

Poussé par le Soleil ?

1) $\phi = 1 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

relat° de
Planck-Einstein

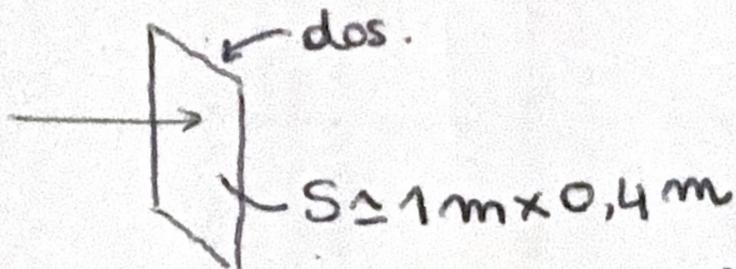
lumière visible $\lambda \approx 600 \text{ nm}$ $\Rightarrow E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ (air & vide)

$$\phi = \frac{dE}{dt \cdot dS} = \frac{dN \cdot \frac{hc}{\lambda}}{dt \cdot dS} = \phi_{\text{ph}} \cdot \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \phi_{\text{ph}} = \frac{\lambda}{hc} \cdot \phi = \frac{26 \cancel{\phi} \cdot 10^{-87}}{6,7 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8} \cdot 1 \cdot 10^3 = \frac{2}{6,7} \cdot 10^{-12+34} = \frac{1}{3,3} \cdot 10^{22} \approx 0,3 \cdot 10^{22}$$

$\phi_{\text{ph}} \approx 3 \cdot 10^{21} \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

2) $p_{\text{photon}} = \frac{h \cdot k}{\lambda} = \frac{h}{\lambda}$ (relat° de Planck-Einstein)



$$\frac{dp}{dt} = \frac{dN \cdot p_{\text{photon}}}{dt} = \phi_{\text{ph}} \cdot S \cdot p_{\text{photon}} = 3 \cdot 10^{21} \times 1 \times \frac{92}{4} \times \frac{6,7 \cdot 10^{-34}}{26 \cancel{\phi} \cdot 10^{-87}} = 2 \times 6,7 \cdot 10^{-35+21+7} \approx 13 \cdot 10^{-7}$$

$\Rightarrow \frac{dp}{dt} \approx 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

3) d'ap. le PFD $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ ici $F = \frac{dp}{dt} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

à comparer au poids de cette personne $P = mg \approx 70 \times 10 = 700 \text{ N} \gg F$

Microscope électronique

1) taille particule = 50 nm < $\lambda_{vis} \in [400, 800]$ nm.

↳ la résolution d'un microscope est limitée par la diffraction qui se manifeste lorsque taille $\sim \lambda$.

Microscope optique traditionnel permet de faire des observat: ds le cadre de l'optique géom
taille $> 100 \cdot \lambda$

↳ inadapté pour visualiser des particules de taille = 50 nm.

2) On détermine la longueur d'onde de De Broglie des e-

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{or } E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m} \quad (\Rightarrow) p = \sqrt{2mE_c}$$

$$(\Rightarrow) \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}} \quad \text{AN: } \lambda \approx \frac{7 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1 \cdot 10^{-30} \times 5 \cdot 10^3 \times 1,6 \cdot 10^{-19}}} = \frac{7 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{16 \cdot 10^{-46}}}$$

$$\lambda \approx \frac{7 \cdot 10^{-34}}{4 \cdot 10^{-23}} \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0,02 \text{ nm}$$

la taille des particules vérifie taille = 2500 \times λ → MEB adapté pour visualiser ces nanoparticules.

Piégeage d'atomes

Inégalité de Heisenberg $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$

avec $\Delta p_x = \Delta(m v_x) = m \Delta v = \frac{m}{\hbar a} \Delta v$

$$\Delta x \geq \frac{\hbar \hbar a}{2 m \Delta v} = \frac{1 \cdot 10^{-34} \times 6 \cdot 10^{23}}{2 \times 23 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-3}} \approx \frac{6}{100} \cdot 10^{-34+29} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-5}$$

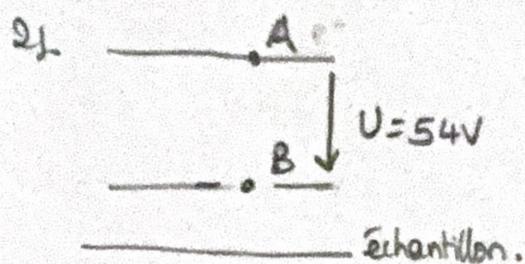
$$\Delta x \geq 6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \underline{\underline{96 \mu\text{m}}}$$

dispers. $\Delta x = 3 \mu\text{m}$ proche de la lim. quantiq.

