

Ondas ou corpusculos?

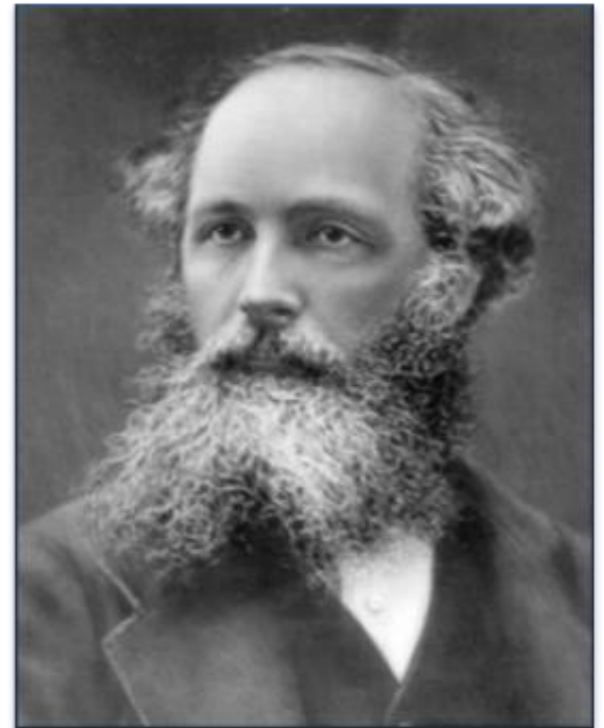
Dualidade onda-corpusculo

1. Radiação do corpo negro
2. Hipotese de Planck
3. Efeito fotoelétrico
4. Efeito Compton

Radiación do corpo negro

Modelo eletromagnético da luz e da radiación

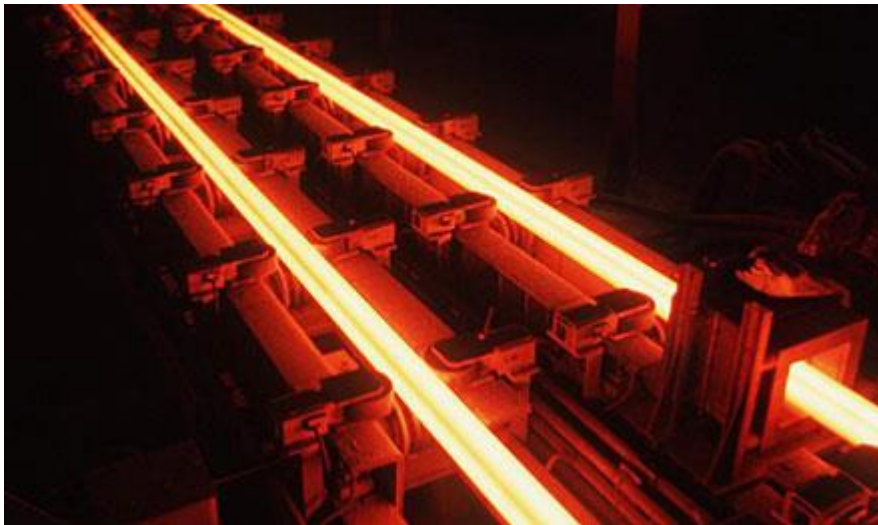
- No 1865 as ecuacións de James Clerk Maxwell establecían que a luz era unha onda eletromagnética.
- Na teoría eletromagnética de Maxwell establecíase que a enerxía dunha radiación non dependía da súa frecuencia



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Radiación do corpo negro

Mais sabía-se que calquera corpo quente emite luz



Radiación do corpo negro

Ademais , sabía-se dende había moito tempo que a cor da luz emitida depende da temperatura

