

Propiedades Corpusculares de la Radiación

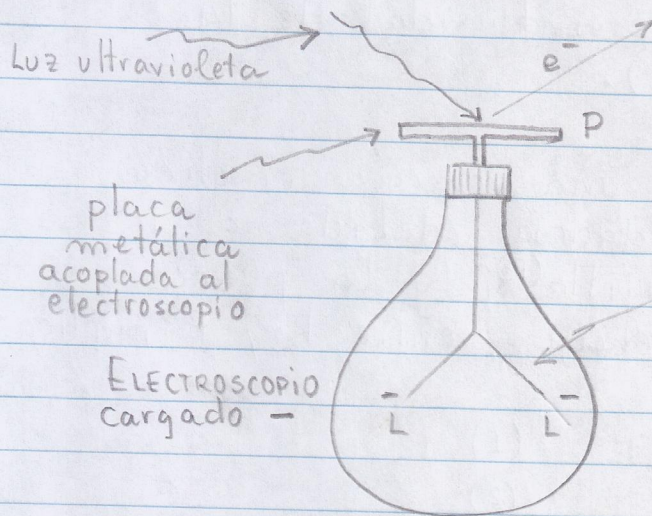
Efecto Fotoeléctrico

Planck pensaba que los cuantos o paquetes de energía $h\nu$ provenían solamente de transformaciones internas de los átomos (presentes en las paredes de una cavidad) que hacían que los átomos emitieran o absorbieran radiación en cantidades discretas, pero nunca pensó que estos paquetes de energía provenían de las propiedades de las ondas electromagnéticas.

Para él, a pesar de que la energía de un oscilador eléctrico tenía que ser dada a las ondas electromagnéticas en cantidades de energía discreta $h\nu$, las ondas electromagnéticas debían comportarse en la manera tradicional predicha por la teoría clásica de ondas.

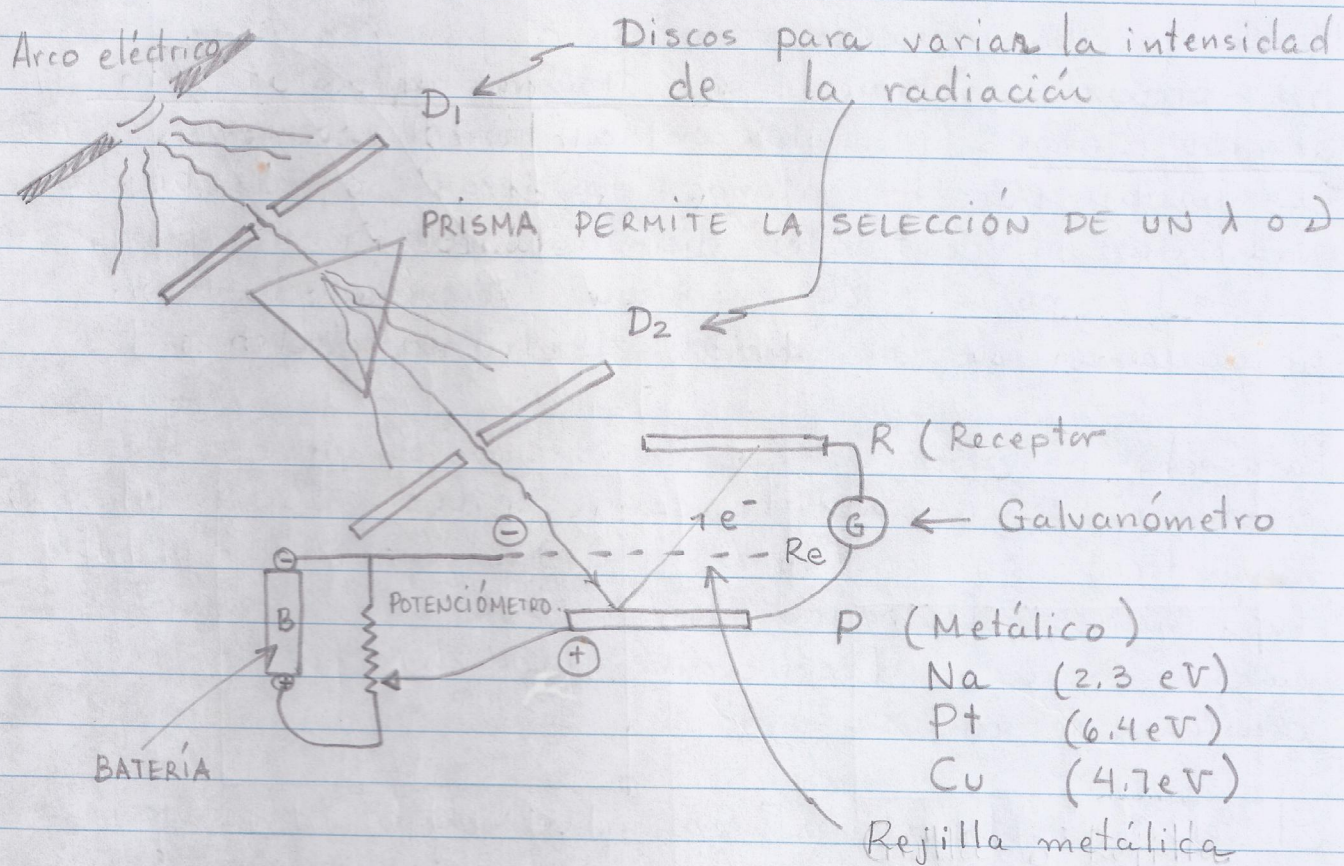
El efecto fotoeléctrico va a cambiar esta visión que se tenía sobre las ondas electromagnéticas.

