Les quantons

1) Les concepts de la physique classique.

A) Les particules classiques.

Symétrie spatio-temporelle →	translation dans le temps	translation d'espace	rotation d'espace
Grandeur dynamique conservée →	energie E	impulsion $\vec{p}$	moment angulaire $\vec{J}$

B) Les champs classiques.

. $\phi(\vec{r},t)$: amplitude de l'onde au point $\vec{r}$ à l'instant t.

. Principe de superposition : $\phi(\vec{r},t) = \phi_1(\vec{r},t) + \phi_2(\vec{r},t)$

C) Analyse de Fourier : ondes planes.

. Equation → $\phi(t+T) = K\phi(t)$, solution → $\phi(t) = a e^{i(\omega t + \varphi_0)}$ (harmoniques), phase → $\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$

. Champ → $\phi(\vec{r},t) = A e^{i(\omega t - \vec{k}.\vec{r} + \varphi_0)}$, phase → $\varphi(\vec{r},t) = \omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi_0$, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

D) Champs et particules : interactions.

. Deux ondes harmoniques dans l'espace temps → $\phi_1(\vec{r},t) = a e^{i(\omega_1 t - \vec{k}_1.\vec{r} + \varphi_1)}$, $\phi_2(\vec{r},t) = a e^{i(\omega_2 t - \vec{k}_2\vec{r} + \varphi_2)}$

. Superposition → $\phi(\vec{r},t) = \phi_1(\vec{r},t) + \phi_2(\vec{r},t) = A(\vec{r},t).e^{i(\tilde{\omega} t - \tilde{k}.\vec{r} + \varphi)}$, avec : $\tilde{\omega} = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$;

$\tilde{k} = \frac{1}{2}(\vec{k}_1 + \vec{k}_2)$; $\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2)$; $A(\vec{r},t) = 2a\cos\left(\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t - \frac{1}{2}(\vec{k}_1 - \vec{k}_2).\vec{r} + \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_2)\right)$

. Trois cas :
- → interférences, modulation spatiale ($\omega_1 = \omega_2$, $\vec{k}_1 \neq \vec{k}_2$)
- → diffraction, sources formant un continu
- → battements, modulation temporelle ($\omega_1 \neq \omega_2$, $\vec{k}_1 = \vec{k}_2$)

2) De nouveaux objets.

A) Diffraction de la lumière.

. Condition de diffraction par un écran circulaire : $R \sim \lambda$ ⇒ tache centrale de diamètre $\sim \lambda D/R$, où D est la distance écran-plaque photographique.

. Condition de validité de la description ondulatoire classique : $N.T \gg 1$, où N est le nombre de photons à travers le trou par unité de temps, et T la durée de l'expérience. Si P est la puissance de la source, l'action caractéristique est : $A = \frac{PTR}{c}$, or $R \sim \lambda$ ⇒ $kR \sim 1$ ⇒ $A \sim \frac{PT}{ck}$, mais avec $P = N\hbar\omega$ ⇒ $A \sim \frac{N\hbar\omega T}{ck}$, on doit avoir $A \gg \hbar$ donc puisque $\omega = kc$: $NT \gg 1$

B) Collisions et sections efficaces.

. Définition expérimentale. $\mathcal{F}$: flux de particules (nombre de particules par unité de temps et de surface) ; N : nombre total de particules dans la cible, $d\Omega(\theta,\varphi) = d\cos\theta\, d\varphi$: ouverture du détecteur ; dn : nombre de particules déviées suivant $\Omega(\theta,\varphi)$ entrant dans le détecteur par unité de temps. On aura : $dn = X(\Omega)\, N.\mathcal{J}_e.\, d\Omega$, et le nombre de particules diffusées est : $n = N\mathcal{J}_e\sigma$ où $\sigma = \int X(\Omega)\, d\Omega$ est la section efficace de diffusion. $X(\Omega) = \frac{d\sigma}{d\Omega}$ est appelée section efficace différentielle.

