<u>Ondas ou corpúsculos?</u>

1ª parte

Para a resolución deste grupo de exercicios só precisas ter leído a parte inicial do tema ate a expresión de Planck

<u>Exercicio nº 11 :</u>

Os fotóns da luz correspondentes aos valores limiares da visión humana corresponden á luz vermella de 760 nm e á luz azul de 380 nm. Calcula a enerxía de ditos fotóns.

$\lambda_1 = 760\ nm$, $E_1 = h \cdot \nu_1, e\ como\ \ c = \lambda_1 \cdot \nu_1 , enton\ podemos\ obter: E_1 = h \cdot \frac{c}{\lambda_1}$

E agora só compre sustituír:

$$E_1 = 6{,}63.10^{-34} J \cdot s \cdot \frac{3 \cdot 10^8 m.s^{-1}}{760 \cdot 10^{-9} m} = 2{,}617 \cdot 10^{-19} J$$

Normalmente preferimos usar como unidade de enerxía o eletrónvolt (eV).

Defíne-se o eV como a enerxía que obten un eletrón cando é sometido a unha diferenza de potencial de 1 voltio:

$$E = q \cdot \Delta V = 1{,}602 \cdot 10^{-19} C \cdot 1V = 1{,}602 \cdot 10^{-19} J = 1\ eV$$

Agora expresamos a enerxía calculada en eV:

$$2{,}617 \cdot 10^{-19} J \cdot \frac{1\ eV}{1{,}602 \cdot 10^{-19} J} = 1{,}63\ eV$$

Agora tes que calcular a enerxía correspondente ao fotón azul no que:

$\lambda_2 = 380\ nm$

Veña que os pasos son os mesmos:

<u>Exercicio nº12</u>:

O Sol pode ser considerado como un corpo negro que emite a 5 800 K.
a) Determina a enerxía emitida por tempo e unidade de superficie.
b) A que lonxitude de onda a emisión de enerxía é máxima?

T=5 800 K

a) De acordo coa Lei de Stefan-Boltzman resulta que:

$$E = \sigma \cdot T_{efetiva}^{4} = 5{,}6704 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot (5\,800 K)^4 = 64\,169\ \frac{W}{m^2}$$

Este resultado pode ser lido en termos de enerxía tendo en conta que 1W=1J/s

Ou sexa que o resultado é: $64\,169\ \frac{J}{s \cdot m^2}$

b) Para calcular a lonxitude de onda máxima, temos que recorrer á Lei de Wien:

$$\lambda_{máxima} = \frac{0{,}0028976\, m \cdot K}{T\ (K)} = \frac{0{,}0028976\, m \cdot K}{5\,800\ K} = 4{,}99 \cdot 10^{-7} m$$

Este resultado queda moito mellor expresado en **nm**.

Como **1m=10^{9}nm** resulta que aproximadamente o resultado é de **500 nm**.

<u>Exercicio nº 13</u>

Para o Sol a lonxitude de onda correspondente ao máximo de enerxía é 500 nm e para a Estrela Polar 350 nm. Compara a temperatura superficial das duas estrelas. (Solucións: 5 792 K e 8 274 K)

Este é un exercicio moi interesante. Fíxate que coñecemos as lonxitudes de onda máximos das dúas estrelas. Con elas e a Lei de Wien podes calcular a temperatura na superficie. Veña, cousa doada (e tes as solucións)

Fíxate que o sistema (medir a lonxitude de onda da luz que procede das estrelas) permite calcular a temperatura na súa superficie. Como podes entender isto foi unha revolución para o coñecemento do Universo e a propia “vida” das estrelas.

Se queres agora empregando a Lei de Stefan-Bolzman podes calcular a enerxía. Faino.

Ondas ou corpúsculos?

2ª parte

Para a resolución deste grupo de exercicios precisas ter leído a parte do tema adicada ao efeito fotoelétrico, a ecuación de Einstein e se tes praticado co simulador pois mellor.