Montaje primitivo para demostrar el efecto fotoeléctrico



A medida que salen los e^- por la placa P debido a la luz ultravioleta, se observa que las láminas L se acercan al disminuir su repulsión mutua hasta que colapsan.

Método "moderno" para el efecto fotoeléctrico



Con este arreglo experimental se puede medir el # de e^- emitidos desde P y su energía cinética en función de la intensidad de la luz y de su λ (o Δ).

Los e^- emitidos desde P con una energía cinética K_P sienten una fuerza retardadora debida a la d.d.p que \exists entre la rejilla (Re) y la placa metálica P. Balance de energía entre Re y P implica

$$K_P + U_P = K_{Re} + U_{Re} \quad (1)$$

$$K_P + qV_P = K_{Re} + qV_{Re} \quad (2)$$

$$\perp K_P = q(V_{Re} - V_P) + K_{Re} \quad (3)$$

Si el apto. es un "tubo" o sistema al vacío

$$K_{Re} = K_R \quad (4)$$

$$K_p = -e(-\overbrace{(V_p - V_{re})}^V) + K_R$$

$$K_p = eV + K_R \quad (4) \quad V = \text{d.d.p. entre P y R.}$$

$K_R = K$ de llegada al plato metálico receptor R

$K_p = K$ de salida del plato metálico P

Mientras $K_R > 0$, el galvanómetro G indicará corriente porque bajo esta condición llegan fotoelectrones a R.

Los e^- que salen de P tienen una distribución de K_p , es decir que salen con distintas energías cinéticas.

Sup. que la K_p máxima es denotada por K_{max}

La correspondiente energía en R será

$$K_R^{max} = K_{max} - eV \quad (5)$$

Todas las demás energías cinéticas ^{de fotoelect. que llegan a} en R ^{serán} menores que el valor de (5).

Si ajustamos V de forma que $K_R^{max} = 0$, entonces ningún fotoelectrón llegará a la placa. (Ni siquiera los más rápidos que salen de P).

De esta forma, la condición de no medir corriente en G está dada por

$$K_R^{max} = 0 \Rightarrow K_{max} = eV_0 \quad (6)$$

donde $V_0 = \text{d.d.p. de extinción o potencial de extinción necesario para que G no registre corriente}$

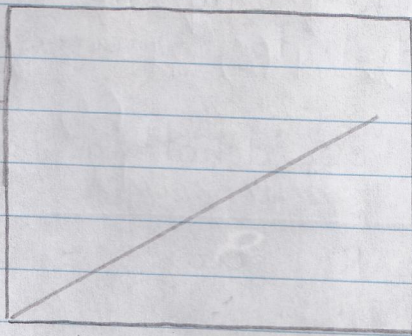
De esta forma, midiendo V_0 (con un voltímetro) podemos determinar K_{max} .

