Actividad grupal: El efecto fotoeléctrico

Objetivos

Realizar de manera computacional dos ejercicios que recrean dos experimentos sobre física moderna: el movimiento de **partículas cargadas en campos magnéticos** y el **efecto fotoeléctrico**

Ejercicio sobre el efecto fotoeléctrico

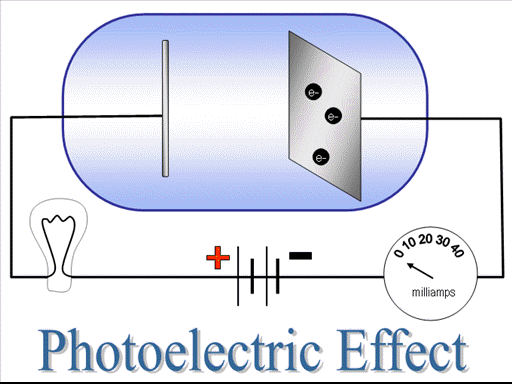
El objetivo de la práctica es la determinación de la ***energía de arranque*** () de los electrones de un metal y el **valor de la *constante de Planck*** (). Para ello, disponemos de una *lámpara virtual* que emite luz de distintas frecuencias y placas (también virtuales) de distintos metales (sodio, cinc, calcio, etc.) que van a ser iluminadas por la mencionada fuente de luz.

**Principios del efecto fotoeléctricos**

La emisión de electrones por metales iluminados con luz de determinada frecuencia fue observada a finales del siglo XIX por Hertz y Hallwachs y más tarde por Lenard. El proceso por el cual se liberan electrones de un material por la acción de la radiación se denomina *efecto fotoeléctrico* o *emisión fotoeléctrica*. Sus características esenciales son:

* Para cada material metálico hay una ***frecuencia mínima*** o *umbral* de la radiación electromagnética **por debajo de la cual no se liberan electrones por más intensa que sea la fuente de luz**.
* La **emisión electrónica aumenta cuando se incrementa la intensidad de la luz** que incide sobre la superficie del metal, ya que hay más energía disponible para liberar electrones.

Gráficamente:



Se llama a la *energía mínima* necesaria para que un electrón escape del metal (*energía de arranque*, *extracción*, o también llamada ***función de trabajo*** ó ). Si el electrón absorbe una energía tras el impacto de un *rayo de luz*, la diferencia , será la energía cinética del electrón () emitido: .

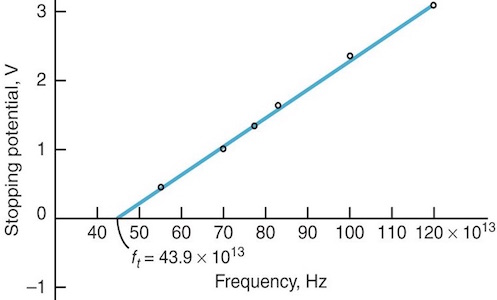
Si la energía de la luz , es menor que la energía de arranque , no hay extracción de electrones. En caso contrario, sí se produce tal emisión y el electrón *sale despedido* del metal con una energía cinética igual a . Si esta energía cinética es suficiente, el electrón puede llegar a la otra placa (no iluminada) separada una distancia no muy grande y, si ambas están conectadas por un cable (como en la figura de arriba), es posible que tengamos circulación de corriente (y que esta sea medible con un amperímetro ordinario).

Si ahora aplicamos una diferencia de potencial entre ambas que vaya en sentido contrario al movimiento de los electrones, **podemos llegar a frenar el movimiento de los electrones emitidos** (y detener la corriente que se estaba midiendo). Para este voltaje determinado, un amperímetro no marca el paso de corriente, lo que significa que ningún electrón (o no los suficientes) ha llegado a la placa no iluminada. En ese momento, la energía potencial (en contra) de cada electrón () se hace igual a la energía cinética , es decir:

Comprueba que tiene unidades de energía, donde es la carga del electrón.

