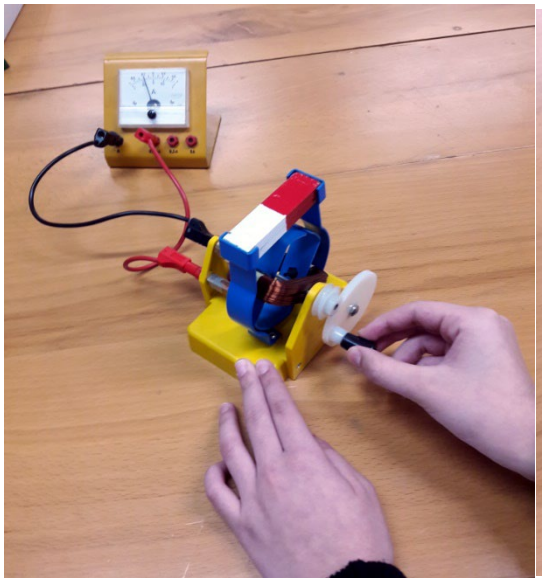


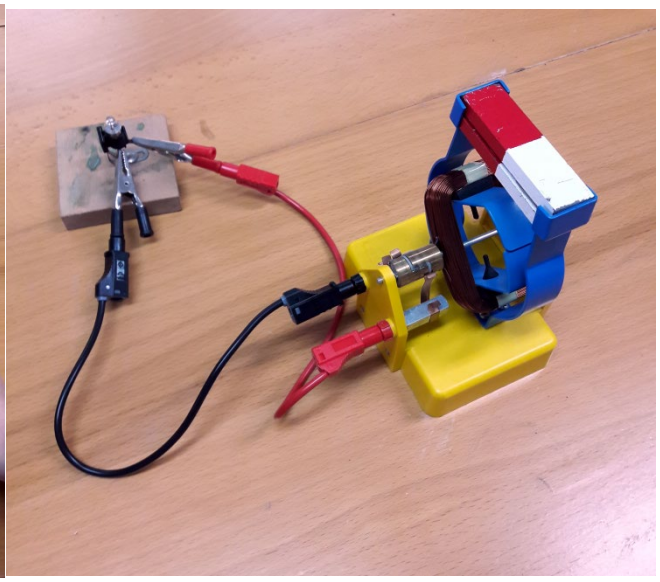


Tendo como referencia esta figura realiza as montaxes e experimentos necesarios para responder as cuestións seguintes:

- Que se observa ao introducir lentamente un dos polos do imán no interior do solenoide? Cara onde se desvía a agulla do amperímetro?
- E cando o imán fica quieto no interior da bobina?
- E cando o sacas?
- Repite o experimento cambiando o polo do imán. Que ocorre agora?
- Observas algunha diferenza cando repites as operacións anteriores movendo o imán rapidamente?
- Que ocorre se moves a bobina, deixando quieto o imán?
- Substitúe agora o imán por unha bobina pola que fas circular unha corrente eléctrica. Repite os experimentos. Que observas?
- Que ocorre se no interior da/s bobina/s colocas un núcleo de material ferromagnético mentres realizas os experimentos?
- E no intre de conectar ou desconectar a fonte de alimentación? E se invirtes a polaridade?

Xeración de correntes eléctricas





Tendo como referencia estas figuras realiza as montaxes e experimentos necesarios para responderas seguintes preguntas:

- Cando detecta o amperímetro corrente eléctrica?
- Observas algunha diferenza en función do sentido de xiro da bobina?
- E en función da rapidez de xiro da bobina?
- E depende de se colocas unha ou dúas barras imantadas sobre a bobina?
- Es quen de acender a lámpada ou LED?

CUESTIÓNS

Explica todos os fenómenos observados mediante a lei de Faraday-Lenz.

- De cantos xeitos diferentes podemos conseguir inducir unha corrente eléctrica?
- Representa graficamente os procesos e os sentidos das correntes inducidas.
- Explica como o alternador xera unha corrente alterna e representa esta graficamente en función da posición da bobina con respecto ás liñas de campo magnético.
- Busca aplicacións da indución electromagnética.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DA ACELERACIÓN DA GRAVIDADE *g* CO PÉNDULO SIMPLE

OBXECTIVOS

- Adquirir habilidades de montaxe e toma de datos.
- Facer medidas de períodos.
- Comprobar que o período é independente da masa e da amplitude.
- Estudar como depende o período coa lonxitude do fío.
- Determinar a aceleración da gravidade no laboratorio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

En principio, o valor de *g* podémolo experimentar de diversas formas. Así:

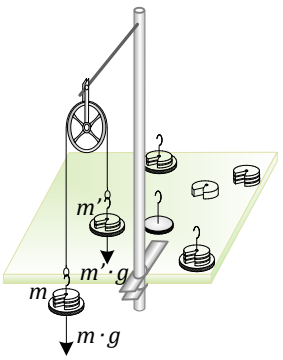
Determinación de *g* por caída libre

Se deixamos caer unha pedra e medimos o espazo *s* que percorre e o tempo *t* que inviste, chegamos a coñecer *g*.

Como o movemento que toma o móbil é uniformemente acelerado, temos que: $s = ½ \cdot g \cdot t^2$. Ao substituír nesta expresión o valor de *s* e *t*, calculamos *g*. Aparece a dificultade da toma de datos, xa que o corpo percorre "moito" espazo en "pouco" tempo: 4,9 m xa no primeiro segundo: $\left(s = ½ \cdot 9{,}8 \cdot 1^2 = 4{,}9\,\text{m}\right)$.

Determinación de *g* coa máquina de Atwood

Vemos que, debido ao alto valor da aceleración da gravidade (que é a aceleración con que cae a pedra), o método que acabamos de describir non é útil. Se ao corpo que cae lle aplicamos unha forza constante cara arriba (menor que o seu peso), a aceleración de caída é menor e, en consecuencia, para un mesmo tempo *t* percorre menos espazo. Unha forma fácil de aplicarlle a un corpo que cae unha forza constante cara arriba é facendo uso da máquina de Atwood.



$$\vec{F}_{\text{neta}} = m_{\text{total}} \cdot \vec{a} \xrightarrow[m_{\text{total}} = m + m']{F_{\text{neta}} = m \cdot g - m' \cdot g = (m - m') \cdot g} (m - m') \cdot g = (m + m') \cdot a$$

Como a forza resultante é constante, o movemento é uniformemente variado e a aceleración *a* determinámola medindo o espazo percorrido e o tempo investido, quedándonos como única incógnita a aceleración da gravidade *g*, que agora calculamos[3]: $g = \dfrac{(m + m') \cdot a}{(m - m')}$.

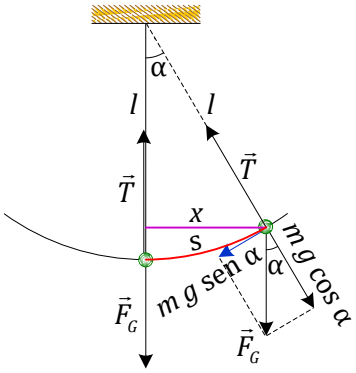
Determinación de *g* co péndulo simple

[3] O resultado non é de moita exactitude xa que os cálculos son feitos supoñendo que tanto a polea como o fío carecen de masa e, ademais, o conxunto non posúe rozamento.

Imos empezar dicindo o que é un péndulo simple. Un punto material[4] de masa *m*, suspendido dun punto mediante un fío inextensible e sen masa, que pode oscilar nun plano vertical sen rozamento, constitúe un péndulo simple ou matemático.

Cando o péndulo está en repouso, o fío e a masa *m* están na posición vertical. Se separamos a masa *m* da posición de equilibrio e a abandonamos libremente toma un movemento periódico e oscilatorio, arredor da posición de equilibrio. Pero, é un movemento harmónico simple?

Sabemos que a traxectoria do m.h.s. é rectilínea: $\vec{F} = -k \cdot x\,\vec{i}$, (consideramos o eixe x na dirección horizontal). Porén, a traxectoria da masa *m* é a dun arco de circunferencia, que podemos confundir coa corda correspondente para pequenas desviacións (α pequeno). A forza que actúa sobre *m* é a do seu peso, $\vec{F}_G$, e a da tensión do fío, $\vec{T}$. Descompoñemos o peso en dúas direccións:



- Unha, na dirección do fío (que se anula coa tensión)[5]: $m \cdot g \cdot \cos\alpha$.
- Outra, na dirección perpendicular á anterior: $m \cdot g \cdot \operatorname{sen}\alpha$. Esta compoñente é a resultante das forzas que actúan sobre *m*, orixinando o movemento oscilante do péndulo. Como é esta forza?

  $F = m \cdot g \cdot \operatorname{sen}\alpha \xrightarrow{\operatorname{sen}\alpha = \frac{x}{l}} F = m \cdot g \cdot \frac{x}{l}$. A súa expresión vectorial é: $\vec{F} = -m \cdot g \cdot \frac{\vec{x}}{l}$ O signo menos indica que o sentido de $\vec{F}$ e contrario ao de $\vec{x}$.

---

[4] Consideraremos como tal un corpo de gran masa e pequeno volume.

[5] Debe terse en conta que, cando o péndulo oscila, a tensión do fío é maior que o compoñente do peso nesa dirección, xa que o móbil segue un movemento circular e, por tanto, hai unha forza normal (centrípeta) dirixida cara ao centro da traxectoria.