. Théorie classique. b : paramètre d'impact. $N = 1$. $\Rightarrow dn = b.db.d\varphi.\mathcal{J}_e = X(\Omega)\, d\Omega\, \mathcal{J}_e$

on aura : $X(\Omega) = \frac{b\, db\, d\varphi}{d\Omega} \Rightarrow X(\Omega) = \frac{b.db}{d\cos\theta}$

. Diffusion coulombienne. $b(\theta) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2E}\cot g\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow X(\Omega) = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$ (section efficace de Rutherford). $(q = Z_1 q_e,\ E) \rightarrow$ charge et énergie de la particule projectile.

C) Diffusion des particules alpha.

Action caractéristique de la diffusion d'une particule d'énergie E et de masse M par un noyau de rayon R : $A = E^{1/2} M^{1/2} R$. Pour surmonter la barrière de potentiel coulombien ($V(r) = 2Ze^2/r$ pour un noyau de charge Zq_e) une particule α de charge $2q_e$ doit avoir une énergie : $E \geqslant 2Ze^2/R$. ($V(r)$ étant maximum pour $r = R$).

3) De nouveaux concepts

A) Les quantons.

. quantons : objets proprement quantiques.

B) La relation de Planck Einstein.

. Relation de Planck Einstein : $E = \hbar.\omega$ (E : energie ; ω : pulsation)

E : concept classique corpusculaire. ω : concept classique ondulatoire

nouveau concept quantique : "énergie - pulsation quantique".

C) La relation de De Broglie.

. Relation de De Broglie : $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ ($\vec{p}$, impulsion ; $\vec{k}$ vecteur d'onde)

. On a $k = 2\pi/\lambda$ d'où $p = h/\lambda$

. Einstein $\rightarrow p^2c^2 = E^2 - m^2c^4$, $E = E_c + mc^2$, $\rightarrow p^2c^2 = E_c(2mc^2 + E)$

$\rightarrow \lambda = \frac{h}{mc}\left(\frac{E}{mc^2}\left(2 + \frac{E}{mc^2}\right)\right)^{-1/2} \Rightarrow$ non relativiste $E \ll mc^2$, ultra relativiste $E \gg mc^2$

D) Quantification du moment angulaire (ou moment cinétique)

Relation: $J_z = \hbar m$ (J_z ***composante de*** $\vec{J}$ ***suivant*** O_z, ***m nombre d'onde angulaire)***

. m peut prendre des valeurs entières ou demi entières (quantification de J_z)
. Le moment angulaire orbital $\vec{L}$ a des valeurs entières de $\hbar$
. Le moment angulaire intrinsèque ou spin $\vec{S}$ a des valeurs entières ou demi entières de $\hbar$.
. On a pour le moment angulaire $\vec{J}$: $J^2 = \hbar^2 j(j+1)$, et $J_z = \hbar m$ avec $-j \leq m \leq +j$.
. De même : $L^2 = \hbar^2 \ell(\ell+1)$; et : $\vec{S} = \hbar^2 s(s+1)$ $(\vec{J} = \vec{L} + \vec{S})$

E) Matière et rayonnement.

. Rayonnement émis par un système atomique au cours d'une transition : $\nu = (\epsilon_i - \epsilon_f)/h$
. Effet photoélectrique : $E = h\nu - W$ (W : energie d'extraction)
. Effet Compton.

F) Mouvements collectifs et excitations élémentaires.

On parle souvent des quantons phénoménologiques comme des excitations élémentaires du milieu considéré.

Invariance par	Concepts ondulatoires classiques		Concept corpusculaire classique	Concept (unifié) quantique
Translation dans le temps	Période T	Pulsation $\omega = 2\pi/T$	Energie E	$E = \hbar\omega$ (Planck Einstein)
Translation d'espace	Longueur d'onde λ	ondulation $k = 2\pi/\lambda$	Quantité de mouvement $\vec{p}$	$\vec{p} = \hbar\vec{k}$ (De Broglie)
Rotation d'espace	Rotation α (autour d'un axe donné)	$m = 2\pi/\alpha$ (m entier ou demi entier)	Composante J_z du moment angulaire J autour de l'axe Oz	$J_z = \hbar m$