Einstein postuló que el efecto fotoeléctrico podía asimilarse a un ***uno-contra-uno*** de partículas de luz (llamadas *fotones*) con cada electrón. La energía de estos fotones sería , donde es la frecuencia de la luz (y por ende, de cada fotón) y es la así llamada *constante de Planck*, arriba nombrada. De esta manera, podemos reescribir la ecuación anterior como: .

Conociendo el potencial de frenado (es decir, el valor de la pila que controlamos nosotros como experimentadores) y la frecuencia de la luz que impacta contra el metal (que también manejamos nosotros), es posible derivar la función de trabajo y la constante de Planck. ¿Cómo? Pues si os fijáis, podemos **ajustar todos los datos** a una recta donde su ordenada en el origen tendrá que ver con la función de trabajo y la pendiente estará en función justamente la constante de Planck (más adelante explicaremos qué es esto de *la pendiente* y *la ordenada en el origen*):



Para darle más solemnidad a la constante de Planck vamos a usar el formato con barra (*hache barra*): , de manera que .

Un **ajuste a una recta** (o *regresión lineal*) lo que persigue es hallar la ecuación de la recta que mejor pasa por una serie de puntos. Recordamos que una recta se puede definir, como mínimo, con **dos puntos** , e , , de manera que cualquier otro punto de dicha recta , cumple que:

Esta última expresión también se puede representar como , donde:

**Ejercicio de calentamiento**: demuestra la equivalencia de la relación matemática anterior, es decir, que:

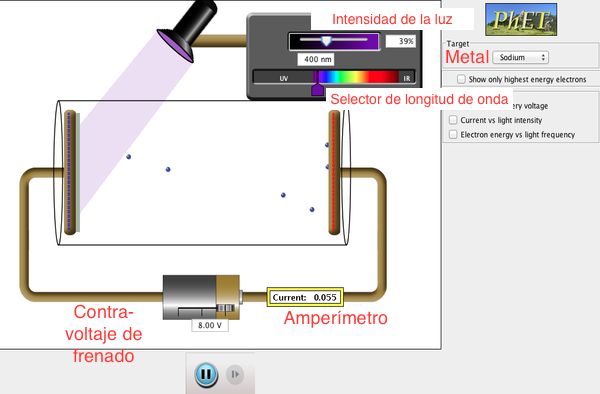
Pista: solo tenéis que despejar y buscar los sumandos que multipliquen a y los que no (concepto de *factor común* que se nos enseñaba en el colegio). Se trata de un ejercicio muy sencillo de matemáticas (muy) básicas.

**Laboratorio virtual**

Como material de laboratorio, vamos a utilizar un *applet* Java que puedes descargar desde la siguiente dirección:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>

Es un sencillo *programita* Java que simula un banco de pruebas típico para estudiar el efecto fotoeléctrico. Ha sido realizado dentro del proyecto [PhET](http://phet.colorado.edu) ([https://phet.colorado.edu](https://phet.colorado.edu/)), de la Universidad de Colorado.



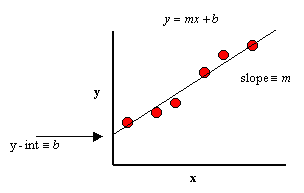
Con este sencillo *applet* vamos a obtener los potenciales de frenado (, , , …) para varias frecuencias (en realidad para varias longitudes de onda , , , … ) y para varios tipos de metales iluminados (*targets*) como sodio, acero, zinc, etc. Las longitudes de onda *seleccionables* van desde el **infrarrojo** (que no puedes ver) hasta los **ultravioleta** (que tampoco puedes ver), pasando por el visible (desde el rojo al violeta, que sí puedes ver). El potencial de frenado viene representado por la **pila**. El experimento también cuenta con un **amperímetro** y una **fuente de luz** de la que podemos regular en qué longitud de onda emite (entre 100 nm y 850 nm) y con qué potencia (entre 0 y 100%).