El estudio del efecto fotoeléctrico usando distintos platos metálicos arrojó los siguientes resultados:

A) Para luz de una determinada λ , la energía cinética de los fotoelectrones emitidos desde P (K_{max} y todas las $K < K_{max}$) permanece constante si se varía la intensidad de la luz.

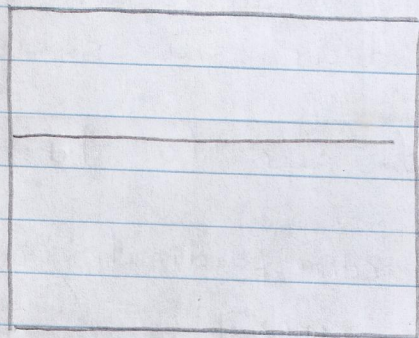
El # de fotoelectrones emitidos es linealmente proporcional a la intensidad de la luz.

Corriente fotoeléctrica



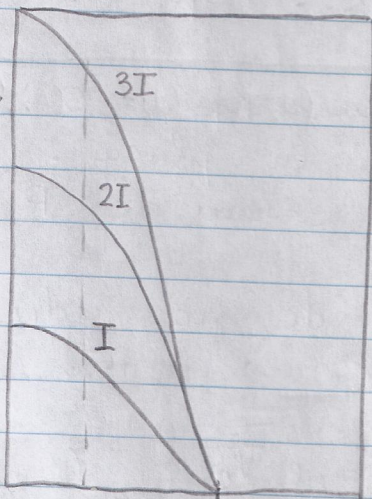
Intensidad de la luz

K_{max}



Intensidad de luz

Corriente fotoeléctrica



$I =$ Intensidad de la luz

V_0

$V \leftarrow$ potencial retardador

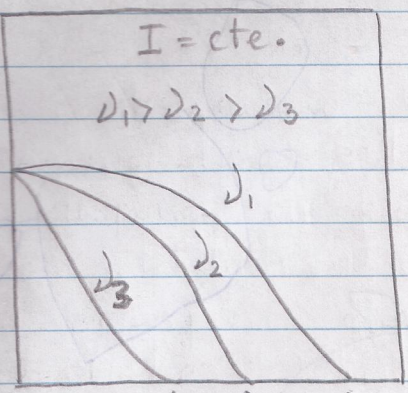
La teoría electromagnética clásica predice que a mayor intensidad, de la luz ($\propto E^2 = (\text{Campo eléctrico})^2$) los fotoelectrones deberían ser emitidos con mayor energía cinética puesto que el E y B actuando sobre ellos sería mucho mayor. Eso no se observa.

B) Si se varía la frecuencia de la luz ν , no había emisión se fotoelectrones hasta que ν esté por arriba de una frecuencia ν_0 denominada frecuencia de corte la cual es diferente para distintos metales.

(manteniendo I constante)

Por arriba de esta frecuencia ν_0 , la energía cinética de los electrones emitidos desde P varía desde 0 hasta un valor máximo K_{\max} que aumenta linealmente al aumentar la frecuencia de la luz.

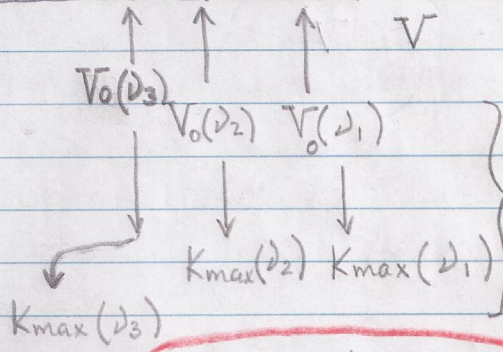
Corriente fotoelect.