Para un observador que está ligado á bóla (sistema non inercial) a 2ª lei de Newton é:

$$\vec{T} + \vec{F}_{G\,(\text{na dirección de }\vec{T})} + \vec{F}_{\text{inercia}} = \vec{0} \rightarrow T - m \cdot g \cdot \cos\alpha - m \cdot a_i = 0 \rightarrow T = m \cdot g \cdot \cos\alpha + m \cdot \frac{v^2}{l}$$

sendo $T > m \cdot g \cdot \cos\alpha$ na cantidade de $m \cdot v^2/l$.

Para un observador inercial (observador que está no laboratorio) a 2ª lei de Newton é:

$$\vec{T} + \vec{F}_{G\,(\text{na dirección de }\vec{T})} = m \cdot \vec{a}_n \rightarrow T - m \cdot g \cdot \cos\alpha = m \cdot \frac{v^2}{l} \rightarrow T = m \cdot g \cdot \cos\alpha + m \cdot \frac{v^2}{l}$$

Resultando, a igual que antes, $T > m \cdot g \cdot \cos\alpha$

Pero a traxectoria da masa que oscila non é a de *x* (corda), senón a de *s* (arco). Pero para pequenos ángulos ($\alpha \leq 10°$) a corda confúndese co arco [6] e a traxectoria pode considerarse rectilínea e o movemento harmónico simple: $\vec{F} = -k \cdot x\,\vec{i}$, sendo $k = m \cdot g/l$. Substituíndo na expresión xeral do período dun m.h.s. resulta:

$$T = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \xrightarrow{k=\frac{m\cdot g}{l}} T = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{m\cdot g}{l}}} \rightarrow T = 2\,\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

No péndulo, a forza recuperadora, $\vec{F} = -\frac{m\cdot g}{l}\cdot\vec{x}$, responsable do m.h.s., é de natureza gravitatoria e a constante $k = \frac{m\cdot g}{l}$, que no SI ten unidades de N m^{-1}, como se fose unha constante recuperadora dun resorte, ten un significado distinto: o período de oscilación dun péndulo simple non depende da masa *m* que oscila e si da súa lonxitude *l* e do valor da aceleración da gravidade *g* (mentres que o período dunha masa *m* que colga dun resorte si depende do valor de *m*, $T = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, e da natureza do resorte, *k*).

O período non depende da amplitude das oscilacións (se estas son pequenas)[7].

6

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen}\alpha = \frac{x}{l}\\ \alpha = \frac{s}{l}\end{array}\right\} \xrightarrow{\text{se sen}\,\alpha = \alpha\,\text{(en radiáns)}} x = s$$

A anterior igualdade ten lugar para valores pequenos de α. Exemplos:

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen} 5^{\circ} = 0{,}087\\ 5^{\circ} = 0{,}087\,\text{rad}\end{array}\right\} \rightarrow \operatorname{sen}\alpha = \alpha$$

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen} 10^{\circ} = 0{,}174\\ 10^{\circ} = 0{,}175\,\text{rad}\end{array}\right\} \rightarrow \operatorname{sen}\alpha = \alpha$$

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen} 15^{\circ} = 0{,}259\\ 15^{\circ} = 0{,}262\,\text{rad}\end{array}\right\} \rightarrow \operatorname{sen}\alpha \approx \alpha$$

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen} 20^{\circ} = 0{,}342\\ 20^{\circ} = 0{,}349\,\text{rad}\end{array}\right\} \rightarrow \operatorname{sen}\alpha \neq \alpha$$

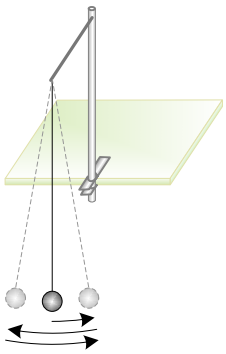
Incluso para ángulos α = 30° = π/6 rad = 0,523 rad, a diferenza entre α e sen α = sen 30° = 0,500 é só do 4,6%.

7 Para desprazamentos angulares grandes, aínda que o movemento do péndulo é periódico, o período *T* é función da amplitude *A*. A forza que acelera a masa *m* cara ao equilibrio é $m \cdot g \cdot \operatorname{sen}\alpha$, sendo un valor menor que $m \cdot g \cdot \alpha$ (que causa un m.h.s., que é periódico e independente da amplitude), resultando un período lixeiramente maior, que podemos calcular con axuda da expresión:

$$T = T_0\left[1 + \frac{1}{2^2}\cdot\operatorname{sen}^2\left(\frac{1}{2}\alpha_0\right) + \frac{1}{2^2}\cdot\left(\frac{3}{4}\right)^2\cdot\operatorname{sen}^4\left(\frac{1}{2}\alpha_0\right) + \cdots\right]$$

PROCEDEMENTO

Depende o período *T* da masa *m* que oscila?

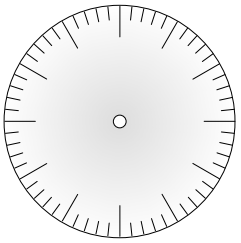


Unha vez colgado dun fío, inextensible e de masa desprezable, un corpo de gran masa e pequeno volume, sepárase da súa posición de equilibrio un pequeno ángulo α de forma que as oscilacións teñan lugar nun plano vertical (sen describir traxectorias elípticas). Cronométrase a duración *t* dun número *n*, relativamente grande, de oscilacións e calcúlase o período *T* mediante a relación: $T = t/n$. Repetimos as medidas para varios péndulos de igual lonxitude e distinta masa, recollendo os datos nunha táboa como a seguinte:

m/kg	*t*/s	*n*	*T*/s?
m_1 =			
m_2 =			
m_3 =			

Comprobamos que $T \neq f(m)$.

Depende o período *T* da amplitude *A* das oscilacións?



Para un péndulo dos utilizados no caso anterior, facemos a medida de *T* para distintas amplitudes *A*, sendo estas pequenas, e lévanse os datos a unha táboa. A medida das amplitudes faise coa axuda dun disco graduado que se monta no punto de suspensión do péndulo.

A/°	*t*/s	*n*	*T*/s?
A_1 =			
A_2 =			
A_3 =			

Comprobamos que $T \neq f(A)$, para pequenas amplitudes.

Cálculo da aceleración da gravidade *g*

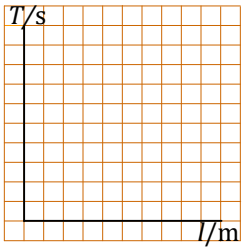
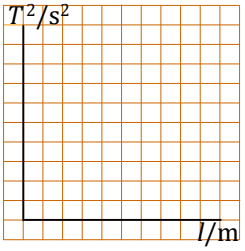
Para un dos péndulos utilizados anteriormente, medimos a lonxitude correspondente á distancia que hai entre o punto de suspensión e o centro da masa oscilante e calculamos o valor de *g* coa expresión: $g = (4\,\pi^2) \cdot l/T^2$, completando a seguinte táboa.

l/m	*t*/s	*n*	*T*/s?	T^2/s^2?	*g*/(m s^{-2})?

onde α_0 é o desprazamento angular máximo e $T_0 = 2\,\pi\sqrt{l/g}$ é o período correspondente ao límite dos ángulos pequenos.

Medida da variación do período *T* dun péndulo simple coa súa lonxitude *l*.

Modificamos a lonxitude do péndulo utilizado anteriormente, soltando ou recollendo o fío, e medimos esta nova lonxitude e o período correspondente. Repetimos esta operación para distintas lonxitudes, enchendo a seguinte táboa, representando *T* fronte a *l* e T^2 fronte a *l*.

N°	*l*/m	*t*/s	*n*	*T*/s?	T^2/s^2?	*T* fronte a *l*	T^2 fronte a *l*
1							
2							
3							
4							
5							

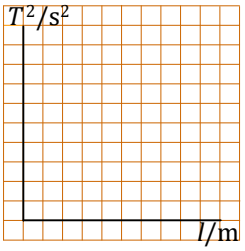
Comprobamos que a representación gráfica de *T* fronte a *l* é a dunha rama de parábola e a de T^2 fronte a *l* é unha recta. Polo tanto, a medida que aumenta a lonxitude do péndulo, aumenta o seu período, sendo *T* directamente proporcional a $l^{1/2}$.

Depende *g* da lonxitude *l* do péndulo? Cálculo de *g*, analítica e graficamente.

Agora continuamos completando a táboa anterior e facemos o cálculo de g_1, g_2, ..., g_n. O valor de *g* obtémolo de dúas formas:

- Coa media aritmética de g_1, g_2, ...
- Coa pendente da recta da gráfica que se obtén ao representar T^2 fronte a *l*[8]: $\text{Pendente} = \frac{T^2}{l} = \frac{4\pi^2}{g}$

[8] Esta pendente determínase tomando dous puntos sobre a recta, cara aos seus extremos, que non teñen porqué coincidir con valores experimentais. Estes puntos escóllense de modo que a súa lectura coincida, polo menos, cun valor preciso dunha das magnitudes representadas nos eixes cartesianos.

N°	l/m	t/s	n	T/s?	T^2/s^2?	g/(m s^{-2})?	
						$g = 4\,\pi^2\,l/T^2$	Pte. = $T^2/l = 4\,\pi^2/g$
1							
2							
3							
4							
5							
						g_{media} =	$g = 4\,\pi^2$/pte.=

Comprobamos que g non depende da lonxitude do péndulo: $g \neq f(l)$.

CUESTIÓNS

- Se un reloxo de péndulo adianta, débese aumentar ou diminuír a lonxitude do péndulo para corrixir a desviación? Razoa a resposta.
- Se aumentamos a lonxitude dun péndulo, aumenta tamén o valor da aceleración da gravidade.
- Na práctica da medida de g cun péndulo simple, como conseguirías que o péndulo duplique o número de oscilacións por segundo?