Guía del alfarero

480 °C -> Débil resplandor rojo

580 °C -> Rojo oscuro

730 °C -> Rojo guindado

930 °C -> Anaranjado brillante

1100 °C -> Anaranjado con amarillo pálido

1300 °C -> Blanco amarillento

1400 °C -> Blanco

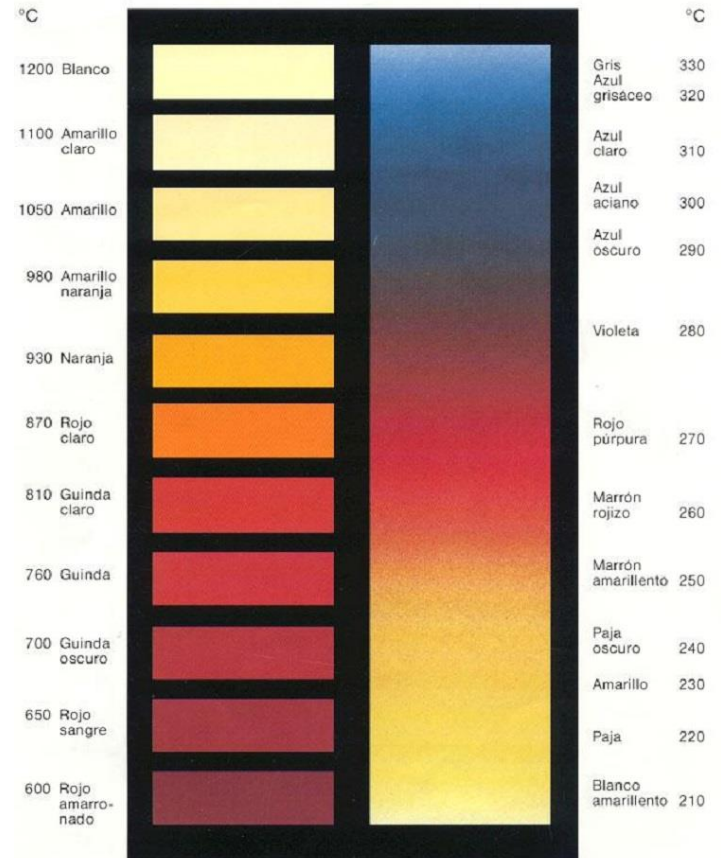
GUIA DE TEMPERATURA

Colores de forjado y templado

El ACERO debe ser observado en una habitación oscura o tenuemente iluminada y no debe ser expuesto a la luz directa. La CARTA de temperaturas debe ser observado en luz natural difusa y no en luz solar o luz artificial.

Colores de revenido para aceros no aleados y de baja aleación

Esta carta de colores es aplicable a un tiempo de revenido de aproximadamente 30 minutos. Los colores se pueden observar mejor en una superficie pulida de acero.



Radiación do corpo negro

- As temperaturas, relativamente, baixas proporcionan luz de cores e tonos alaranxados ou vermellos.
- As temperaturas altas dan lugar á emisión de luz amarela ou mesmo branca.
- Este problema coñecía-se como o problema da emisión do corpo negro.

Radiación do corpo negro: qué é un corpo negro?

- É un corpo ideal que é quen de absorber ou emitir toda a radiación que incide sobre el.
- Ningún corpo real absorve ou irradia radiación como un corpo negro ideal.
- As superficies do Sol ou a Terra, comportan-se de xeito moi semellante a un corpo negro.

Radiación do corpo negro: como é un corpo negro?

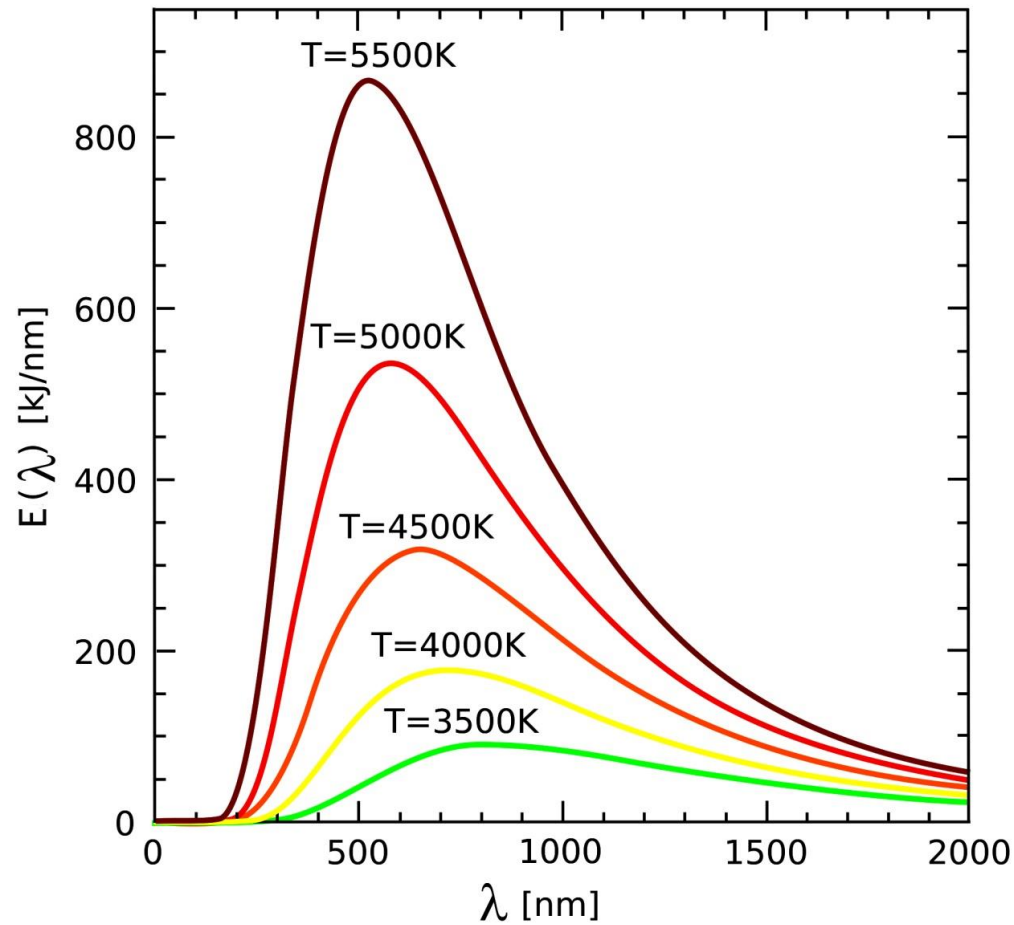
Como funciona?