**Primer ejercicio**. Haz una tabla rápida con el nombre de cada color del arcoíris (azul, rojo, amarillo, etc.) en una columna, en una segunda columna escribe su longitud de onda (en metros) y en una tercera columna, su frecuencia (en Hercios). ¿Cuál es la relación matemática entre longitud de onda y frecuencia de una onda electromagnética?

Una vez que tenemos un listado de longitudes de onda y voltajes de frenado, realizaremos el ajuste a una recta mediante el algoritmo de *regresión* o *ajuste* que hemos comentado antes. Aplicaremos este algoritmo mediante el paquete regression (<https://www.npmjs.com/package/regression>) de NodeJS (<https://nodejs.org/en/>) (aunque no es necesario usar Node ni el kernel Node en absoluto: basta con el propio intérprete/kernel JavaScript que incorpora nteract de serie).

La ecuación de la recta de la que estamos hablando no es otra que

donde es la variable independiente e es la dependiente. Es decir, para cada valor de , tendremos un valor de . Los parámetros y son constantes y según el problema físico, representarán una cosa u otra. Si dibujamos respecto a , tendremos una recta de pendiente (inclinación) y con un valor de cuando valga 0 (), tal y como puede verse en la figura:



Al parámetro se le llama *ordenada en el origen*. Ordenada es sinónimo de *valor de la variable dependiente* (, en nuestro caso) y *en el origen* quiere decir cuando . Dicho de otra manera:  **es el valor que toma cuando** . **El resultado de un ajuste lineal es precisamente la obtención de y .**

La expresión matemática que tendremos que ajustar a los datos experimentales será la que postuló el mismísimo Einstein:

La ecuación anterior se puede reescribir como (compruébalo):

Expresado de manera más coloquial, *dependerá* (variable dependiente) de la frecuencia de la luz (variable independiente) multiplicada esta por una constante ( o *pendiente*) y sumada (o restada) a otra constante ( u *ordenada en origen*).

Como ya sabemos la carga del electrón (), podemos despejar (o , da lo mismo: solo se diferencian en un factor ) y , es decir la constate de Plank y la función de trabajo. Por si todavía no ha quedado claro, estamos buscando aquella recta que pasa por los puntos , donde los valores de se corresponden con la inversa de las longitudes de onda () y los valores de con los voltajes de frenado (). Ten en cuenta que el *applet* de PhET expresa las longitudes de onda en nanómetros, luego para convertir a metros tendrás que tener en cuenta que: . Para obtener y solo tienes que despejar de los valores de la pendiente y ordenada obtenidos:

**Instalación de nteract y pasos iniciales**

El ejercicio lo vamos a resolver mediante nteract ([https://nteract.io](https://nteract.io/)). Este software es un visualizador/editor de *notebooks* de Jupyter, con soporte para todos los *kernels* (Python v2, Python v3, Ruby, Lua, R, etc.) si estos están instalados. Sin embargo, nteract tiene soporte nativo (no es necesario instalar nada) para JavaScript (a través de NodeJS), y este es el lenguaje con el que vamos a realizar los cálculos. Insistimos: no requiere de ningún tipo de instalación complicada, se descarga y ya está listo para ejecutarse. Asegúrate de escoger este lenguaje (NodeJS) en el menú Lenguajes cuando crees el *notebook* de trabajo. Asegúrate también de que el *notebook* esté guardado en el directorio de trabajo que hayas escogido y cuando nteract te pregunte, *reinicia el kernel actual* (o simplemente cierra y vuelve a abrir el *notebook*).

A continuación, instala el paquete regression. Para ello descarga este fichero:(<https://raw.githubusercontent.com/Tom-Alexander/regression-js/master/dist/regression.js> y guárdalo en el directorio de trabajo como regression.js.

Una vez descargado, ya podemos invocarlo desde nuestro *notebook* y hacer un ajuste a una recta como los que se comentan en el enunciado, pero inicialmente tenemos que obtener medidas experimentales (que luego ajustaremos a una recta).