Exercicio nº16

Un metal ten unha lonxitude de onda limiar de 500 nm. Sobre el incide unha radiación de λ=390 nm. Calcula o traballo de extración dese metal, a enerxía cinética máxima dos fotoeletróns emitidos e o potencial de frenado.

a)Tráta-se dun metal con lonxitude de onda limiar de 500 nm. Imos calcular o traballo de extración:

De acordo coa expresión de Planck: $\boldsymbol{E = h \cdot \nu}$ que aplicada ao traballo de extración: $\phi = W_0 = h \cdot \nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} = 6{,}63.10^{-34} J \cdot s \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \frac{m}{s}}{500 \cdot 10^{-9} m} = \mathbf{3{,}978 \cdot 10^{-19} J}$

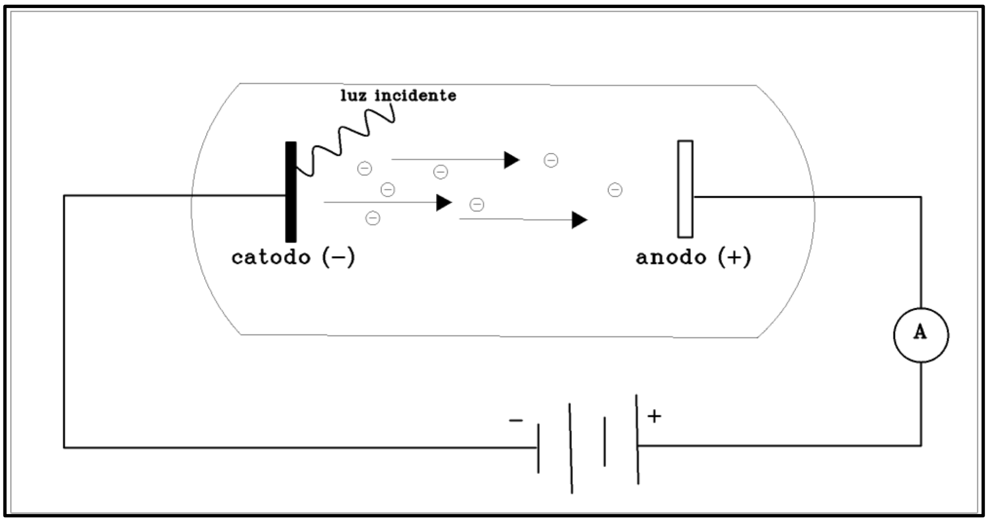
Podemos expresar o anterior resultado en **eV** (aínda que imos ter que seguir calculando en unidades S.I) e obtemos: **2,48 eV**.

b)A luz que incide no cátodo de metal ten unha lonxitude de onda de 390 nm

Imos calcular a súa enerxía:

$$E = W = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6{,}63.10^{-34} J \cdot s \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \frac{m}{s}}{390 \cdot 10^{-9} m} = 5{,}1 \cdot 10^{-19} J$$

Como vedes a enerxía dos fotóns é suficiente para arrincar os eletróns e proporcionarlles enerxía cinética:



Aplicamos a ecuación de Einstein:

$$\boldsymbol{E = W_0 + Ec}$$

De onde obtemos que:

$$Ec = (5{,}1 \cdot 10^{-19} - 3{,}978 \cdot 10^{-19})J = \mathbf{1{,}122 \cdot 10^{-19}}\boldsymbol{J}$$

Esta vai ser a enerxía cinética con que son emitidos os eletróns.

Observa que basicamente a ecuación de Einstein non é máis que o principio de conservación da enerxía: a enerxía incidente (a da luz) é igual á suma da enerxía precisa para arrincar o eletrón máis a enerxía cinética proporcionada.

Poderíamos calcular a velocidade pois : $Ec = \frac{1}{2} \cdot m_{eletrón} \cdot v^2$

Calcula esa velocidade:

c) Agora calcularemos o potencial de corte. Recorda que o potencial de corte é o potencial que temos que aplicar para que o eletrón chegue con velocidade cero (0) ao seu destino.