\Rightarrow on doit \uparrow la dispers. de vitesses pour $\downarrow \Delta x$ et améliorer le piégeage

XP de Barisson et Germer

1) Phé. de diffrac: signature du caractère ondulatoire des e^- particule matérielle



repr {e-} étudié ds R_T galiléen

BdF (perpendéante) \vec{F}_e qui dérive de $E_p = -eV$

TEM : $\Delta E_m = W_{nc} = 0$

$$\Rightarrow E_{mA} = E_{mB}$$

$$\Rightarrow E_{CA} - eV_A = E_{CB} - eV_B$$

≈ 0

$$\Rightarrow E_{CB} = e(V_B - V_A) = eU = 54 \text{ eV} = 8,6 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$\text{et } E_{CB} = \frac{1}{2} m v_B^2 \Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2E_{CB}}{m}}$$

AN: $v_B \approx 4,2 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$

Rq: e- non relativiste
 $v_B \ll c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$$3) \lambda_B = \frac{h}{p} \quad \text{or } E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (\Rightarrow p = \sqrt{2mE_c} = \sqrt{2meU})$$

$p = mv$

$$\Rightarrow \lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

AN: $\lambda_B = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx d = 9 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

taille caract. de l'échantillon de Ni

$$4) \lambda_{\text{Rayon X}} \in [10^{-11}, 10^{-8}] \text{ m}$$

e^- ont une longueur d'onde de De Broglie du m ODC que celle des rayons X

→ cohérent que les figures de diffrac obtenues avec l'échantillon de Ni soient similaires.

Exo 4 Effet Compton.

1). h en J.s $\rightarrow [h] = [\text{Énergie}] \times T = [\frac{1}{2} m v^2] \times T$
 $= M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \times T = M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$

ou bien
 relat. de de Broglie :

$\lambda = \frac{h}{p}$
 $[p] = [mv] = [mc]$
 $\rightarrow [\frac{h}{mc}] = L.$

$[mc] = M \cdot L \cdot T^{-1}$
 d'où $[\frac{h}{mc}] = \frac{M \cdot L^2 \cdot T^{-1}}{M \cdot L \cdot T^{-1}} = L.$

$L = \frac{h}{mc} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

$\frac{2,6 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 10^{-31} \times 3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^{-34-8+30-12} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ m.}$

2). $L \sim \lambda$ rayons X \Rightarrow la $\Delta \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$
 est notable pr des rayons X.

3). $\frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) > 0$ donc $\lambda' > \lambda$

or $E = \frac{hc}{\lambda}$ d'où $E' < E$

l'NRJ du photon \downarrow pendant l'exp.

il y a "choc" entre photon et graphite
 (échange de q_{ré} de mt).

une partie de l'NRJ du γ est transmise à l' e^- (E_c),
 à une particule que l'on peut supposer être un e^-
 puisque $m = m_{e^-}$ (cf cristallographie : au sein d'un feuillet
 d'atomes délocalisés : doublets π).

4). $\theta = 90^\circ \rightarrow \lambda' = \lambda + \frac{h}{mc} (1 - 0) = 7,32 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

5). $E - E' = hc (\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}) = 9,21 \cdot 10^{-17} \text{ J}$
 $= 576 \text{ eV.}$

$> 10 \text{ eV}$

$>$ NRJ d'ionisatⁿ

\rightarrow 1 e^- arraché et l' e^- part avec

une $E_c = (E - E') - E_{i1}$

$v \approx 1 \cdot 10^7 \text{ m.s}^{-1} \rightarrow$ correc^o relativiste
 non négligeable

Impulse du champ EM

$$\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - k z) \vec{e}_x$$

1) polarisation rectiligne selon \vec{e}_x

relat: de structure valable pr OPPM EM ds le vide

$$\vec{B} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{e}_z}{\omega} \text{ d'ap. Eqs de M-F}$$

$$\|\vec{B}\| = \frac{k \vec{e}_z \wedge E_0 \cos(\dots) \vec{e}_x}{\omega} = \frac{k}{\omega} E_0 \cos(\omega t - k z) \vec{e}_y$$

2) relat: de dispers: valable pr OPPM EM ds le vide: $\omega^2 = k^2 c^2$
d'ap. EDA

ici $k > 0 \rightarrow \omega = kc$

↳ propagat: selon $+\vec{e}_z$

$$u_{em} = \epsilon_0 \frac{E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} = \epsilon_0 \frac{E_0^2 \cos^2(\dots)}{2} + \frac{k^2}{\omega^2} E_0^2 \cos^2(\dots) \cdot \frac{1}{2\mu_0}$$

$$= \frac{E_0^2 \cos^2(\dots)}{2} \left(\epsilon_0 + \frac{1}{c^2 \mu_0} \right) = 2\epsilon_0$$

ainsi $\langle u_{em} \rangle = \langle E_0^2 \cos^2(\omega t - k z) \rangle \times \epsilon_0 = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2}$

3) $\vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} \wedge \vec{B}$ on a $\vec{\pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$ avec $\|\vec{\pi}\|$ une pte surfacique

ici $\vec{P} = \mu_0 \epsilon_0 \vec{\pi} = \frac{\vec{\pi}}{c^2} \rightarrow \|\vec{P}\| = \frac{[P] \times T^2}{L^2 \times L^2} = \frac{[F] \cdot L \cdot T^{-1} \cdot T^2}{L^4} = \frac{M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot L \cdot T}{L^4}$