DETERMINACIÓN DA CONSTANTE ELÁSTICA k_e DUN RESORTE: ESTUDO ESTÁTICO E DINÁMICO

OBXECTIVOS

No estudo experimental da k_e dun resorte imos:

- Adquirir habilidades de montaxe e toma de datos.
- Determinar k_e estaticamente, verificando a lei de Hooke.
- Comprobar que a k_e dun resorte non depende da súa lonxitude (do estirado que estea).
- Determinar a k_e de dous resortes distintos con iguais características xeométricas, comprobando que son diferentes.
- Ver como o período de vibración depende da masa m vibrante.
- Determinar k_e dinamicamente, comparando este valor co obtido polo método estático.
- Obter a k_e dun novo resorte formado por dous resortes iguais asociados en serie.
- Comprobar que a k_e equivalente de varios resortes asociados en serie é igual á inversa da suma das inversas das constantes individuais: $k_e = 1/(1/k_{e1} + 1/k_{e2} + \cdots)$.
- Obter a k_e de dous resortes iguais asociados en paralelo.
- Comprobar que a k_e equivalente de varios resortes asociados en paralelo é igual á suma das constantes individuais: $k_e = k_{e1} + k_{e2} + \cdots$

FUNDAMENTO TEÓRICO

Cando aplicamos unha forza a un corpo podemos:

- Deformalo: efecto estático.

  Que relación hai entre a forza $\vec{F}$ aplicada a un corpo elástico[9] e a deformación $\Delta\vec{y}$ que nel se causa? Este é un dos obxectivos da práctica e encontraremos a resposta de forma experimental: lei de Hooke.

- Modificar o seu estado de repouso ou de movemento: efecto dinámico.

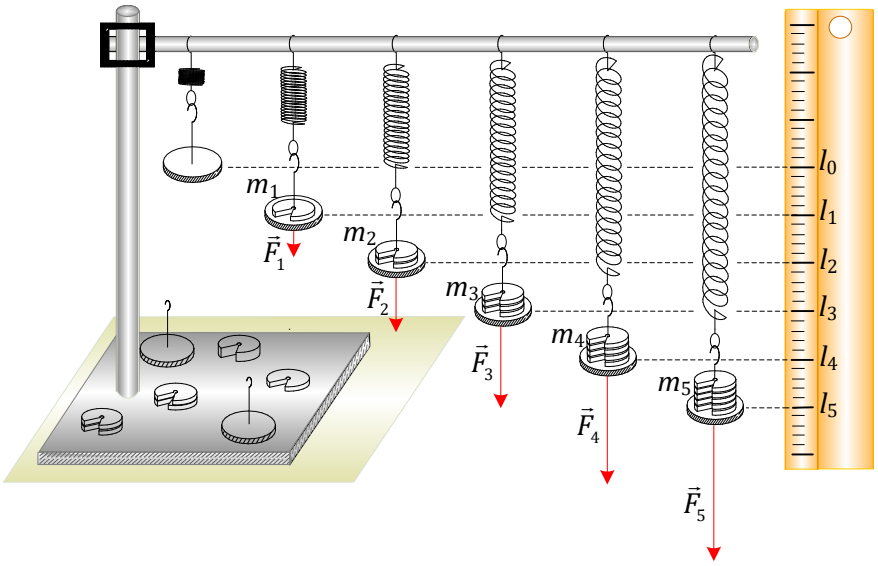
  No caso dunha masa m colgada dun resorte, ao desprazala verticalmente da súa posición de equilibrio, oscila baixo unha forza do tipo: $\vec{F}_{\text{resorte}} = -k_e \cdot \Delta\vec{y}$, polo que o movemento é harmónico simple, podendo calcular k_e a partir do período de vibración: $T = 2\,\pi\sqrt{\frac{m}{k_e}}$.

PROCEDEMENTO

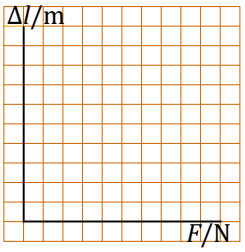
[9] Todos os corpos, baixo a acción dunha forza externa, modifican a súa forma. Se ao cesar a forza deformadora, o corpo recupera completamente a súa forma primitiva, o corpo chámase **elástico** (é o caso dos resortes) e a deformación, **deformación elástica**. En caso contrario a deformación denomínase **plástica** (é o caso da plastilina).

▻ Método estático

Unha vez colgado o resorte elástico, por un dos seus extremos, dun soporte, colócase no seu outro extremo un portapesas cunha masa inicial e mídese a lonxitude correspondente l_0.



A continuación vanse engadindo no portapesas masas m_i coñecidas e mídese, para cada unha delas, a lonxitude li do resorte, completando a seguinte táboa. Por último faise a representación gráfica da deformación do resorte fronte á forza que a causa e o cálculo de k_e.

N°	m/g	F/N?	l_0/cm	l/cm	Δl/cm?	k_e/(N m^{-1})?	
						$k_e = F/\Delta l$	Δl fronte a F
1							
2							
3							
4							
5							
						$k_{e\ media}$ =	k_e = 1/pte.= 1/(Δl/F)

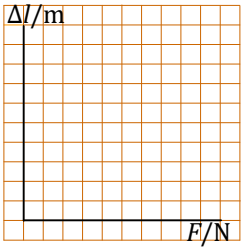
Ao ir engadindo masas ao portapesas, o resorte vai aumentando a súa lonxitude. Vemos que os distintos valores de $k_{e\,i}$ obtidos para as correspondentes lonxitudes l_i do resorte coinciden (dentro dos erros experimentais): $k_{e1} = k_{e2} = \cdots$, podendo concluír que a k_e do resorte non depende da súa lonxitude (do grao de estiramento que posúa). A igual resultado se chega a partir da recta obtida na representación gráfica.

Por último comparamos o valor de k_e obtido a partir da media aritmética co calculado a partir da pendente da recta.

Depende k_e da natureza do resorte?

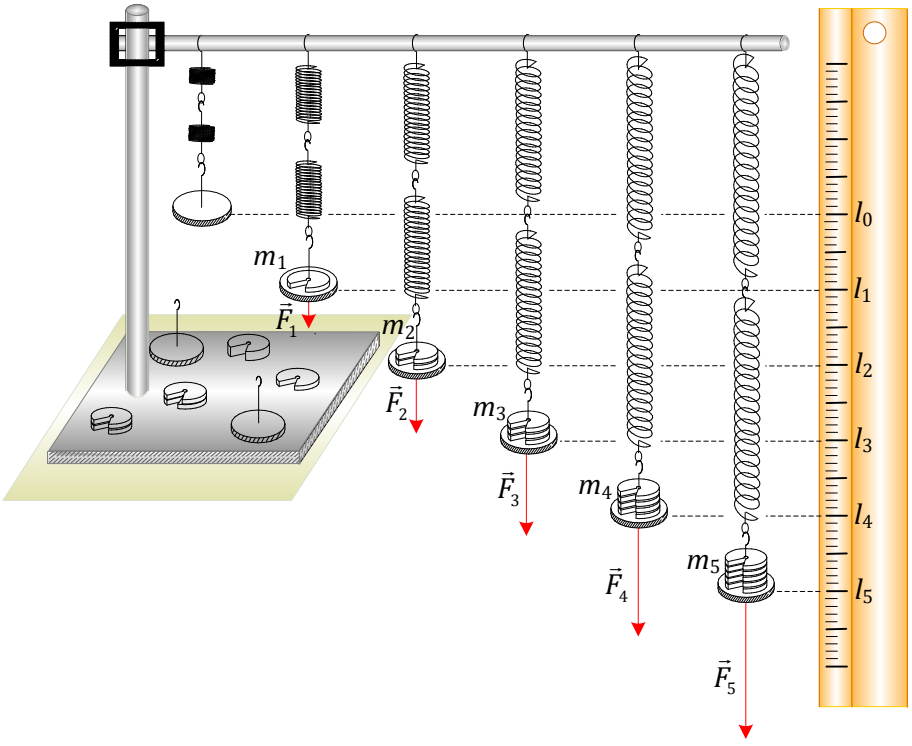
Repetimos a experiencia anterior para un resorte distinto e que teña iguais características xeométricas (lonxitude, tamaño, forma da espira e natureza do material).

Anotamos as medidas feitas na seguinte táboa, calculamos as magnitudes que nela se indican e comparamos a k_e agora obtida coa do resorte da práctica anterior.

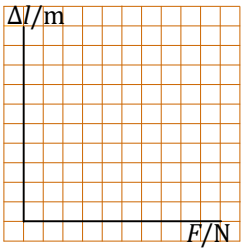
N°	m/g	F/N?	l_0/cm	l/cm	Δl/cm?	k_e/(N m^{-1})?	
						$k_e = F/\Delta l$	Δl fronte a F
1							
2							
3							
4							
5							
						$k_{e\ media}$ =	k_e = 1/pte.= 1/($\Delta l/F$)

Determinación da k_e correspondente a dous resortes iguais asociados en serie e relación desta k_e ($k_{e\ resorte\ "1-2"}$) coa k_e dos resortes asociados ($k_{e\ resorte\ 1}$ e $k_{e\ resorte\ 2}$)

Asociamos en serie dous resortes iguais dos utilizados nunha das prácticas anteriores, repetindo os pasos seguidos anteriormente.