Como é?



Espetro de emisión do corpo negro



Explicando o espectro de emisión do corpo negro: Lei de Wien

- Wilhelm Wien (1864-1928) encontra unha ecuación:

$$\lambda_{Máxima} = \frac{0,0028976 \text{ m}\cdot\text{K}}{T}$$

- Ou sexa que :

$$\lambda \cdot T = \text{constante} = C_1$$

- De acordo co modelo de ondas:

$$c = \lambda \cdot \nu \rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$$

- Ademais: $E_c = 3 \cdot k \cdot T$,
onde k é a constante de Boltzman.

- Combinando todo: $E_c = 3 \cdot k \cdot \frac{\nu}{c} \cdot C_1 \rightarrow E_c \propto \nu$

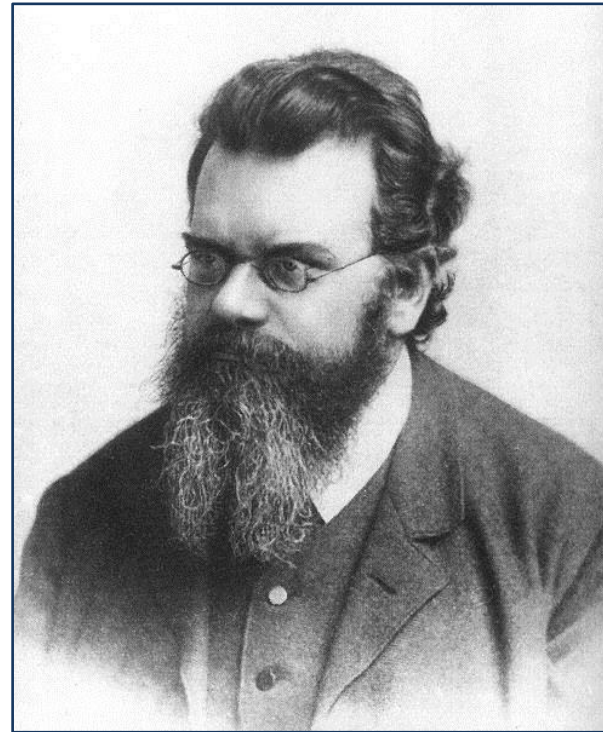


Explicando o espectro de emissão do corpo negro: Lei de Stefan-Boltzman

$$E = \sigma \cdot T_{efetiva}^4 \quad , \sigma \cong 5,670400 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot k^4}$$



Josef Stefan
(1835-1893)



Ludwig Boltzmann
(1844-1906)

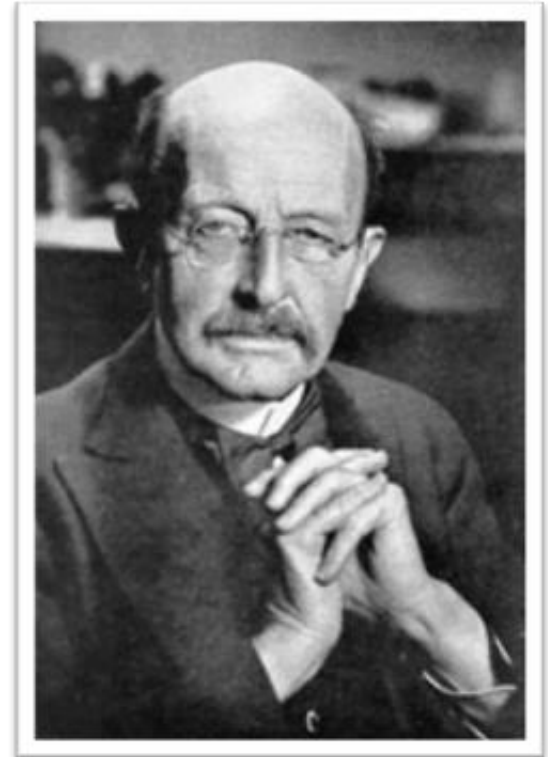
Explicando o espectro de emisión do corpo negro: hipotese de Planck

A radiación dentro da cavidade do corpo negro está en equilibrio cos átomos das paredes que se comportan como osciladores armónicos de frecuencia dada ν .