**Toma de medidas con el *applet* del efecto fotoeléctrico**

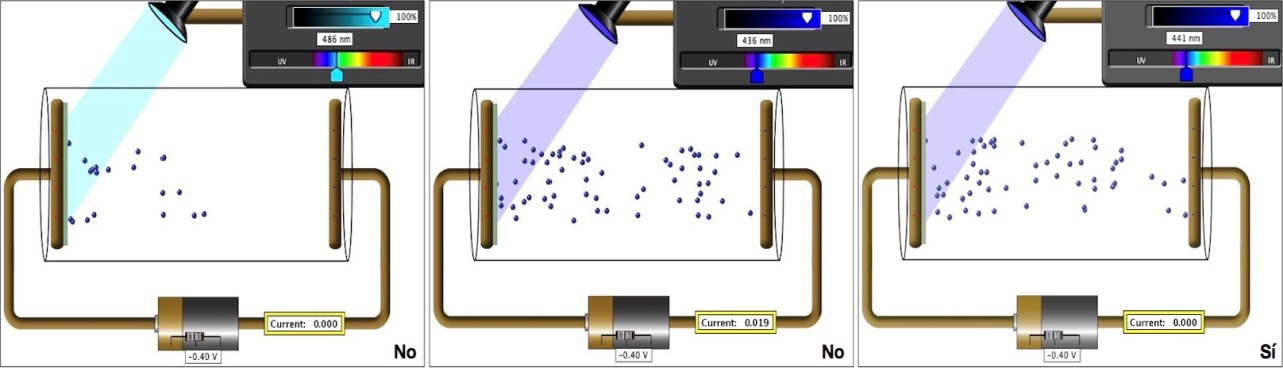
Elige **dos metales** a tu antojo (menú de la derecha en la ventana del *applet*) y para cada uno, busca parejas de valores [, ] (**4 como mínimo**: [], [], [], [], …) con el control de potencia al 100% (Intensity). Es decir, nos estamos preguntando para *qué voltajes* *de frenado* detenemos la emisión de electrones que se han producido al ser extraídos mediante la colisión con partículas de luz (*fotones*) de longitud de onda . Estos valores los vamos apuntando en un *array* de JavaScript:

var longitudes\_de\_onda\_medidas = [200, 250, 300, 350].map(x **=>** x\*1e-9); *// para pasar a metros*

var voltajes\_medidos = [-3.87, -2.62, -1.79, -1.18]; *// en voltios (voltaje de frenado)*

Sin embargo, quizás es mejor hacerse la pregunta el revés: para un *contravoltaje* dado (-0.2, -0.4, -0.6 V, etc.), qué valor de tenemos que seleccionar para que los electrones, a pesar de llegar a la otra placa, no lleguen en suficiente cantidad como para crear una corriente (valor 0.000 en el amperímetro). Es mejor hacerlo así porque el selector de longitudes de onda permite ajustar más finamente.

Por ejemplo: en la imagen siguiente, el **escenario correcto** es el **último de la derecha**. En este, para una , tenemos electrones que llegan al otro extremo de la placa, pero no los suficientes, y por tanto, la corriente medida en el amperímetro es nula. En el primer escenario, los electrones, a pesar de haber sido desprendidos del metal, el *contra-voltaje* les impide llegar a la otra placa. En el segundo escenario, cierta cantidad de electrones llega a la placa (a pesar del contra-voltaje) y sí que se produce una corriente (pequeña, pero medible).