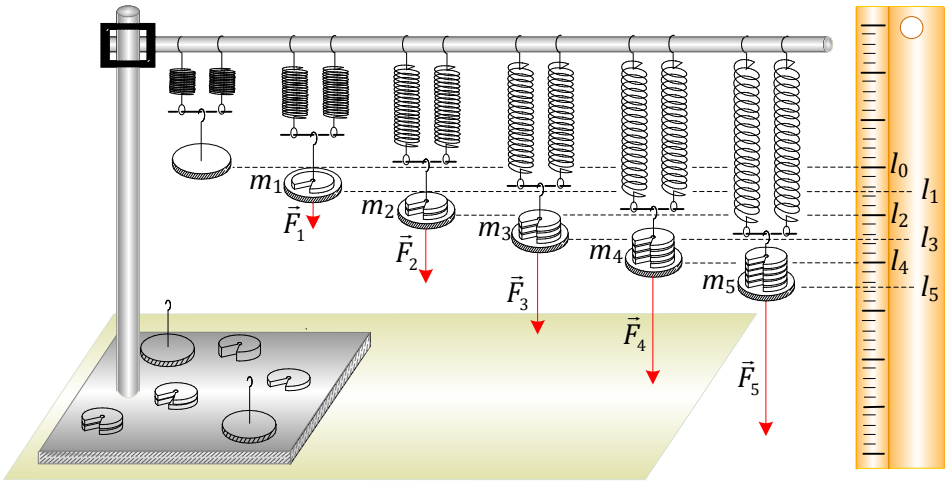
Anotamos na seguinte táboa as medidas feitas e calculamos a k_e correspondente.

N°	m/g	F/N?	l_0/cm	l/cm	Δl/cm?	k_e/(N m^{-1})?	
						$k_e = F/\Delta l$	Δl fronte a F
1							
2							
3							
4							
5							
						$k_{e\ media}$ =	$k_e = 1/\text{pte.} = 1/(\Delta l/F)$

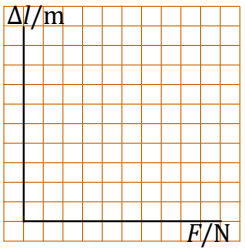
Comprobamos que se cumpre a seguinte igualdade: $\frac{1}{k_{e\ resorte\ "1-2"}} = \frac{1}{k_{e\ resorte\ 1}} + \frac{1}{k_{e\ resorte\ 2}}$, sendo $k_{e\ resorte\ 1} = k_{e\ resorte\ 2}$.

Determinación da k_e correspondente a dous resortes iguais asociados en paralelo e relación desta k_e coa k_e dos resortes asociados

Colgamos paralelamente da barra soporte dous resortes dos utilizados anteriormente, repetindo os pasos seguidos con anterioridade.



Anotamos na seguinte táboa as medidas feitas e calculamos a k_e correspondente.

N°	m/g	F/N?	l_0/cm	l/cm	Δl/cm?	k_e/(N m^{-1})?	
						$k_e = F/\Delta l$	Δl fronte a F
1							
2							
3							
4							
5							
						$k_{e\ media}$ =	$k_e = 1/\text{pte.} = 1/(\Delta l/F)$

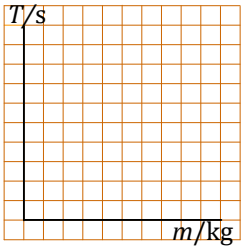
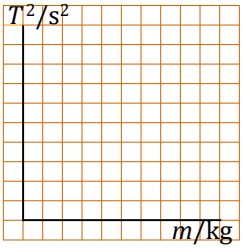
Comprobamos que se cumpre a seguinte igualdade: $k_{\text{e resorte "1-2"}} = k_{\text{e resorte 1}} + k_{\text{e resorte 2}}$, sendo $k_{\text{e resorte 1}} = k_{\text{e resorte 2}}$.

▻ Método dinámico

Medida da variación do período de vibración dun resorte coa súa masa vibrante.

Imos engadindo no portapesas, que colga nun dos resortes utilizados anteriormente, masas m_i coñecidas. A continuación tiramos do portapesas verticalmente cara abaixo, separándoo lixeiramente da posición de equilibrio, e soltamos, deixando oscilar libremente a masa que colga do resorte.

Medimos, para cada masa, o tempo de varias oscilacións, cubrindo os cadros en branco da seguinte táboa. Despois facemos, primeiro, a representación gráfica do período de oscilación fronte á masa vibrante[10] e, despois, a do período ao cadrado fronte á masa.

N°	m/g	t/s	n	T/s?	T^2/s^2?	T fronte a m	T^2 fronte a m
1							
2							
3							
4							
5							

[10] Recordamos que a masa vibrante está constituída pola masa das pesas colgadas, a do portapesas e a masa vibrante do resorte. Cal é o valor da masa vibrante do resorte?

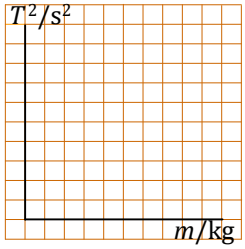
Non se pode considerar toda a masa do resorte, porque non todas ás espiras oscilan coa mesma amplitude: a amplitude do extremo inferior é igual á da masa suspendida, mentres que a do extremo superior é nula. Aproximadamente, a masa vibrante do resorte é a terceira parte da súa masa.

Comprobamos que a representación gráfica de T fronte a m é a dunha rama de parábola e a de T^2 fronte a m é unha recta. Polo tanto, a medida que aumenta a masa vibrante, aumenta o seu período de oscilación, sendo T directamente proporcional a $m^{1/2}$.

Depende k_e da masa m vibrante? Cálculo de k_e

A partir das medidas anteriores, calculamos k_e:

- Coa media aritmética de $k_{e\,1}$, $k_{e\,2}$, ...
- Coa pendente da recta da gráfica que se obtén ao representar T^2 fronte a l: Pendente $= \frac{T^2}{m} = \frac{4\,\pi^2}{k_e}$.

N°	m/g	t/s	n	T/s?	T^2/s^2?	k_e/(N m^{-1})?	
						$k_e = 4\,\pi^2\,m/T^2$	Pte. $= T^2/m = 4\,\pi^2/k_e$
1							
2							
3							
4							
5							
						$k_{e\,\text{media}}$ =	$k_e = 4\,\pi^2/$pte.=

Ao ir engadindo masas ao portapesas, o resorte vai aumentando a súa lonxitude. Tanto a partir da gráfica (recta) como dos valores de $k_{e\,i}$ obtidos ($k_{e1} = k_{e2} = \cdots$), podemos concluír que o valor de k_e non depende da lonxitude (grao de estiramento) do resorte.

Comparamos o valor de k_e obtido a partir da media aritmética co calculado a partir da pendente da recta e, por último, tamén comparamos os resultados obtidos polos métodos estático e dinámico.

CUESTIÓNS

- Ao traballar co resorte determínase a súa constante elástica polos métodos estático e dinámico. Obtense o mesmo valor por ambos métodos?
- A liña recta obtida ao representar os datos medidos das experiencias estáticas dun resorte, ten a mesma pendente que a liña recta que tamén se obtén ao representar os datos medidos das experiencias dinámicas? Razóese a resposta.
- Se cambiamos a masa m que colga dun resorte elástico, varía a súa constante elástica?
- Depende o valor da constante elástica dun resorte do grado de estiramento que posúa?
- Se temos un resorte de constante elástica coñecida, como podemos saber o valor dunha masa descoñecida? Describe as experiencias que debemos realizar para logralo.
- Na medida da constante elástica k_e dun resorte polo método dinámico: a) como inflúe na medida de k_e a masa do propio resorte; b) poderías avaliar a masa "efectiva" do resorte?

INTERFERENCIA E DIFRACCIÓN

OBXECTIVOS

Analizar os fenómenos de interferencia e difracción empregando un láser.

- Determinar a lonxitude de onda dun láser a partir das medidas dos patróns de difracción.
- Determinación de lonxitudes aplicando os fenómenos de interferencia e difracción (diámetro dun cabelo).

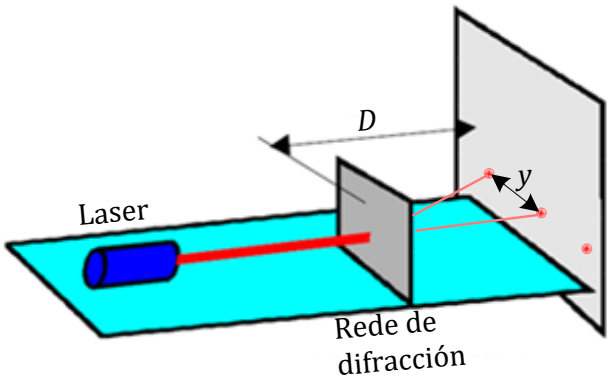
FUNDAMENTO TEÓRICO

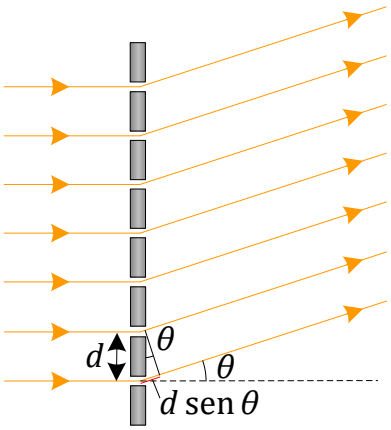
Ao redor do ano 1800, Thomas Young realizou un experimento que produciu un fenómeno inexplicable en termos da teoría corpuscular da luz. Observou a imaxe que producía a luz ao pasar primeiro a través dunha fenda e logo a través de dúas fendas moi próximas entre si, unha paralela á outra. Utilizou luz filtrada dun arco de mercurio para asegurase de traballar con luz o máis monocromática posible. Deste xeito Young observou unha serie de áreas iluminadas e escuras, e observou ademais que un certo punto na pantalla iluminábase cando unha das fendas era tapada mentres que se convertía nun punto escuro cando ambas as fendas estaban descubertas. Noutras palabras observou que "luz + luz" ás veces produce unha zona iluminada e outras unha zona escura. Se a luz tivese unha natureza corpuscular, como sostiñan a maioría dos físicos de entón, o fenómeno descuberto por Young non tería unha explicación acertada.