- 1.-A enerxía da radiación emitida é directamente proporcional á frecuencia.
- 2.-A enerxía absorvida ou emitida nunha radiación está cuantizada.

$$E = h \cdot \nu$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



Max Planck
(1858-1947)

O efeito fotoelétrico (ver vídeo 1)

- <https://youtu.be/xyPBaEXIvc8>

O efeito fotoelétrico (ver vídeo 2)

- <https://youtu.be/fD-H6ZhJMw>

O efeito fotoelétrico (ver vídeo 3)

- <https://youtu.be/QjElgdCKKAE>

O efecto fotoeléctrico: a solución de Einstein

Albert Einstein en 1905 aplica á luz as ideas de Planck.

- A luz propága-se polo espazo transportando enerxía en “cuantos” ou “paquetes” discretos de luz que denominou fotóns.
- A enerxía do fotón, ven dada pola expresión de Planck:
$$E = h \cdot \nu$$
- Segundo esta perspectiva a intensidade da luz depende do número de fotóns, poren a enerxía de cada fotón, só depende da frecuencia.
- O fotón ao incidir sobre o metal, provoca a emisión dos electróns polo metal.
- Para conseguir tal obxectivo, o fotón debe acadar un valor de enerxía mínimo (enerxía limiar ou traballo de extracción)

O efecto fotoeléctrico: a solución de Einstein

1.-Para un metal : $W_{extracción} = \Phi = h \cdot \nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$

Nesta expresión, ν_0 é a frecuencia limiar e λ_0 a lonxitude de onda limiar, que son carateristicos de cada metal.

2.-Se incide un fotón de enerxía: $E = h \cdot \nu$ unha parte da enerxía empregará-se en extraer o electrón e o resto investirá-se en proporcionarlle a este, enerxía cinética. Ou sexa que:

$$E = \Phi + E_{cinética\ do\ electrón}$$

e tamén: $h \cdot \nu = h \cdot \nu_0 + \frac{1}{2} \cdot m_{electrón} \cdot v^2$

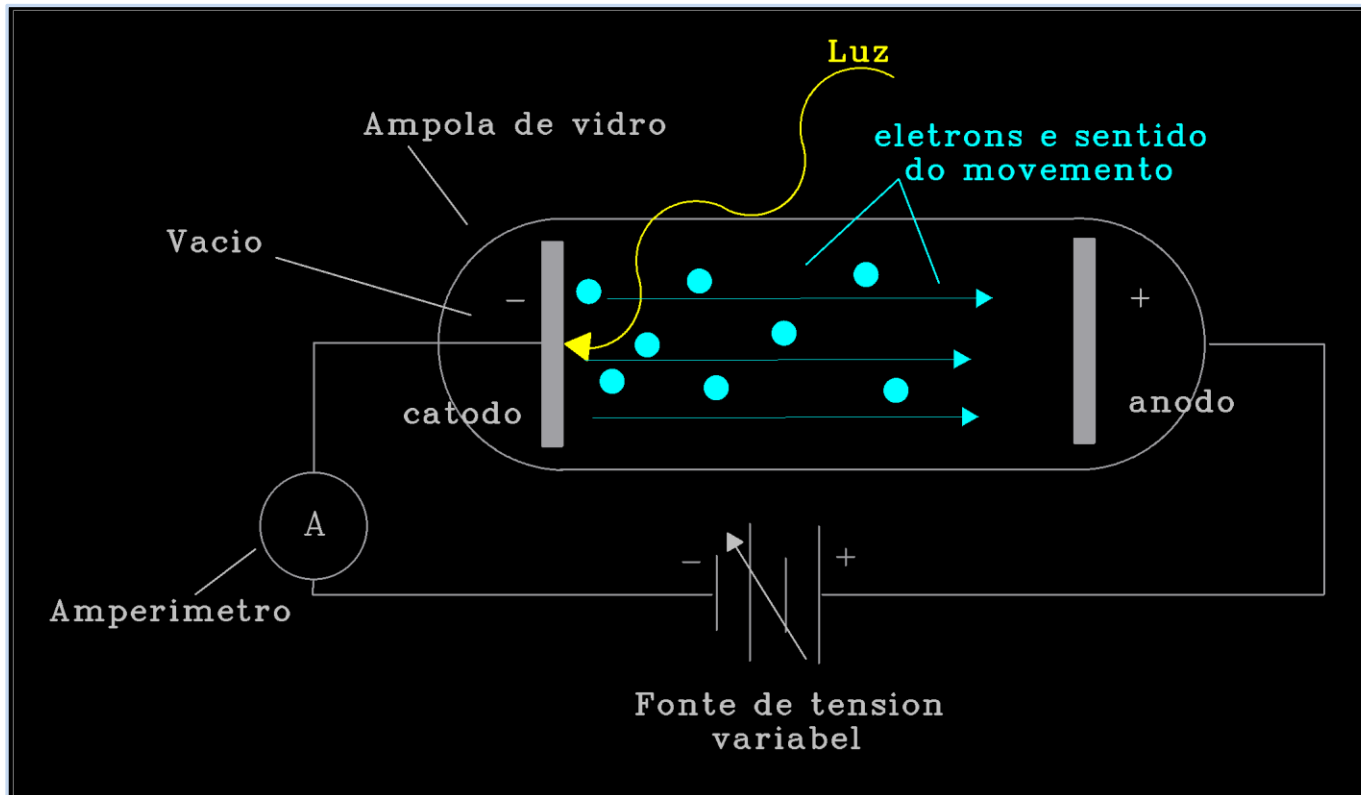
Que tamén podemos escribir:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} + \frac{1}{2} \cdot m_{electrón} \cdot v^2$$