Se aplicamos certo potencial positivo, a enerxía cinética de chegada ao ánodo será maior que a enerxía cinética coa que sae do cátodo:

$$q \cdot \Delta V = Ec_{chegada} - Ec_{partida}$$

Observa que a Ec de partida xa a temos calculada: Ec=1,122.10^{-19}J.

O potencial de corte é o potencial preciso para que a Ec de chegada sexa cero (0), e polo tanto:

$$q \cdot \Delta V = -1{,}122.\,10^{-19} J$$

Atención1

Non temos problemas co signo porque **q=-1,602.10^{-19}C** (por outra banda xa vimos co simulador que o potencial invirte-se).

O resultado vai ser de **0,7 V**.

Comproba-o.

<u>Exercicio nº 17</u>

Un metal apresenta unha frecuencia limiar de $2{,}5.10^{14}$ Hz. Sobre el incide unha radiación de lonxitude de onda 2.10^{-7} m. Calcula:
a) A función traballo do metal. (Solución: $1{,}66.10^{-19}$ J)
b) A enerxía cinética máxima dos eletróns emitidos.(Solución: $8{,}28.10^{-19}$ J)
c) O potencial de corte.(Solución: 5,17 V)

a) As veces trocan-se os nomes das variabeis que usamos. Por exempro ao **traballo de extración** en moitos textos chamanlle **"enerxía limiar"** e tamén, como neste caso, **"función de traballo"**. Enfin, teño comprobado que depende do "tradutor" que uses.

Veña, imos calcular o traballo de extración (eu sempre falarei de "traballo de extración" e preferirei $\mathbf{W_0}$ a $\boldsymbol{\phi}$ pero vos ao voso gosto):

$$W_0 = h \cdot \nu_0 = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\, J \cdot s \cdot 2{,}5 \cdot 10^{14} Hz =$$

Só tedes que sustituír e obtedes o resultado.

b)Para calcular a "enerxía cinética de partida" (que ás veces tamén chaman "enerxía cinética máxima") o primeiro é calcular a enerxía da radiación incidente:

$$E = W = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6{,}63.\,10^{-34} J \cdot s \cdot \frac{3 \cdot 10^{8} \cdot \frac{m}{s}}{2 \cdot 10^{-7} m} = 9{,}945 \cdot 10^{-19} J$$

Observade que uso E e tamén W. Eu gosto máis do E.

Algo máis, neste caso uso a conversión da lonxitude de onda da ecuación de Planck. Poderíamos ter calculado a frecuencia por medio de : $c = \lambda \cdot \nu$ para logo sustituír na ecuación de Planck:$E = h \cdot \nu$, poren é máis direto o camiño que escollín.

Unha vez calculado o resultado anterior, o calculo da enerxía cinética máxima fai-se diretamente restando os valores xa calculados pois:

$$E = W_0 + Ec$$

e obtedes o valor da solución: $Ec =$

Esta é a enerxía cinética de partida.

c)Para calcular o potencial de corte, como vichedes antes, basicamente recorremos a:

$$q \cdot \Delta V = Ec_{chegada} - Ec_{partida}$$

Na que a enerxía cinética de chegada se fai cero (0) e polo tanto:

$$q \cdot \Delta V = -Ec_{partida}$$

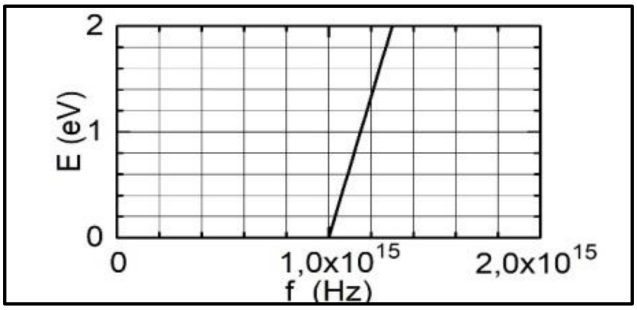
<u>**Lembrade que o signo non nos debe preocupar**</u>.