PROCEDEMENTO

a) Medición de λ empregando patróns de difracción

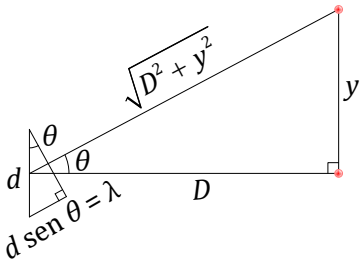
Usando un láser e unha rede de difracción, pódese determinar a lonxitude λ de onda do seu láser. Para iso, faise incidir o láser sobre a rede calibrada e cunha separación, *d,* entre liñas coñecida, usando un esquema similar ao indicado na figura. A partir das medicións das posicións do máximo central e a posición dos primeiros máximos (primeira e segunda orde), pódese determinar o valor da lonxitude de onda do láser.[11]





[11] A determinación resulta mais doada medindo as distancias entre dous mínimos consecutivos.

Empregando o diagrama de raios e a disposición dos elementos da práctica, para os primeiros puntos de composición construtiva de raios á beira do máximo central, podemos observar dous triángulos semellantes:



Un, no esquema da rede de difracción, de lados: *d*; *d*senθ = λ; *d*cosθ, no que *d* é a hipotenusa, e

Outro, no diagrama da práctica, de lados, correlativamente, $\sqrt{D^2 + y^2}$; y; D;

polo que temos a relación:

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{y}{\sqrt{(D^2 + y^2)}}$$

En xeral, para calquera dos máximos:

$m\,\lambda = \frac{d \cdot y}{\sqrt{D^2 + y^2}}$, onde $m \in 0; 1; 2; 3; \cdots$; xa que a interferencia construtiva ten lugar cando a diferenza percorrida entre un raio e outro sexa un número enteiro de lonxitudes de onda. Para o primeiro máximo: $\lambda = \frac{d \cdot y}{\sqrt{D^2 + y^2}}$.

Se o ángulo θ é pequeno, pódese facerse a aproximación: $\sqrt{D^2 + y^2} \simeq D$, e a expresión que nos permite calcular de forma aproximada a lonxitude de onda λ' é: $\lambda' = \frac{d \cdot y}{D}$.

A relación entre o valor calculado para a lonxitude de onda aproximada, λ', e o valor obtido para λ sen a aproximación depende da lonxitude de onda do láser e da distancia *d* entre as liñas da rede:

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{\sqrt{D^2 + y^2}}{D} = \frac{d}{d \cdot cos\ \theta} = \frac{d}{\sqrt{d^2 - \lambda^2}}$$

Como apunte, para unha λ = 670 nm (vermello) e unha rede de difracción de 1000 liñas/mm, o ángulo é θ = 42°, o que impide que se poida aproveitar a aproximación proposta polo seu gran erro. Neste caso, a lonxitude de onda aproximada λ' gardaría unha relación coa λ real de 1,35:

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{10^{-6}}{\sqrt{(10^{-6})^2 - (670 \cdot 10^{-9})^2}} = 1{,}35$$

É dicir: un erro relativo ε do 35 %. Para a mesma lonxitude de onda, pero usando unha rede de 80 liñas/mm, resultaría ε = 0,14 %: unha aproximación totalmente aceptable.

b) Determinación de lonxitudes usando difracción (espesor dun cabelo)

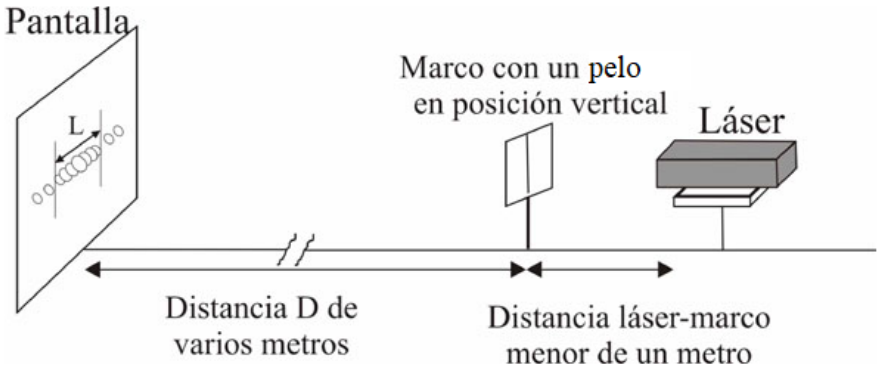
Faise incidir o raio láser sobre un cabelo e determinase o espesor do cabelo a través do patrón de difracción que se observa. Débense analizar os erros de medición.

Cando a luz láser se fai incidir sobre un cabelo humano, a imaxe de difracción que se obtén é similar á que produce nunha dobre fenda. Existe un máximo principal de difracción fortemente iluminado e aos seus lados, separados por zonas escuras, aparecen outros máximos, chamados secundarios. Os máximos secundarios son moito menos intensos que o principal e por iso apenas se aprecian.



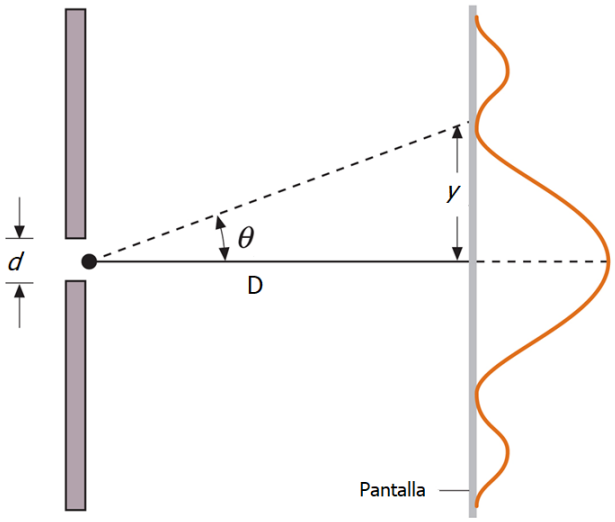
Ademais, se nos fixamos no máximo principal, este pode aparecer seccionado nunha serie de zonas brillantes separadas por zonas escuras -máximos e mínimos-. Isto débese a un fenómeno de interferencia producido polos bordos do cabelo, resultando sobrepostas unha difracción e unha interferencia.

Dado que a imaxe de interferencia que se obtén co cabelo humano non é moi definida, fixarémonos só no máximo principal de difracción, e a partir de medidas realizadas sobre el determinarase aproximadamente o diámetro dun cabelo humano.



D é a distancia entre o cabelo e a pantalla. A distancia *D* debe ser de varios metros. O láser está a apuntar ao cabelo, situado a unha distancia menor dun metro. A imaxe de difracción recóllese na pantalla.

A partir da teoría ondulatoria da luz establécese unha ecuación matemática que relaciona o diámetro do cabelo *d*, coa distancia entre el e a pantalla *D*, a lonxitude de onda do láser λ e a distancia *L* entre os mínimos nulos de intensidade de luz, que limitan a esquerda e dereita o máximo principal de difracción.



$$y = \frac{L}{2} = \frac{\lambda \cdot D}{d} \Rightarrow d = \frac{2\lambda}{L} \cdot D$$

Como pode resultar difícil determinar esta distancia L, xa que as zonas escuras non aparecen claramente delimitadas, poderiamos determinar a distancia entre un número determinado de mínimos consecutivos e dividir entre o número de intervalos tomados.

Poderíase determinar o grosor de diferentes cabelos para obter un valor medio e establecer a incerteza da medición dun pelo ao chou.

Obtención e tratamento de datos:

Distancia, D (m): a mesma para todas as experiencias

Ancho do máximo principal (m)					
Tipo de cabelo					

CUESTIÓNS

- Determinar o valor medio do grosor dos cabelos medidos e determinar a súa incerteza, expresando correctamente o resultado do medida.
- Explicar cualitativamente o fenómeno da difracción a partir de datos experimentais.
- Relacionar o grosor do cabelo coa distancia entre mínimos.

DETERMINACIÓN DO ÍNDICE DE REFRACCIÓN DUN MEDIO

OBXECTIVOS

- Comprobación das leis da refracción
- Cálculo do índice de refracción dun medio

FUNDAMENTO TEÓRICO

As leis da refracción indican que un raio de luz, ao atravesar unha separación entre medios, mantense no mesmo plano que o formado polo raio incidente e a normal á superficie de separación, e que os ángulos de incidencia θ_i e refracción θ_r gardan a relación $n_i \cdot sen\theta_i = n_r \cdot sen\theta_r$, sendo n_i e n_r os índices de refracción do medio de incidencia e de refracción.