O efecto fotoelétrico: a célula fotoeletrica

Tráta-se dunha ampola de vidro co interior sometido a vacío e que consta de:

- Un cátodo conetado ao polo negativo e fabricado cun metal fotoemisor (por exemplo cinc)
- Un ánodo conetado ao polo positivo.
- Un circuío externo con amperímetro e unha fonte de voltaxe variábel.

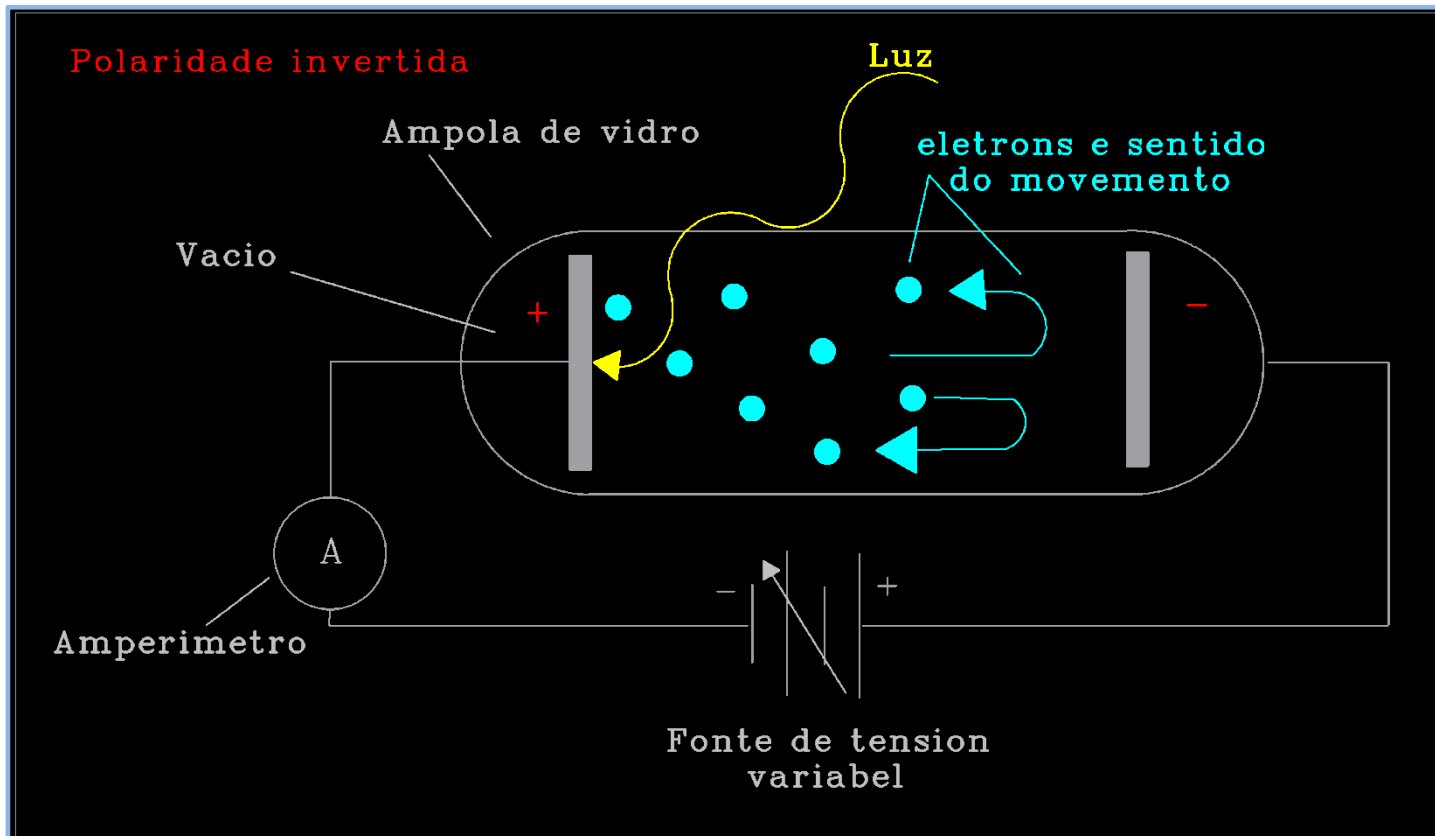


Cómo funciona?