Se facedes o calculo obtedes o resultado indicado.

$$\Delta V = \frac{8{,}28 \cdot 10^{-19}\, J}{1{,}602 \cdot 10^{-19}\, C} = 5{,}17\, V$$

<u>**Exercicio nº 19**</u>

(Seletividade setembro 2018) Póde-se medir experimentalmente a enerxía cinética máxima dos electróns emitidos ao facer incidir luz de distintas frecuencias sobre unha superficie metálica. Determina o valor da constante de Planck a partir dos resultados que se mostran na gráfica adxunta. (Dato: 1eV = 1,6×10-19 J)



Esta gráfica está calculada co noso simulador (que xa deberíades coñecer)

Cavilemos un pouco nos pasos para calcular a constante de Planck.

$$E = W_0 + Ec$$

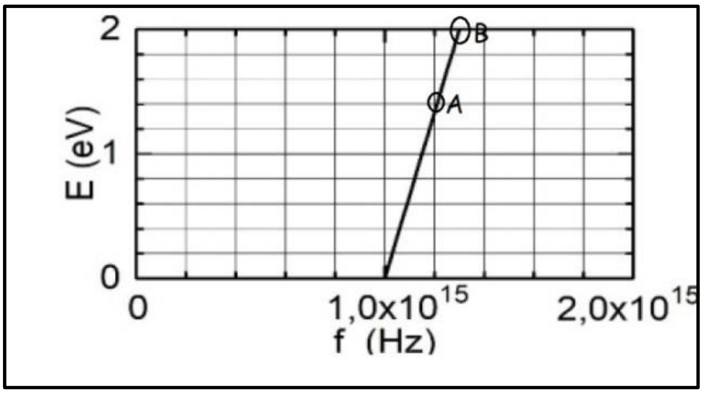
Ou sexa que: $h \cdot f = h \cdot f_0 + Ec$

(observade que neste exercicio utilizan a letra f para se referir á frecuencia, cuestión de gostos, "deixamononos levar", que máis da!!)

Agora vou sacar a constante de Planck como fator común:

$h \cdot (f - f_0) = E$

E tamén: $h = \frac{E}{(f - f_0)}$



Agora compre ler ben a gráfica e os valores.

1)Ollo co eixe vertical, o da enerxía, <u>que está en eV</u>.

Ademais <u>as divisións van de 0,2 en 0,2</u>.

2)No eixe horizontal as divisións tamén van de 0,2 en 0,2, e as unidades son as da frecuencia.

Resulta evidente que a **frecuencia limiar** é **1,0x10^{15}Hz**

Hai dous pontos que se poden estudar, os pontos que identifico con A e B.

Imos construír unha táboa.

Ponto	E (eV)	E (J)	f(Hz)	$f-f_0$(Hz)	$E/f-f_0$
A	1,4	2,2428E-19	1,20E+15	2,00E+14	1,12E-33
B	2	3,204E-19	1,25E+15	2,50E+14	1,28E-33
				Valor medio:	1,20E-33

Ben, eu xa o fixen usando a folla de calculo. Vos facede-o "a pelo" e se queredes con folla de calculo (Atención que este exercicio caeu no exame de seletividade de setembro de 2018 e nese exame non tedes computador)

O valor promedio resultante é $1,2.10^{-33}$J.s

O erro absoluto calculado sobre o valor certeiro da constante de Planck sería: $E_{absoluto}$=Valor verdadeiro-Valor medido= $4,584.10^{-34}$J.s

e o relativo: $E_{relativo} = \frac{E_{absoluto}}{Valor\ verdadeiro} \cdot 100 = 69\%$!!!!!

Unha tontería como podedes ver.

O resto dos exercicios de efeito fotoeletrico son basicamente iguais e tedes as solucións.

Ondas ou corpúsculos?

3ª parte

Para a resolución deste grupo de exercicios precisas ter leído a parte final do tema dende o efeito Compton e a cantidade de movemento do fotón, a hipótese de De Broglie e o principio de incerteza de Heisenberg.