Se un raio incide sobre a lente semicircular polo seu centro, sairá desviado nun ángulo que se pode calcular polo cociente entre os índices de refracción do aire (que podemos tomar como $n_{aire} \approx 1$) e do vidro (que podemos calcular se temos os ángulos de incidencia e refracción):

$$sen\theta_i = n_r \cdot sen\theta_r \qquad \text{(ou } n_i \cdot sen\theta_i = sen\theta_r \text{ segundo os casos)}$$

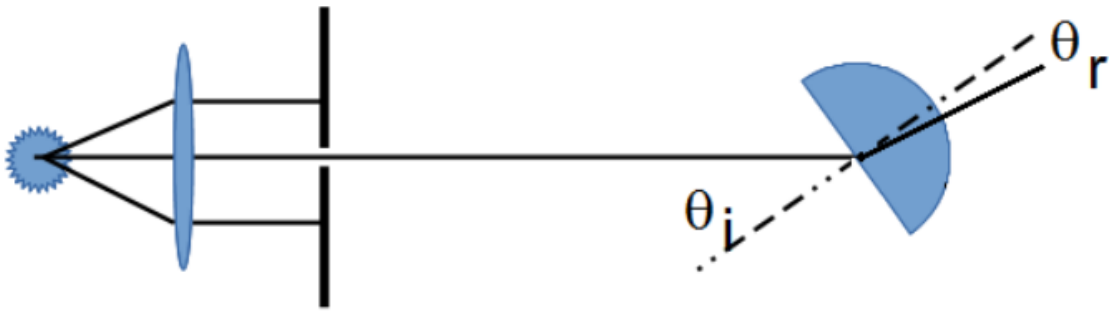
Por outra banda, o ángulo límite é aquel que produce unha desviación de 90º no outro medio, polo que, se o é o aire o medio de saída: $n_i \cdot sen\theta_i = 1$

PROCEDEMENTO

Para a realización da práctica precisaremos do seguinte **material**:

- Banco óptico / sistema de aliñamento
- Diafragma cunha fenda
- Plataforma xiratoria / disco de Hartl
- Foco de luz
- Lente converxente
- Sección de lente semicircular
- Soportes para o material óptico e foco
- Soporte xiratorio para a plataforma xiratoria
- Fonte de alimentación eléctrica

Realízase unha **montaxe** na que a lente converxente colime os raios de tal xeito que cheguen paralelos á fenda, saíndo desta directa ao centro da lente semicircular:



Xirarase a lente para obter diferentes ángulos de incidencia (mellor dun xeito sistemático, por exemplo, de 5˚en 5˚) e medir os ángulos de refracción, até completar media volta (atención, non os de reflexión!). Nese xiro, notarase que hai un rango de incidencias nos que só hai raio reflectido, non refractado, e que

antes de chegar a$\theta_i = 90º$e despois, $\theta_r$pasa de ser maior que θ_ia ser menor, ao intercambiar os seus papeis os medios de incidencia e de refracción.

Debe prestarse moita atención á incidencia xusto no punto central da lente semicircular. Pequenas desviacións producirán como efecto a medida de ángulos de refracción incorrectos.

Asemade, pode prestarse atención a outros fenómenos, como o aumento de intensidade do raio reflectido e a diminución do refractado ao achegármonos á incidencia rasante á superficie de separación, e a existencia do ángulo límite (e a posibilidade do seu cálculo, comprobando as medidas experimentais)

Obtención e tratamento de datos :

Ao tomar datos con diferentes inclinacións da lente semicircular, énchese a táboa de datos:

θ_i (º)	θ_r (º)	$sen\theta_i$	$sen\theta_r$	$\frac{sen\theta_r}{sen\theta_i}$
0				
5				
10				
...				

O cociente entre os senos dos ángulos é o cociente entre os índices de refracción, e xa que o do aire tomámolo como 1. O resultado, dentro dos límites experimentais, corresponderá ao índice de refracción do vidro ou á súa inversa.

Realizarase unha representación $\theta_r = f(\theta_i)$ e outra de $\frac{sen\theta_r}{sen\theta_i} = f(\theta_i)$ para interpretar os resultados obtidos.

Unha vez calculado o valor do índice de refracción do vidro, calculamos o valor do ángulo límite e comparamos cos resultados da táboa.

CUESTIÓNS

- Determinar o índice de refracción do vidro.
- Determinar o ángulo límite.
- Por que é crucial que o raio incida sobre o punto central da lente?
- O raio reflectido e o refractado constrúen o mesmo ángulo coa normal?
- Que tipo de curva resulta nas representacións gráficas propostas? Que representan?

POLARIZACIÓN[12]

OBXECTIVOS

- Analizar as propiedades e características básicas da luz polarizada, para relacionar os fenómenos ópticos cos electromagnéticos.
- Dar un soporte experimental acerca da natureza electromagnética da luz e a súa consideración de onda transversal.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Nunha onda transversal a propiedade que vibra ou oscila é unha magnitude de carácter vectorial e faino nunha dirección perpendicular á dirección de propagación. Dicimos que unha onda transversal está polarizada se a propiedade que vibra faino dun modo predicible, é dicir, sempre paralelamente a unha dirección fixa (polarización lineal) ou co vector que describe a vibración rotando a unha frecuencia dada ao redor da dirección de propagación (polarización circular).

Desde logo o concepto de polarización carece de sentido para unha onda lonxitudinal como o é, por exemplo, unha onda de presión.

Un exemplo de onda mecánica transversal é o caso dunha onda viaxando por unha corda; aquí o desprazamento ou elongación é perpendicular a dirección de propagación da onda. A vibración pode ocorrer en calquera dirección perpendicular á súa propagación. Se se intercala unha fenda nalgún punto da corda, é claro que só as oscilacións na dirección da fenda poderán pasar. Este dispositivo que só deixa pasar as vibracións nun só estado de polarización chámase un polarizador. Nesta práctica de laboratorio, estudaremos as propiedades análogas ás descritas para o caso da luz.

As ondas luminosas non adoitan estar polarizadas, de forma que a vibración electromagnética prodúcese en todos os planos. A luz que vibra nun só plano chámase luz polarizada.

Como este fenómeno de polarización só é posible con ondas transversais, pero non con lonxitudinais, se se demostra que un feixe luminoso pode ser polarizado, chegaremos á conclusión de que as ondas luminosas son transversais.

A luz emitida por unha fonte está constituída por unha serie de trens de ondas procedentes de átomos distintos; en cada un destes trens de ondas o campo eléctrico oscila nun plano determinado pero, en xeral, a súa orientación é distinta duns a outros.

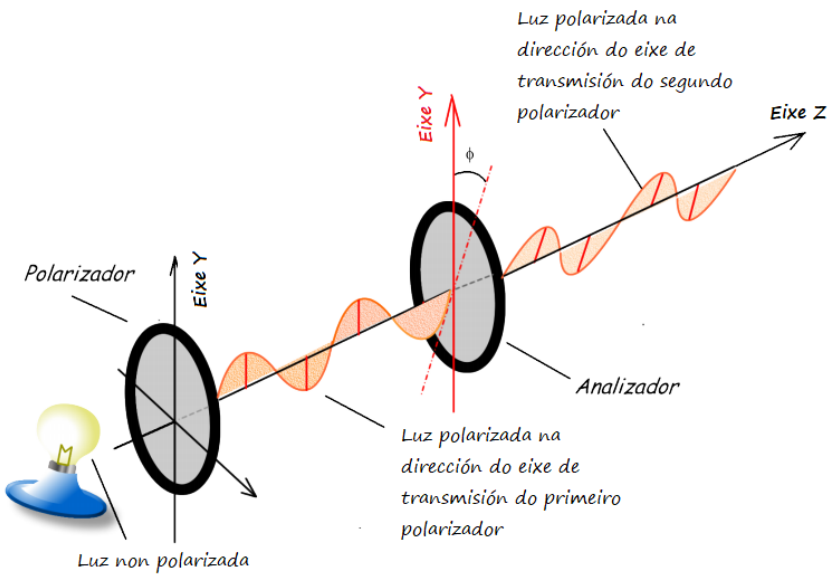
Dado o enorme número de moléculas e átomos dunha fonte luminosa, compréndese o gran número de trens de ondas que constitúe un feixe de luz e, por conseguinte, a existencia neste de ondas polarizadas en todas as direccións transversais posibles.

POLARIZACIÓN POR ABSORCIÓN

Hai materiais denominados polarizadores (algúns cristais, as láminas Polaroid...) que non absorben a enerxía luminosa cando o vector campo eléctrico incide sobre eles nunha determinada dirección, pero que si a absorben para outras direccións. A dirección para a que o material non absorbe luz denomínase eixo de transmisión do polarizador. Na práctica estúdase a polarización facendo pasar a luz a través de

[12] Os aspectos cuantitativos desta actividade serán opcionais, facendo fincapé nos aspectos cualitativos da polarización.

dúas polarizadores (o segundo denomínase analizador) con eixos de transmisión que forman entre si un ángulo ϕ, segundo a montaxe da figura.



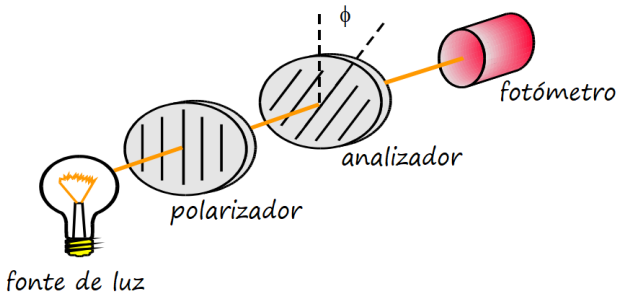
A intensidade de luz transmitida é proporcional ao cadrado da amplitude do campo eléctrico, obedecendo a lei de Malus:

$$I = I_0 cos^2 \emptyset$$

Para comprobar a lei de Malus, utilízase unha fonte de luz que incida nun corpo que sostén dous polarizadores graduados de 0° a 360°. Ao proxectar a luz sobre os polarizadores, inicialmente deben estar aliñados a 0°. Posteriormente deberase virar só un dos dous polarizados a cantidade de graos seleccionados, de tal forma que lle permita obter a intensidade luminosa que se obtén en función do ángulo virado.

PROCEDEMENTO

O dispositivo experimental móstrase esquematicamente na figura. A fonte de luz é unha lámpada incandescente e colócanse dous polarizadores e un fotómetro (empregar unha aplicación de smartphone ou similar). O primeiro polarizador (máis próximo á fonte) denomínase simplemente polarizador e o máis afastado é o analizador. Un dos dous debe ter un goniómetro para medir a súa posición angular.