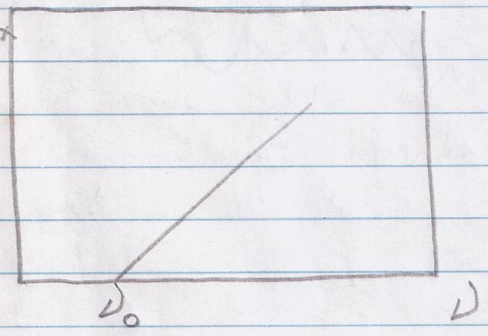
Para tres superficies metálicas

=>

para un metal

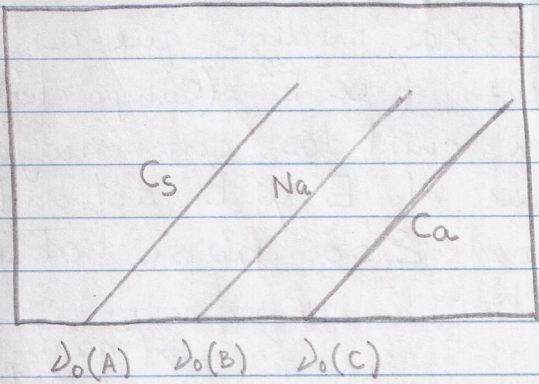


K_max



K_max varía con nu

K_max



Para distintos metales

función trabajo

- Cs → 1.9 eV
- Na → 2.3 eV
- Ca → 3.2 eV

La teoría clásica no contemplaba dependencia de la energía cinética de los e⁻ emitidos en P con la frecuencia de la luz que ilumina el metal.

c) Se observa que dentro de una precisión experimental en tiempo de 10^{-9} s, no hay prácticamente demora entre el tiempo al que llega la luz a la superficie metálica y la emisión de fotoelectrones.

Según la teoría clásica, ya que la energía de la onda está repartida en el frente de ondas, debería pasar un tiempo para que un e^- del metal acumulara algunos eV de energía para poder salir del metal.

Para el caso de una superficie de Na con grosor de 1 átomo y de 1m^2 , iluminada con luz apropiada de intensidad 10^{-6}W/m^2 , se observa corriente fotoeléctrica instantáneamente. Sin embargo, el cálculo clásico implica que deberían pasar 43 días para que un e^- fuese emitido.

Teoría de Einstein (1905)

- ✓ La energía de la luz no está distribuida en los frentes de ondas sino que "está concentrada" en pequeños paquetes denominados fotones.
- ✓ Cada fotón de luz de frecuencia ν tiene energía $h\nu$ donde h es la constante de Planck.

Con esto Einstein implicaba que la energía no solamente era dada a las ondas electromagnéticas en forma discreta (cuantos de energía) sino que también las ondas electromagnéticas transportaban (depositaban) energía en forma discreta. Las tres observaciones experimentales esgrimidas anteriormente (A), (B) y (C) pueden entonces ser entendidas con la teoría de Einstein.

Para la observación C), ya que la energía electromagnética está concentrada en un fotón y no dispersa en frentes de onda, no debería haber retardo entre la llegada de la luz a la superficie metálica y la emisión de fotoelectrones.

Para la observación B, mientras más alta es la frecuencia de la luz ν mayor es K_{max} y por consiguiente todos los valores de K .

Para la observación A, aumentando la intensidad de la luz lo único que aumenta es el # de fotones por unidad de tiempo por unidad de área que tocan la superficie, por lo tanto aumentará la corriente fotoeléctrica producida pero no la energía cinética de los fotoelectrones.

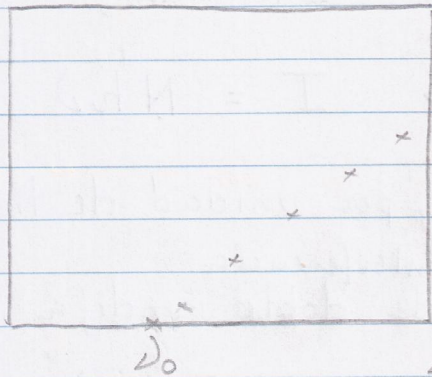
Según Einstein, el efecto fotoeléctrico en un metal dado debe obedecer la ecuación

$$h\nu = K_{max} + \phi \quad (7)$$

donde $h\nu$ = energía del fotón incidente
 K_{max} = energía cinética máxima de fotoelectrón emitido desde P
 ϕ = mínima energía necesaria para extraer a un e^- de un metal (función trabajo)