Exercicio nº 1:

A cantidade de movemento dun fotón ven expresada por: a) p=mc2 ; b) p=hν; c) p=h/λ (Selectividade xuño 2001)

Se ledes con atención as notas, a idea dun fotón como corpusculo, que xa estaba no modelo de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico, fai-se completamente real coa experiencia de Compton na que efetivamente, o fotón "choca" realmente co eletrón, como se foran duas bolas de petanca.

A cantidade de movemento é unha magnitude definitivamente corpuscular (lembrade $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$) non ondulatoria, logo o fotón que é?

Da experiencia de Compton dedúce-se que a cantidade de movemento do fotón é:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Repasa a teoría.

Exercicio nº 2:

A enerxía dun cuanto de luz é directamente proporcional a: a) lonxitude de onda; b) frecuencia; c) ao cadrado da velocidade da luz. (Selectividade setembro 2001)

A enerxía dun cuanto de luz ven dada pola ecuación de Planck: $E = h \cdot \nu$ e polo tanto é claro que depende da frecuencia. Fixáde vos que esta magnitude é definitivamente ondulatoria mentres que a anterior é corpuscular.

Enton que é o fotón? Qué é a luz?

Cando a Física chega a esta altura só lle queda recoñecer que a luz é ao tempo onda e corpusculo, en suma Huygens e Newton, cos seus modelos ondulatorio e corpuscular, fundidos nun modelo dual.

Exercicio nº 6:

Da hipótese de De Broglie, dualidade onda-corpúsculo, derívase como consecuencia: a) que os electróns poden mostrar comportamento ondulatorio λ=h/p; b) que a enerxía das partículas atómicas está cuantizada E=hν; c) que a enerxía total dunha partícula é E=mc^2. (Selectividade setembro 2002)

De Broglie xeraliza coa súa mal chamada hipotese, o descubrimento da dupla natureza da luz. Toda materia ten dupla natureza, natureza corpuscular e natureza ondulatoria, as duas igualmente relevantes e as duas igualmente definidoras.

As expresións $E = h \cdot \nu$ e $E = m \cdot c^2$ débense a Planck (por quen comeza todo isto da cuantica) e a Enstein (que aplica a ecuación de Planck ao efeito fotoelétrico e aporta a ecuación da relatividade).

Cando combinamos as duas expresións anteriores obtemos para un fotón que:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

De Broglie xeraliza esta expresión e di que un eletrón, partícula evidentemente con masa, tamén ten asociada unha onda con lonxitude de onda dada por:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

E como no caso do eletrón, e de qualquer outra partícula: $\boldsymbol{p = m \cdot v}$ pois encontras a expresión dos apuntes:

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

Que se cumplirá para un eletrón e para un balón de baloncesto en movemento

(Nota: observa que se está quieto v=0 e enton λ=0)

Exercicio 7:

De acordo coa hipotese de De Broglie, unha pelota de 1 kg de masa que se move a 25 m/s debe ter asociada unha onda. Explique porque a onda asociada non é detetabel. (Datos: h=6,63.10^{-34} J.s , a luz visibel ten λ≈10^{-7} m)

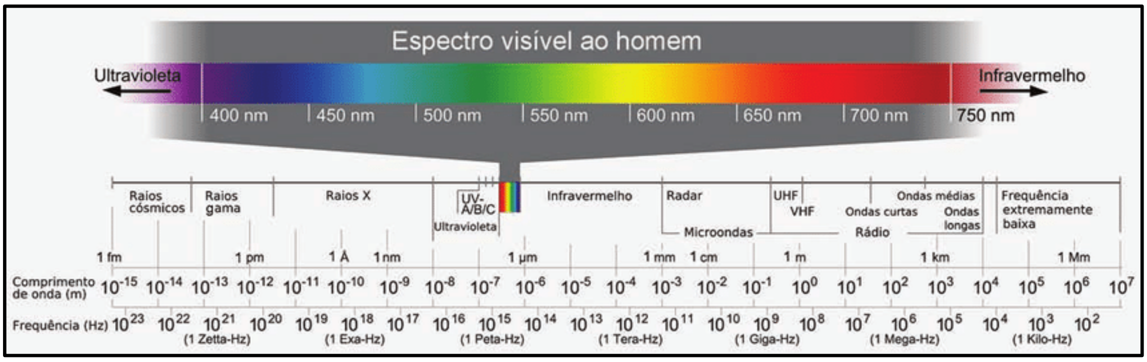
A pelota ten 1 kg de masa e móve-se a 25 m/s (ollo, que son 90 km/h que é unha velocidade considerabel para unha pelota)