Ao incidir a luz sobre o cátodo, os electróns emitidos, coa enerxía cinética gañada, saltan ata o ánodo dando lugar a unha corrente eléctrica que deteta o amperímetro

O efeito fotoelétrico: a célula fotoeletrica

Se invertimos a polaridade os eletróns invirten o seu movimento interrompindose a corrente. Este potencial recebe o nome de potencial de corte, de detención ou de frenado.



O efecto fotoeléctrico: a célula fotoeletrica

- Cando a luz chega ao cátodo coa frecuencia axeitada:

$$E = \phi + E_{c.inicial \text{ do electrón}}$$

e tamén:

$$h \cdot \nu = h \cdot \nu_0 + \frac{1}{2} m_{\text{electrón}} \cdot v_{\text{inicial electrón}}^2$$

- Se aplicamos unha certa diferenza de potencial:

$$q \cdot \Delta V = E_{c.final} - E_{c.inicial}$$

- Se invertimos o potencial enton: $E_{c.final} = 0$

e enton:

$$q \cdot \Delta V_{\text{corte}} = E_{c.inicial} = E - \phi$$

O efecto fotoeléctrico: a célula fotoeletrica

1.-Podes descargar un simulador en:

- [https://phet.colorado.edu/gl/simulation/photoelectric.](https://phet.colorado.edu/gl/simulation/photoelectric)

2.-Precisarás Java que podes descargar gratuitamente en:

- <https://www.java.com/es/download/>

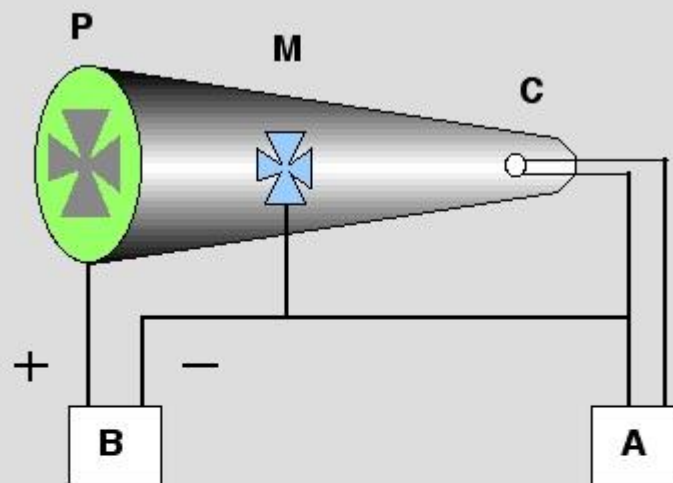
O efecto Compton: a orixe dos raios X

A) Os raios X son radiacións análogas ás da luz mais de lonxitude de onda moito menor, de orde de 0,1 nm.

B) Foron descubertos por Wilhelm Röntgen (1845-1923) cando traballaba cun tubo de Crookes.

C) Basicamente funciona así:

- 1.- Por efecto termoiónico, o cátodo quente (C) emite electróns.
- 2.- Os electróns aceleranse con potenciais da orde de 30 a 50 000 V.
- 3.- Os electróns acelerados, chocan co ánodo (tamén chamado anticátodo) como resultado liberanse os raios X.
- 4.- Esta radiación detéctase porque impresiona as placas fotográficas.



A fonte de baixo voltaxe (A) está conetada ao cátodo quente (C) mentres que a fonte de alto voltaxe (B) aporta enerxía ao ánodo revestido de fósforo (P). A máscara (M) conetase ao potencial do cátodo e a súa imaxe visualízase no fósforo como área sen iluminar. Este tubo pode ser construído sen a fonte A.