Ya que el resultado experimental daba una recta como la que se muestra

K_{max}



$$\Rightarrow K_{max} = cte(\nu - \nu_0) \quad (8)$$

$$(7) \text{ y } (8) \Rightarrow K_{max} = cte \nu - cte \nu_0$$

$$K_{max} = h\nu - \phi$$

\Rightarrow la pendiente de la recta observada arriba debiera ser igual a la constante de Planck lo cual se comprueba. De esta forma queda que

$$K_{max} = h\nu - \phi \quad (9)$$

$$\text{y } \phi = h\nu_0 \equiv \text{función trabajo}$$

$$\nu_0 \equiv \text{frecuencia de corte}$$

El visible se entiende desde $\nu = 4.3 \times 10^{14}$ hasta 7.5×10^{14} Hz que corresponde a $\phi = 1.7$ a 3.3 eV.

Elemento

ϕ (eV)

Cs

1.9

K

2.2

Na

2.3

Li

2.5

Ca

3.2

Cu

4.7

\Rightarrow Efecto fotoeléctrico se produce en el visible y ultravioleta

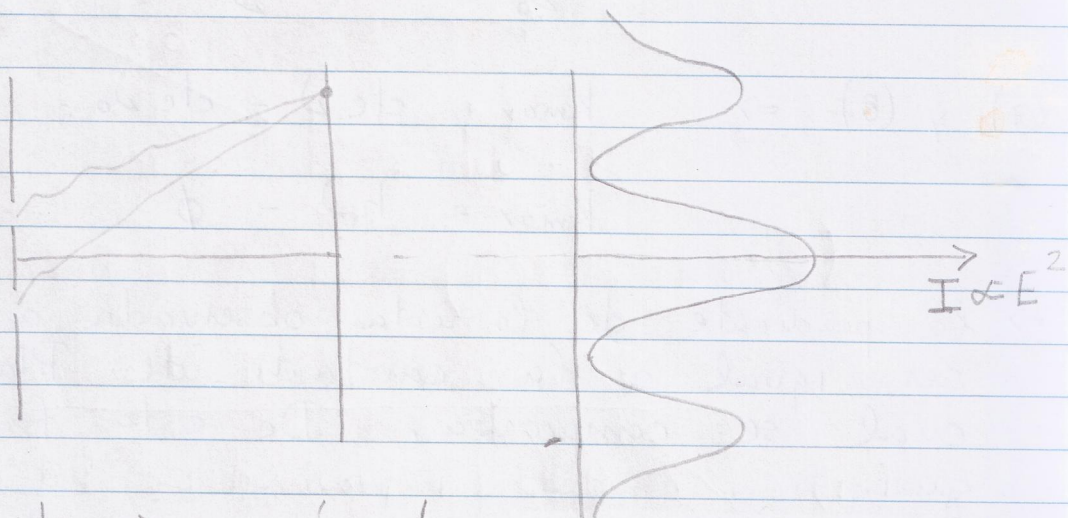
¿Qué es la luz? Onda o partícula

Modelo ondulatorio \Rightarrow Intensidad $\propto E^2$ (10)

Modelo corpuscular $\Rightarrow I = N h \nu$ (11)

donde $N = \#$ fotones por unidad de tiempo y de área.

En el experimento¹ de doble rendija de Young ^{de interferencia}



Si N es grande \Rightarrow se veía el patrón de interferencia

Si N es pequeño veíamos "flashés" ocurriendo en cada punto donde el fotón golpea la pantalla y si nos mantuviéramos viendo donde "caen" los flashés observaríamos que siguen la misma distribución de Intensidad del patrón de interferencia. La única diferencia entre N pequeño y grande sería que para N pequeño se hace más evidente la naturaleza cuántica de la deposición de energía.

$\Rightarrow N \propto E^2$ (12)

La amplitud de la onda electromagnética en un

lugar del espacio nos dañe la probabilidad de ocurrencia de un fotón en ese punto y una vez que el fotón llega a ese punto del espacio (pantalla) depositaría su energía $h\nu$ como una partícula.

La teoría ondulatoria y cuántica (corpuscular) de la luz se complementan. Cada teoría solo puede explicar una realidad parcial de la naturaleza de la luz.

La luz viaja como una onda y deposita o absorbe energía como una serie de partículas.