A súa cantidade de movemento é : $p = m \cdot v = 1 \cdot kg \cdot 25 \cdot \frac{m}{s} = 25\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$

E agora calculamos a lonxitude de onda da onda asociada ao movemento da pelota:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6{,}63.10^{-34} J \cdot s}{25\, kg \cdot m \cdot s^{-1}} = 2{,}652 \cdot 10^{-35} m$$

A onda existe máis é indetetabel para nos pois a súa lonxitude de onda situa-a moi lonxe do espetro visibel e da nosa capacidade de deteción.



<u>Exercicio nº 8</u>

Da mesma maneira explica se a onda asociada a un eletrón que se move a 100 m/s é máis ou menos detetabel. (Datos: h=6,63.10^{-34} J.s , Masa do eletrón= 9,1.10^{-31} kg, a luz visibel ten λ≈10^{-7} m)

Imos aplicar o sabido a un eletrón que se mova a 100 m/s (esta velocidade é ridícula para un eletrón, porén isto é só un exercicio de "papel e lápis")

Calculemos a cantidade de movemento:

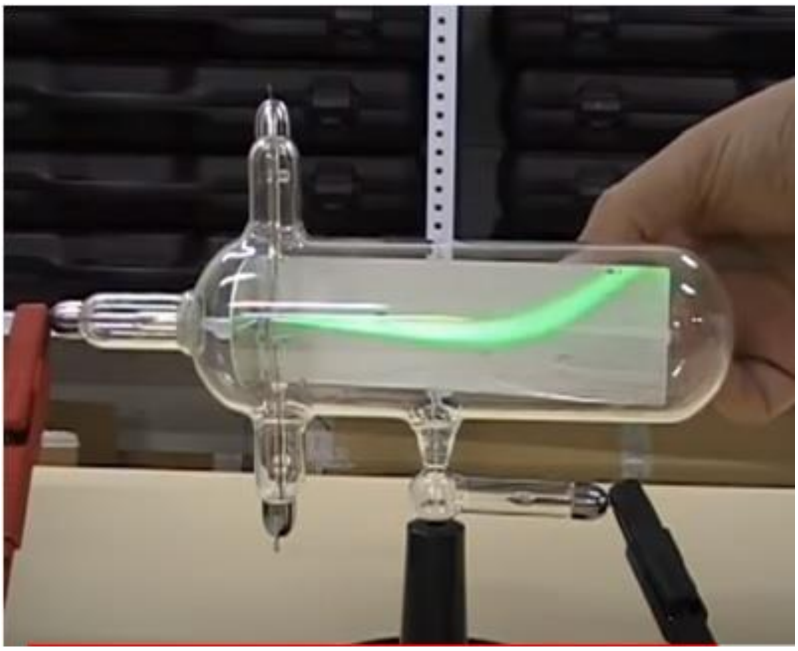
$$p = m \cdot v = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot kg \cdot 100 \cdot \frac{m}{s} = 9{,}1 \cdot 10^{-29}\, kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

E agora imos calcular a lonxitude de onda da onda asociada ao movemento do eletrón:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6{,}63.10^{-34} J \cdot s}{9{,}1 \cdot 10^{-29}\, kg \cdot m \cdot s^{-1}} = 7{,}28 \cdot 10^{-6} m$$

Que como ves está dentro da zona visibel para o ser humano.