O efecto Compton: as características dos raios X

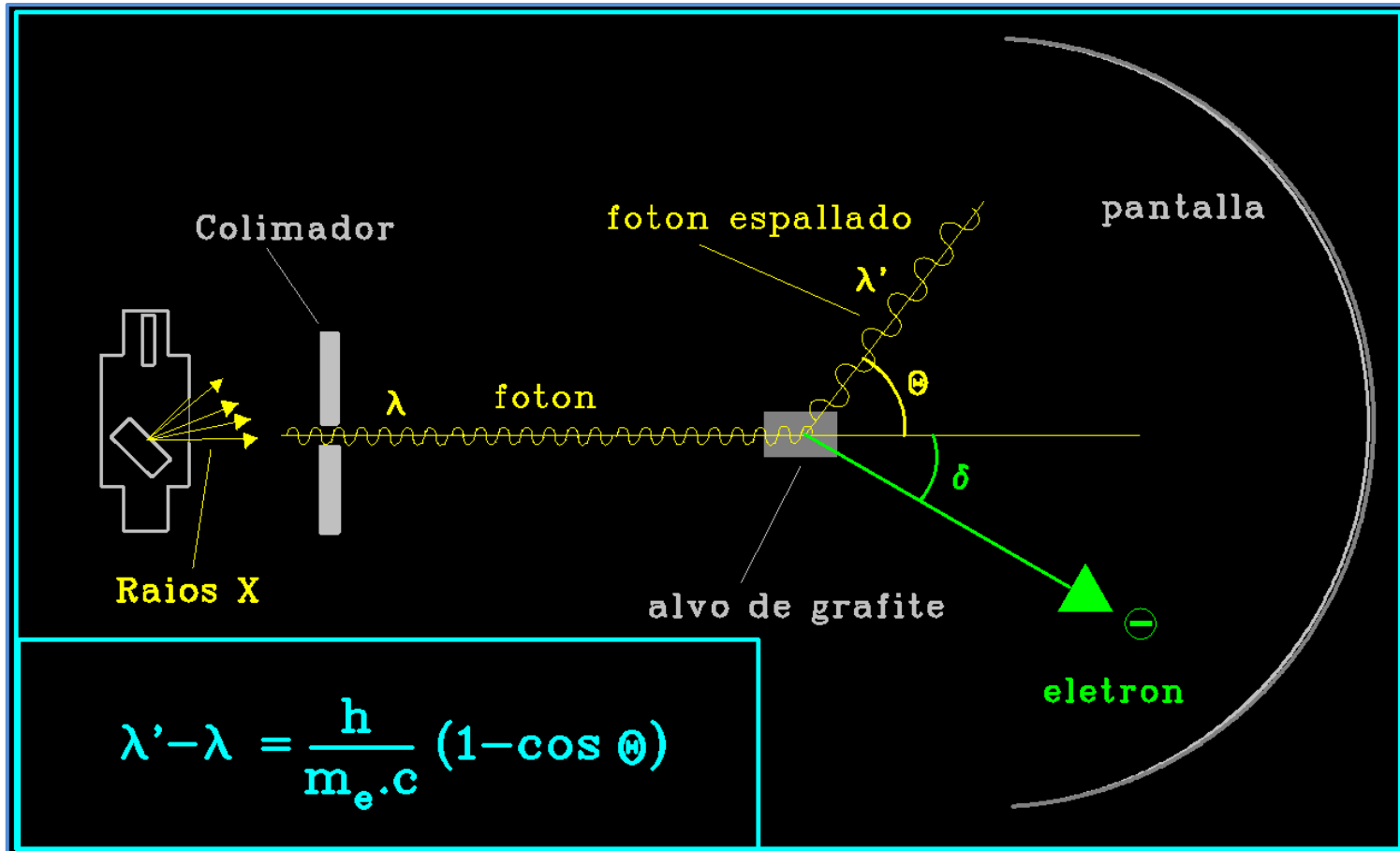
- Ao chocar o feixe de electróns contra o anticátodo, aqueles con suficiente enerxía cinética arrancan electróns de distintas capas. Estes electróns teñen tendencia a voltar aos estados de menor enerxía na capa K. Os que “caen” a ese orbital producen os raios X.
- Os raios X:
 1. Non son desviados por campos eletromagnéticos, é dicir, non teñen carga.
 2. A súa velocidade é a da luz (son O.E.M)
 3. Alto poder de penetración.
 4. Provocan fluorescencia en moitas substancias.
 5. Ionizan os gases
 6. Atacan os tecidos humanos. Este efeto lesivo xa fora anunciado por Tesla.



Radiografía da man de Albert von Kolliker feita polo propio Röntgen No ano 1896

O efecto Compton

Sabíase que no grafito, os raios X ao impatar, cambiaban a súa frecuencia perdendo enerxía. Arthur Compton estuda o espallamento dos raios X no grafito e aplicando a conservación da cantidade de movemento con calculo relativista encontra a expresión que resolve dito fenómeno.



O efecto Compton

1. O fotón ten enerxía ($E = h \cdot \nu$) e cantidade de movemento ($p = \frac{h}{\lambda}$). Vexamos. De acordo con Einstein: $E = m \cdot c^2$ e por outra parte de acordo con Planck: $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$, e igualando queda:
$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = m \cdot c^2 \rightarrow \frac{h}{\lambda} = m \cdot c$$
, como a cantidade de movemento é:
 $p = m \cdot v$, enton para o fotón acontece que:

$$\mathbf{p} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{cantidade de movemento do fotón}$$


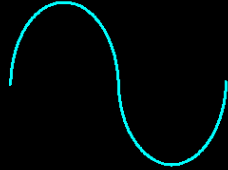
2. O fotón incidente representa a enerxía e cantidade de movemento absorvidos polo electrón. O fotón espallado representa a enerxía e a cantidade de movemento que o electrón emite logo de ser excitado pola enerxía incidente.
3. Todo acontece como nun choque de partículas, de dúas esferas.
4. A radiación incidente comporta-se como se estivera formada por partículas ("fotón") que en repouso teñen masa cero.