$\Rightarrow \|\vec{P}\| = \frac{M \cdot L \cdot T^{-1}}{L^3} = \frac{[qte de mvt]}{L^3}$

$[\vec{P}]$ densite volumique de qte de mvt. \rightarrow impulse volumique

4) a) $\vec{p} = \hbar \vec{k} = \hbar \frac{\omega}{c} \vec{e}_z$ et $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} = \sqrt{\frac{\hbar^2 \omega^2}{c^2}} = \hbar \omega$
pour un photon

d'ou $p = \|\vec{p}\| = \frac{\hbar \omega}{c} = \frac{E}{c}$

b) $\langle u_{em} \rangle = n \cdot E$
densite vol⁹ d'energie moyenne densite vol⁹ de γ energie d'un γ
 $\Rightarrow n = \frac{\langle u_{em} \rangle}{E} = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2 \hbar \omega}$

c) on a $\vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} \wedge \vec{B} = \epsilon_0 E_0 \cos(\dots) \vec{e}_x \wedge \frac{E_0}{c} \cos(\dots) \vec{e}_y = \epsilon_0 \frac{E_0^2}{c} \cos^2(\omega t - k z) \vec{e}_z$
 $\Rightarrow \langle \vec{P} \rangle = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2c} \vec{e}_z$

$$\text{on a } \vec{p} = \frac{\hbar\omega}{c} \vec{e}_z$$

$$\Rightarrow \langle \vec{P} \rangle = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon_0^2}{2c} \times \frac{\hbar\omega}{\hbar\omega} \right) \vec{e}_z = \frac{\hbar\omega}{c} \cdot n \vec{e}_z = \vec{p} \cdot n$$

$$\text{on a donc } \left\| \langle \vec{P} \rangle = n \cdot \vec{p} \right\| \rightarrow \text{qté de mov d'un } \gamma.$$

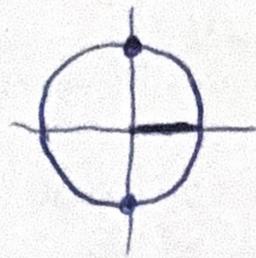
densité vol⁹
de qté de mov
moyenne

densité
vol⁹ de γ

triangle S_1HS_2 : $\cos \theta_0 = \frac{HS_2}{a}$

triangle S_1KS_2 : $\cos \theta = \frac{S_1K}{a}$

$\Rightarrow \delta = a (\cos \theta_0 - \cos \theta)$



θ et $\theta_0 \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$

$\cos > 0$.

Cond. d'interférences constructives: $\delta = m' \lambda$, $m' \in \mathbb{Z}$

ici $a (\cos \theta_0 - \cos \theta) = m' \lambda$

$\Leftrightarrow \cos \theta = \cos \theta_0 - \frac{m' \lambda}{a} = \cos \theta_0 + \frac{m \lambda}{a}$, $m \in \mathbb{Z}$
($m = -m'$)

(Q39). On remarque que la \neq ce de marche ne dépend pas de la positi des 2 atomes de Gra considérés: $\forall j \quad (SM)_{j+1} - (SM)_j = a (\cos \theta_0 - \cos \theta)$.

ainsi si la cond. d'interf. constructives est vérifiée pour S_1 et S_2 elle sera vérifiée pour tout S_j et S_{j+1}

par ailleurs $\forall (j,k) \quad (SM)_{j+k} - (SM)_j = k a (\cos \theta_0 - \cos \theta) = \underbrace{k}_{\text{entier}} \underbrace{a (\cos \theta_0 - \cos \theta)}_{m' \lambda} = \underbrace{k m'}_{\text{entier}} \lambda \rightarrow$ interf. constructives également

\rightarrow cond. d'interférences constructives (Q38) valide $\forall (j,k)$.

(Q40). triangle $OF'M$: $\tan \theta = \frac{\alpha_m}{f'}$ ($\Rightarrow \alpha_m \approx f' \cdot \theta$ ds l'appx de Gauss)

cond. d'interf. const. ds l'appx de Gauss: $1 - \frac{\theta^2}{2} \approx 1 - \underbrace{\frac{\theta_0^2}{2}}_{\text{incidence rasante}} + \frac{m \lambda}{a}$

($\Rightarrow \theta^2 \approx \theta_0^2 - \frac{2m \lambda}{a}$)

pour m tel que $\theta_0^2 > \frac{2m \lambda}{a}$

$\theta \approx \pm \sqrt{\theta_0^2 - \frac{2m \lambda}{a}} \Rightarrow \alpha_m \approx \pm f' \sqrt{\theta_0^2 - \frac{2m \lambda}{a}}$

(Q41). nb de maxima observable élevé i.e m tq $\theta_0^2 > \frac{2m \lambda}{a}$ élevé ($\Rightarrow m_{\text{max}}$ élevé i.e ordre d'interf. max élevé m_{max} tq $\theta = 0$)

$\Leftrightarrow m < \frac{a \theta_0^2}{2 \lambda} = m_{\text{max}}$

$\Leftrightarrow \lambda$ faible ($\Leftrightarrow E_c$ élevée)

avec $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}}$

i.e faisceau de haute énergie cohérent avec RHEED high.