Previo aos experimentos, e de ser posible, é conveniente calibrar en intensidade o fotómetro. Este procedemento é importante se se está a empregar un fotómetro non calibrado previamente. Para iso proponse o seguinte método, baseado na ***variación da intensidade da luz coa distancia***.

Neste caso proponse usar unha fonte de luz o máis parecido que sexa posible a unha fonte puntual, sen lentes nin reflectores. A idea é medir a variación de sinal proporcionado polo fotómetro con distánciaa fonte-fotómetro. Supondo que a intensidade luminosa da fonte varía seguindo a lei $1/r^2$, é posible realizar unha calibración relativa do fotómetro.

Unha vez calibrado o fotómetro proponse estudar como varía a intensidade luminosa transmitida en función do ángulo entre os dous polarizadores. Para iso, mantendo constante a distancia fonte-detector, rote o polarizador (ou analizador se prefire) até que a iluminación transmitida sexa máxima e tome este ángulo como orixe para medir o ángulo entre eles ($\phi = 0^\circ$). De ser posible convén variar ϕ entre 0° e 180° en pasos de aproximadamente 10°. Representando a iluminancia, $E_V(\phi)$, medida polo fotómetro en función de ϕ e en función de $\cos^2(\phi)$, pódese verificar o cumprimento da lei de Malus.

Vemos que a medida que aumenta o ángulo entre os eixos de transmisión dos polarizadores, a intensidade obtida diminúe, até chegar ao negro absoluto, intre no que os eixos mencionados atópanse perpendiculares entre si.

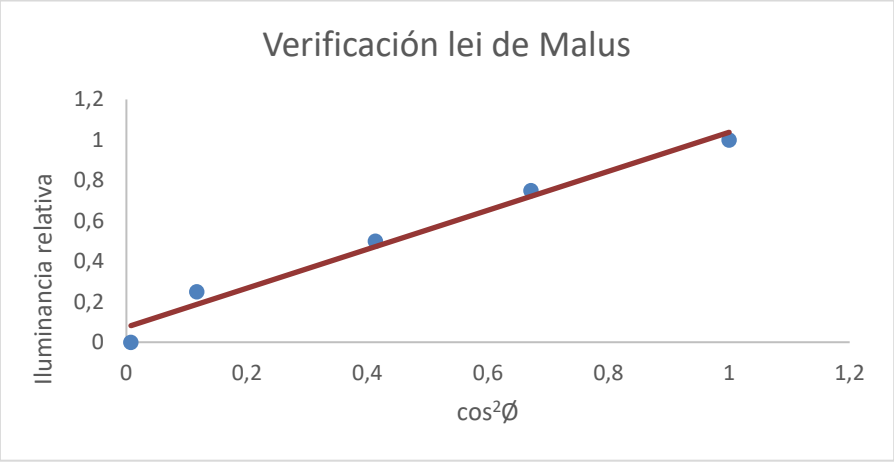
Obtención e tratamento de datos:

Nº experiencias	1	2	3	4	5
Ángulo ϕ ($^\circ$)					
Iluminancia (lux)					

A partir dos datos obtidos procederase ao seu tratamento para construír a gráfica que permita a determinación da relación entre iluminancia e o ángulo formado polo polarizador e analizador.

TRATAMENTO DE DATOS

Nº experiencias	1	2	3	4	5	Valores medios
Ángulo (Ø)						
Iluminancia relativa Ev/Ev_0						
$cos\emptyset$						
$cos^2\emptyset$						



A partir desta experiencia pódese demostrar a relación de proporcionalidade lineal que hai entre a intensidade relativa e o cadrado do coseno do ángulo formado polos eixos dos polarizadores, mostrando gráfica e analiticamente a relación uno que hai entre ditas medidas.

Para lograr a verificación da lei de Malus, a representación gráfica da intensidade relativa en función do $\cos^2\phi$ debe ser unha recta de pendente igual a 1

CUESTIÓNS

- Dar argumentos que xustifique a validez da lei $I \propto 1/r^2$ na calibración do fotómetro.
- Facer hipóteses razoables que permitan dar conta das observacións, polo menos en forma semicuantitativa.
- Xustificar que o experimento permite clasificar á luz como unha onda transversal.
- Interpretar os resultados obtidos nas gráficas.

LENTES CONVERXENTES

OBXECTIVOS

- Observar a formación de imaxes nunha pantalla utilizando unha lente converxente.
- Observar a variación do tamaño da imaxe dependendo da distancia que hai entre o obxecto e a lente.
- Diferenciar unha imaxe real dunha virtual.
- Calcular a distancia focal e a potencia dunha lente converxente, biconvexa, delgada.
- Calcular a altura do obxecto.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Empregamos unha gran variedade de telescopios para axudarnos a observar o Universo. Os telescopios foron modificándose ao longo dos anos pero, en esencia, usan espellos e lentes para dobrar, ampliar e enfocar a luz. Unha lente converxente emprégase nun telescopio de refracción, como o empregado por Galileo Galilei, para centrar a imaxe.

Unha lente é un bloque transparente que fai que a luz se refracte, cambiando a dirección de propagación da mesma.

Aplicando a consideración de raios paraxiais, a distancia focal pode determinarse a partir das seguintes leis[13]:

- Fórmula de Gauss: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} = P$
- Aumento lateral: $A = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

PROCEDEMENTO

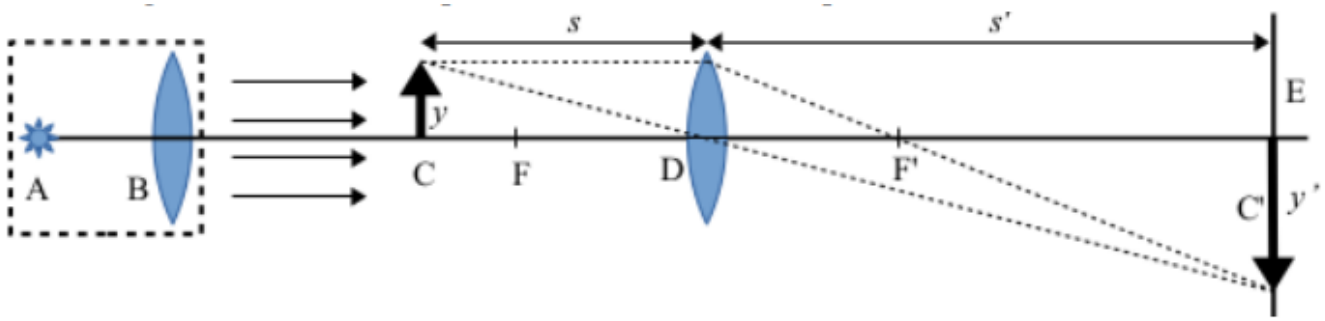
Para a realización da práctica precisaremos do seguinte **material**[14]:

- Banco óptico con soporte para os distintos elementos
- Foco luminoso (A) coa súa fonte de alimentación
- Lente converxente (B) que permite obter luz de raios paralelos
- Obxecto (C)
- Lente converxente obxecto de estudo (D)
- Pantalla (E)
- Cinta métrica
- Papel milimetrado
- Cinta adhesiva

A **montaxe** indícase no esquema da figura adxunta.

[13] Fórmulas válidas co criterio de signos DIN

[14] No caso de non dispoñer do material apropiado, podería realizarse unha simulación virtual en https://phet.colorado.edu/es/simulations/geometric-optics



Deberase ter en conta que:

- Todos os elementos deben estar aliñados e colocados perpendicularmente ao eixo óptico.
- A lente B sitúase a unha distancia do foco (AB) igual á súa distancia focal, para obter luz de raios paralelos.
- Será preciso recortar papel milimetrado do tamaño da pantalla e adherilo a ela.
- Os elementos A, B e C permanecen fixos.
- Para variar **s** desprázase a lente D.
- Para obter a imaxe, desprázase a pantalla manténdoa perpendicular aos raios luminosos até obter nela unha imaxe nítida do obxecto.
- Co papel milimetrado mídese a altura do obxecto e as alturas das imaxes na pantalla.

Obtención e tratamento de datos:

Altura do obxecto: y = … m

Nº experiencias	1	2	3	4	5
s_i (m)					
s'_i (m)					
y'_i (m)					

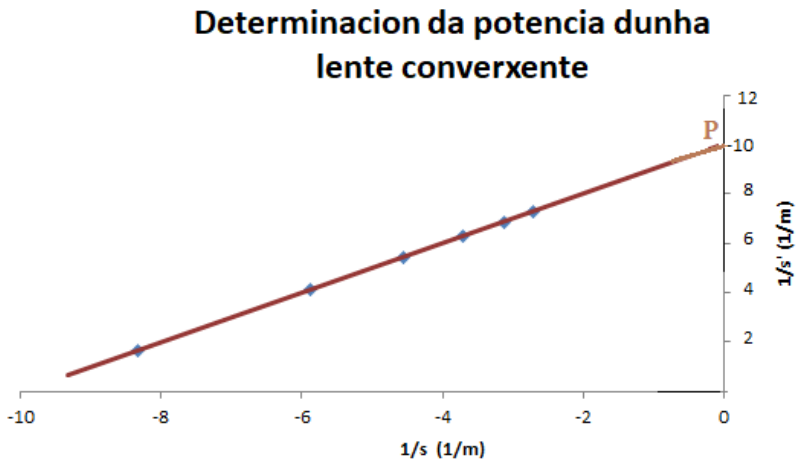
A partir dos datos obtidos procederase ao seu tratamento para a determinación da potencia da lente e de f'.