**Ajuste a una recta con regression.js**

Para hacer un ajuste, tenemos que transformar un poco los datos, pues el paquete regression.js usa *tuplas* (*mini-arrays* de dos elementos) de valores , . Esto lo podemos conseguir de manera muy elegante mediante el método reduce (<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Array/reduce>), incorporado recientemente a JavaScript. Fíjate que en el siguiente código también estamos calculando la inversa de las longitudes de onda () que vamos a necesitar en este paso y en el siguiente.

inversa\_de\_longitudes\_de\_onda = longitudes\_de\_onda\_medidas.map(lambda **=>** 1/lambda );

var datos\_a\_ajustar = voltajes\_medidos.reduce((tuplas\_longitud\_onda\_voltaje, b, i) **=>** {

tuplas\_longitud\_onda\_voltaje.push([inversa\_de\_longitudes\_de\_onda[i], b]);

return tuplas\_longitud\_onda\_voltaje;

}, []);

console.log(datos\_a\_ajustar); *// Verás que son tuplas de valores 1/lambda y voltajes*

A continuación, ya podemos hacer el ajuste a una recta y obtener los valores de y .

var regression = require('./regression.js');

var result = regression.linear(datos\_a\_ajustar, { precision: 15 });

var m = result.equation[0]; *// pendiente*

var b = result.equation[1]; *// ordenada en origen*

console.log('la pendiente es = ' + m + ' y la ordenada es = ' + b);

Con estos valores de y ya puedes obtener y como se especifica más arriba. El **segundo ejercicio** consiste precisamente en esto. No te olvides del cálculo de unidades: no las pongas al final sin más y sin reflexionar.

**Representación gráfica de los datos**

El **último ejercicio** consiste en representar gráficamente los datos experimentales y la recta obtenida. Previamente, incluye este pequeño código en una celda del *notebook* para poder representar gráficas con nteract. Se trata de un pequeño *apaño* para que nteract pueda trabajar con la biblioteca Plot.ly (<https://plot.ly/>), que ya lleva integrada.

function Plotly(data, layout, $$) {

$$ = $$ || global.$$;

$$.mime({ "application/vnd.plotly.v1+json": { data: data, layout: layout } });

}

Para dibujar la recta, tenemos que calcular los puntos (voltajes) para los mismos valores de (inversas de las longitudes de onda medidas con el *applet*) y con los resultados de y que hemos obtenido con el ajuste anterior. Matemáticamente: . En Javascript este cálculo se puede hacer de manera muy sencilla mediante el método map sobre el array de frecuencias medidas.

voltajes\_de\_frenado\_calculados = inversa\_de\_longitudes\_de\_onda.map(inversa\_lambda **=>** inversa\_lambda \* m + b);

Para pintar una gráfica con Plot.ly, crearíamos una celda de código como la siguiente. Ojo, tal como está en este ejemplo, se trata de una gráfica muy sencilla y a la que le faltan cosas (que tenéis que poner vosotros).

datos = [  
 { x: inversa\_de\_longitudes\_de\_onda, y: voltajes\_medidos, name: 'Datos experimentales' },   
 { x: inversa\_de\_longitudes\_de\_onda, y: voltajes\_de\_frenado\_calculados, name: 'Datos calculados tras ajuste' }  
];  
var layout = {  
 title: 'Plot de ejemplo',  
 xaxis: { title: 'x Axis',  
 titlefont: { family: 'Courier New, monospace', size: 18, color: '#7f7f7f' }  
 },  
 yaxis: {  
 title: 'y Axis', titlefont: {  
 family: 'Courier New, monospace', size: 18, color: '#7f7f7f' }  
 }  
};  
Plotly(datos, layout);

En esta sección (<https://plot.ly/javascript/>) de la web de Plot.ly vienen muchos ejemplos en Javascript para dar *colorido*, personalidad e información necesaria a tu gráfica. Cuida su presentación: que cada eje esté bien etiquetado y que contenga sus unidades. Una gráfica representa también entidades físicas: tiene que estar bien claro qué estamos representando (¿*patatas por parsec*?, ¿*producción de pepinos en función del año*?, ¿voltaje (en voltios) en función de la inversa de la longitud de onda ()?).

**NOTA:** Para completar el software (*notebook*) en nteract que permite realizar el ajuste mediante la recta de regresión debéis copiar literalmente todas las líneas de código que van apareciendo en la memoria una detrás de otra por orden de aparición en el texto.