En suma, cando se move a pelota, vemos a pelota máis non a onda que está asociada ao seu movemento, cando se move o eletrón, non vemos o eletrón máis si podemos ver a onda asociada ao seu movemento.



Lembrades esta imaxe na que desviabamos os eletróns por medio dun imán?

Como agora xa sabedes, non vemos a partícula (o eletrón) vemos a onda asociada (a luz que está na zona visibel do espetro)

Exercicio nº 9

Queremos determinar a posición dun eletrón que se move con velocidade 10^6 m/s e para elo imos facer uso de luz de frecuencia 3.10^{14} Hz (espetro visibel). A medida ficará afetada? (Datos: h=$6,63.10^{-34}$ J.s , Masa do eletrón= $9,1.10^{-31}$ kg)

Consideremos un eletrón que se move con velocidade 10^6m/s. Calculemos a súa cantidade de movemento:

$$p = m \cdot v = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot kg \cdot 10^{6} \cdot \frac{m}{s} = 9{,}1 \cdot 10^{-25}\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

Ademais a súa enerxía cinética será:

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 4{,}55 \cdot 10^{-19} J$$

E para poder “ver” o eletrón imos ilumina-lo con luz de frecuencia 3.10^{14}Hz. Polo tanto a enerxía dos fotóns que forman esa luz será:

$$E = h \cdot \nu = 6{,}63 \cdot 10^{-34} J \cdot s \cdot 3 \cdot 10^{14} Hz = 1{,}989.\, 10^{-19} J$$

Observa que os tres valores estan moi próximos. O que acontecerá é o efeito Compton e iso significa que o eletrón “chocará” co fotón (como se foran canicas) e sairá espallado. Polo tanto non seremos quen de determinar a súa posición (onde está?) ainda que poidamos determinar a direción do eletrón espallado.

Exercicio nº14:

O compoñente principal do vento solar son protóns que se desprazan a uns 400 km/s. Determina a lonxitude de onda asociada á súa propagación. (Datos: h=6,63.10^{-34} J.s, Masa do protón= 1,67.10^{-27} kg)

Os protóns en movemento posuen cantidade de movemento: $p = m \cdot v$.

Por outra banda seguindo a de Broglie: $p = \frac{h}{\lambda}$

E enton: $m \cdot v = \frac{h}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} J \cdot s}{1{,}67 \cdot 10^{-27} kg \cdot 4 \cdot 10^{5}\ m/s} = 9{,}92 \cdot 10^{-13}\ (m)$$

Exercicio nº15:

Determina a enerxía cinética dun feixe de eletróns cunha lonxitude de onda asociada de 0,5 nm. Expresa o resultado en J e eV (Solución: 6,1 eV) (Datos: h=6,63.10^{-34} J.s , Masa do eletrón= 9,1.10^{-31} kg)

Tráta-se dun eletrón en movemento que ten unha onda asociada de λ=0,5 nm

Podemos calcular a súa cantidade de movemento pois xa vimos que:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

E enton: $p = \frac{6{,}63.10^{-34} J \cdot s}{0{,}5 \cdot 10^{-9} m} = 1{,}326.\,10^{-24} kg \cdot m \cdot s^{-1}$

E agora podemos calcular a súa velocidade, pois:

$p = m \cdot v \rightarrow v = \frac{p}{m} = 1{,}457 \cdot 10^{6} m/s$

E agora podemos calcular a enerxía cinética:

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^{2} = 9{,}66 \cdot 10^{-19} J \cong 6\ eV$$

Exercicio nº10:

Imos medir con tres aparellos diferentes a cantidade de movemento dunha pelota de 250 g de masa e dun eletrón de masa 9,1.10-31kg cando os dous movense con velocidade 3 000 m/s. Os tres aparellos A, B e C apresentan as seguintes incertezas:
Aparello A: incerteza do 10^{-3} %
Aparello B : incerteza do 10^{-5} %
Aparello C : incerteza do 10^{-7} %
Qué incerteza cometeremos en cada caso na determinación da posición?