DETERMINACIÓN DE P E f' ANALITICAMENTE

Nº experiencia	1	2	3	4	5	Valores medios
$f'_i = \frac{s_i s'_i}{s_i - s'_i}\ (m)$						$\overline{f'} =$
$P_i = \frac{1}{f'_i}\ (dioptría)$						$\overline{P} =$
$y_i = \frac{y'_i s_i}{s'_i}\ (m)$						$\overline{y} =$

DETERMINACIÓN DE P E f' GRAFICAMENTE

Nº experiencia	1	2	3	4	5
$\frac{1}{s_i}$ (m^{-1})					
$\frac{1}{s'_i}$ (m^{-1})					



En papel milimetrado, represéntase no eixo de abscisas $\frac{1}{s_i}$, e no de ordenadas, $\frac{1}{s'_i}$. Obtense unha recta. A recta de mellor axuste ten que pasar pola media mostral, é dicir, polo punto $(\overline{\frac{1}{s_i}}, \overline{\frac{1}{s'_i}})$. A ordenada na orixe é a potencia (P). A inversa da potencia é a distancia focal (f').

CUESTIÓNS

- Comparar os valores obtidos para a distancia focal e a potencia cos valores dados polo equipo de óptica. Enumerar as posibles fontes de discrepancia.
- Comparar o valor obtido para a altura do obxecto co valor medido directamente. Enumerar as posíbeis fontes de discrepancia.
- Indicar as características da imaxe cando o obxecto está situado a: s > 2f, s = 2f, 2f > s > f; realizando os diagramas de raios.
- Ao situar o obxecto a s = f, obsérvase imaxe na pantalla? Debuxar o diagrama de raios.
- Ao situar o obxecto a s < f, obsérvase imaxe na pantalla? Como actúa a lente neste caso? Debuxar o diagrama de raios e indicar as características da imaxe.
- Se se mantén fixa a distancia entre obxecto e pantalla (Ex: $8{,}0 \cdot 10^{-1}$ m) e se despraza a lente, en cantas posicións se obtén imaxe na pantalla? Despois de comprobalo experimentalmente, pódese calcular facendo uso da distancia focal obtida.
- Facer unha estimación das incertezas de y, P e f' a partir dos resultados obtidos polo método analítico.

EFECTO FOTOELÉCTRICO

OBXECTIVOS

- Construír e interpretar a gráfica frecuencia da luz incidente – enerxía do electrón xerada no efecto fotoeléctrico
- Construír e interpretar a gráfica intensidade de luz incidente – intensidade de corrente xerada no efecto fotoeléctrico
- Obter a expresión da enerxía en función da frecuencia para os electróns.
- Obter o valor da constante de Planck, h.

FUNDAMENTO TEÓRICO

As primeiras observacións do efecto fotoeléctrico foron feitas por Heinrich Rudolf Hertz en 1887 cunha bobina como receptor. Nela podíase producir unha faísca á recepción de ondas electromagnéticas. Ao encerrar o receptor nunha caixa negra, observou que a lonxitude de onda máxima da faísca reducíase.

En 1889 Joseph John Thomson investigaba os raios catódicos, que deduciu que consistían un fluxo de partículas cargadas negativamente (electróns). Thomson utilizaba como cátodo unha placa metálica encerrada nun tubo de baleiro, expoñéndoo a luz de diferente lonxitude de onda.

En 1902 Philipp von Lenard realizou observacións do efecto fotoeléctrico nas que se puña de manifesto a variación de enerxía dos electróns coa frecuencia da luz incidente, medida a partir da diferencia de potencial necesaria para frealos nun tubo de raios catódicos (se ben proporcionaban datos unicamente cualitativos).

No 1905 Albert Einstein propuxo unha descrición matemática deste fenómeno que parecía funcionar correctamente e na que a emisión de electróns era producida pola absorción de cuantos de luz (fotóns), cunha enerxía para o seu arrinque que dependía de cada metal (motivo da concesión do Premio Nobel de Física en 1921). A demostración experimental deste aspecto foi levada a cabo en 1915 por Robert Andrews Millikan.

A luz compórtase como ondas, podendo producir interferencias e difracción como no experimento da dobre fenda de Thomas Young. O efecto fotoeléctrico mostra o carácter corpuscular da luz. Os corpúsculos son os fotóns, con E = h·f (onde h é a constante de Planck e f a frecuencia da radiación electromagnética).

$$\boxed{h \cdot f = W_e + E_c} \quad \text{ou} \quad \boxed{h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m_e \cdot v^2}$$

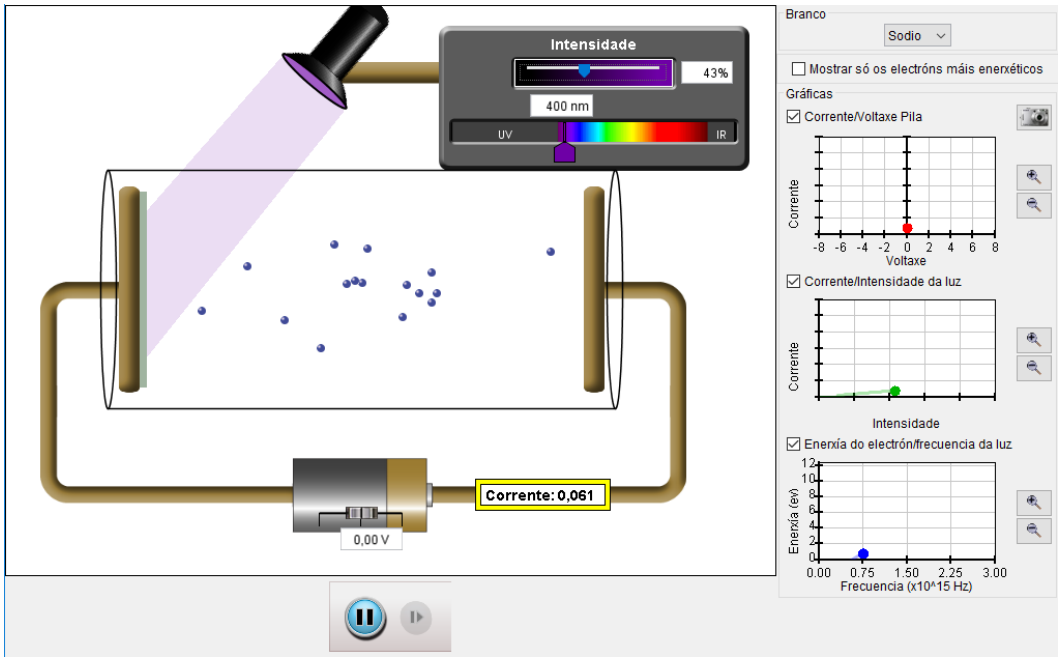
(Enerxía do fotón incidente = Traballo de extracción + enerxía cinética do electrón saínte)

O efecto fotoeléctrico é a base da produción de enerxía eléctrica por radiación solar e do seu aproveitamento enerxético, entre outros usos.

O efecto fotoeléctrico tamén se manifesta na natureza en corpos expostos á luz solar de xeito prolongado, como nas partículas de po da superficie luar, que collen carga positiva debido ao impacto de fotóns. Os satélites espaciais tamén adquiren carga eléctrica positiva nas súas superficies iluminadas e negativa nas partes sombreadas, polo que é necesario ter en conta estes efectos de acumulación de carga no seu deseño.

PROCEDEMENTO

Úsase o physlet, descargable en galego de https://phet.colorado.edu/gl/simulation/photoelectric.[15] A descarga permite a súa apertura e uso no navegador.



O manexo do programa permite a variación da intensidade de luz incidente, a súa frecuencia e o potencial de freado para diversos metais. Asemade, permite amosar ou non gráficas de funcionamento, a máis de contabilizar 'electróns' a ollo nu.

Nun primeiro momento, debe deixarse que o alumnado xogue e descubra por de seu as posibilidades do aparello, facéndose un primeiro esquema mental do seu funcionamento e do efecto fotoeléctrico.

A gráfica frecuencia da luz incidente – enerxía do electrón xerada no efecto fotoeléctrico e a gráfica intensidade de luz incidente – intensidade de corrente xerada no efecto fotoeléctrico poden ser visualizadas directamente na pantalla, mais é convinte que sexan construídas segundo os datos que aparecen como elixidos (variables independentes) ou consecuencia (variables dependentes) ao facer unha táboa con varios conxuntos de datos (cando menos, 5) para un determinado metal.

Unha vez construídas as gráficas, trátase de analizalas para tirar delas a ecuación que as rexe, de xeito independente a cada unha, e en conxunto.

Debe observarse ademais que non todos os electróns teñen a mesma enerxía cinética, servindo para explicar mellor o significado da ecuación de Einstein. Asemade, a construción de táboas correspondentes a metais diferentes debe facer pensar en cal é a diferencia entre eles.

CUESTIÓNS

A partir da representación das gráficas f_{luz} – $Ec_{electrón}$ e/ou I_{luz} – $I_{corrente}$ poderase:

- Determinar o traballo de extracción e a frecuencia limiar.
- Calcular a velocidade máxima coa que son emitidos os electróns e o potencial de freado, para

[15] Outra ligazón para estudar este efecto: https://applets.kcvs.ca/photoelectricEffect/PhotoElectric.html

unha lonxitude de onda dada.

- Determinar a lonxitude de onda máxima capaz de producir efecto fotoeléctrico nun metal.
- Xustificar como varía, se é que o fai, a velocidade dos electróns coa intensidade da luz incidente e coa frecuencia.
- Calcular o valor da constante de Planck.
- Describir as variacións do observado fronte a unha montaxe ideal.