**Intensidad de corriente en función de la intensidad de la luz**

**Ejercicio premium**. Modifica ahora el control de intensidad de la luz (el que va entre 0 y el 100%) para una longitud de onda de 200 nm y un metal a tu elección. ¿Qué le ocurre a la corriente que se mide con el amperímetro? Haz una gráfica que represente el amperaje medido respecto a dicha intensidad de luz. ¿Qué relación se observa?

**Entrega del ejercicio**

Lo que se pide es un *notebook* (compuesto con nteract) elegante y bien narrado donde se relate y se ejecuten correctamente todos los pasos demandados. Exporta y entrega este *notebook* insertado en la memoria de la actividad. Entregar también el fichero .ipynb.

**Historia en torno al efecto fotoeléctrico**

El descubrimiento y descripción del efecto fotoeléctrico está llena de elementos curiosos, amor, guerra, persecución, envidias, nazismo, etc. Resúmela en un párrafo. Algo de ayuda (<https://losmundosdebrana.com/2013/05/28/la-historia-del-efecto-fotoelectrico/>).

Partícula en un campo magnético

Un electrón con una capacidad de trabajo (energía cinética) de J orbita de manera perpendicular a un campo magnético de 4250 G. ¿Cuál es el radio de la órbita? ¿Y su frecuencia y periodo angular? Resuelve el mismo ejercicio para un antineutrón.

Resuelve el problema mediante un *notebook* de Jupyter tal y como se ha visto en clase y en los vídeos. Representa gráficamente la trayectoria calculada.

**Rúbrica**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Criterio | Descripción | Puntuación máxima | Peso  (%) |
| Criterio 1 | Los resultados numéricos concuerdan con evidencias experimentales | 3.5 | 35% |
| Criterio 2 | La representación gráfica concuerda con evidencias experimentales | 3.5 | 35% |
| Criterio 3 | La redacción y presentación es correcta y propia de un trabajo de nivel universitario. | 3 | 30 |
|  |  | **10** | **100 %** |

**Organización y gestión de equipos**

En el foro «Pregúntale al profesor» de la asignatura encontrarás un nuevo tema específico para la organización de equipos donde el profesor explicará todos los detalles.

Una vez cerrado el equipo de trabajo os podéis poner en contacto a través de vuestras cuentas @comunidadunir.net y comenzar a trabajar. Puedes ampliar la información sobre el trabajo en equipo, consultando los [**Tutoriales de trabajo en grupo**](http://tv.unir.net/secciones/3967/4883/0/0/0/0/).

**IMPORTANTE:** Aquellos **estudiantes que no comiencen su trabajo dentro de los 7 primeros días**, contados a partir del día de inicio de la actividad, **quedarán** **excluidos** de la actividad, no pudiendo tomar parte en ella. Se trata de una actividad colaborativa, por lo que unos estudiantes no pueden beneficiarse del trabajo que hayan realizado sus compañeros.

**Entrega de la actividad grupal**

Al finalizar la actividad grupal, todos los miembros del equipo entregarán la misma actividad a través del apartado «Envío de actividades» del aula virtual. El documento a entregar debe ir nombrado así:

APELLIDO1\_APELLIDO2\_NOMBRE\_Titulo\_actividad (sin tildes ni apóstrofes ni ningún otro carácter que pudiera resultar conflictivo).

Todos los miembros del equipo deben hacer la entrega en el aula virtual y deben adjuntar el mismo documento.

Indica en la actividad el nombre de todos los componentes del equipo y cumplimenta la siguiente tabla de valoración individual:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Sí | No | A veces |
| Todos los miembros se han integrado al trabajo del grupo |  |  |  |
| Todos los miembros participan activamente |  |  |  |
| Todos los miembros respetan otras ideas aportadas |  |  |  |
| Todos los miembros participan en la elaboración del informe |  |  |  |
| Me he preocupado por realizar un trabajo cooperativo con mis compañeros |  |  |  |
| Señala si consideras que algún aspecto del trabajo en grupo no ha sido adecuado |  |  |  |