Ondas ou partículas? Hipotese de De Broglie

Louis de Broglie (1892-1987) en 1924 propon a súa hipotese para un “novo entendemento da materia” que podemos resumir en:

1. O Universo coñecido está formado por ondas e partículas.
2. As radiacións, ondas eletromagnéticas, teñen un duplo comportamento: ondulatorio e corpuscular.
3. Analogamente, a materia tamén ten unha dobre natureza: corpuscular e ondulatoria.

Hipoteses de De Broglie

| Particula  | Onda  |
|---|--|
| Energia: $E=m \cdot c^2$ | Frecuencia: f |
| Cantidad de movimiento: $p=m \cdot v$ | Longitud de onda: λ |
| | $f = \frac{c}{\lambda}$ |
| | $E = h \cdot f$ (Planck) |
| | $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ |

*Para un fotón se igualamos las expresiones: $E = m \cdot c^2$ e $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ obtenemos:

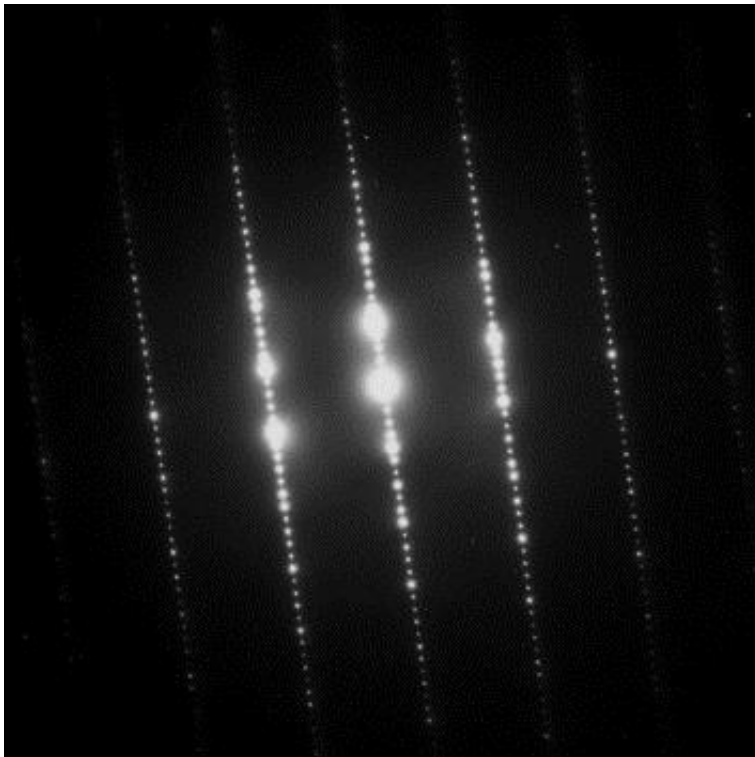
$$m \cdot c^2 = h \cdot \frac{c}{\lambda} \rightarrow m \cdot c = \frac{h}{\lambda} \rightarrow \boxed{p_{\text{fotón}} = \frac{h}{\lambda}}$$

*Para cualquier partícula: $m \cdot v = \frac{h}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ una partícula en movimiento
tiene asociada una onda de

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{m \cdot v}}$$

Natureza ondulatoria da materia: difracción de electróns

A proba experimental da hipótese de de Broglie foi conseguir a difracción dos electróns que lograron hacia 1930 George Paget Thomson dunha banda, e por outra Clinton Joseph Davisson e Lester Halbert Germer.



Patrón de difracción de electróns obtido nun microscopio electrónico de transmisión

Principio de incerteza de Heisenberg

Imos realizar un experimento mental.

1.-Supoñamos un electrón que se move con velocidade \vec{v} . Queremos determinar a súa posición x (supoñamos só unha dimensión). Daquela, para “ver” ao electrón precisaremos iluminar á partícula cun fotón de moi pequena lonxitude de onda (e polo tanto de grande frecuencia e polo tanto de grande enerxía). Precisaremos raios X para ver o electrón. Pero enton acontecerá o espallamento de Compton. En termos de cantidade de movemento:

$$p_{\text{fotón}} = \frac{h}{\lambda_{\text{fotón}}} \text{ e como : } p_{\text{fotón incidente}} = p_{\text{electrón}} + p_{\text{fotón espallado}}$$

O que acontece é que cambiamos a cantidade de movemento do electrón. Resumindo, “vemos” o electrón pero non sabemos nada da súa velocidade.

2.-Canto máis reduzamos a λ do fotón incidente para coñecer “con máis precisión” a posición do electrón, aumentará a interacción de Compton e saberemos menos da súa velocidade (cantidade de movemento)

3.-Se chamamos Δx : *incertidume na determinación da posición* e chamamos Δp : *incertidume na determinación da cantidade de movemento* cúmplese que:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$