Imos facer un exercicio algo tonto sobre o principio da incerteza de Heisenberg.

Atención: debería ler con atención os apuntes deste apartado, e ao tempo ter na cabeza o exercicio nº 9 que ven ao caso para entender o principio.

1.-O primeiro caso é o movemento dunha pelota de 250 g a 3 000 m/s (vai un pouco rápida esta pelota!!!)

Calculemos a súa cantidade de movemento:

$$p = m \cdot v = 0{,}25kg \cdot 3\,000\frac{m}{s} = 750\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

Imos usar o **aparello A** que mide a cantidade de movemento cunha incerteza do 10^{-3}%. Qué quere decir este dato? Pois que cada vez que medimos 100 unidades, podémo-nos equivocar en 0,001 unidade. Polo tanto é un aparello bastande fiabel.

Imos calcular o erro que cometemos na determinación da cantidade de movemento:

$$\Delta p = 750 \cdot \frac{10^{-3}}{100} kg \cdot m \cdot s^{-1} = 7{,}5 \cdot 10^{-3} kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

Agora, aplicando o principio de Heisenberg, podemos calcular a incerteza que cometemos na determinación da posición:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2 \cdot \pi} \rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot \Delta p} \rightarrow \Delta x \geq 1{,}41 \cdot 10^{-32} m$$

O resultado indica que coñecemos con toda precisión onde está a pelota e sabemos cal é a súa cantidade de movemento.

Imos agora a usar o **aparello B**. Este comete unha incerteza na determinación da cantidade de movemento de 10^{-5}%, é máis fiabel que o anterior.

Calculemos a incerteza na determinación da cantidade de movemento como antes:

$$\Delta p = 750 \cdot \frac{10^{-5}}{100} kg \cdot m \cdot s^{-1} = 7{,}5 \cdot 10^{-5} kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

E agora co principio de Heisenberg, calculamos a incerteza na determinación da posición:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2 \cdot \pi} \rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot \Delta p} \rightarrow \Delta x \geq 1{,}41 \cdot 10^{-30} m$$

Como ves, a medida segue a ser moi precisa.

Fai o calculo ti para o **<u>aparello C</u>**.

$$\Delta p = 750 \cdot \frac{10^{-7}}{100} kg \cdot m \cdot s^{-1} = \qquad\qquad kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

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

2.-E agora imos ao caso do eletrón que se move coa mesma velocidade que a pelota.

Primeiro imos calcular a súa cantidade de movemento:

$$p = m \cdot v = 9{,}1.10^{-31} kg \cdot 3\,000 \frac{m}{s} = 2{,}73 \cdot 10^{-27}\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

Agora calculamos a incerteza co <u>aparello A</u>:

$$\Delta p = 2{,}73 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{10^{-3}}{100} kg \cdot m \cdot s^{-1} = 2{,}73 \cdot 10^{-32} kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

E agora calculamos a incerteza na determinación da posición co principio de incertidume:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2 \cdot \pi} \rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot \Delta p} \rightarrow \Delta x \geq 3{,}86 \cdot 10^{-3} m$$

Como ves a medida é precisa mais non tanto (tendo en conta que determinamos a posición de un eletrón!!!)

Completa os calculos cos aparellos B e C e verás que canto máis precisa é a determinación da cantidade de movemento, menos precisa é a determinación da posición.

Para o **aparello B**:

$$\Delta p = 2{,}73 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{10^{-5}}{100} kg \cdot m \cdot s^{-1} = 2{,}73 \cdot 10^{-34} kg \cdot m \cdot s^{-1}$$

E agora calculamos a incerteza na determinación da posición co principio de incertidume:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2 \cdot \pi} \rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot \Delta p} \rightarrow \Delta x \geq 0{,}386m$$

Aumenta a calidade da medida da cantidade de movemento, mais a imprecisión na posición do eletrón é do orde dos 39 cm¡¡¡¡¡¡

Qué acontecerá co **aparello C**?