

Le domaine quantique

1) Typologie sommaire des théories quantiques

Cadre spatio-temporel	Galiléen		Einsteinien
Systèmes à nombre de particules :	petit et constant	grand (∞) ou variable	Variable (∞)
Théorie quantique adéquate :	mécanique quantique	Théorie quantique des champs	
		non relativiste	relativiste
Domaines d'application typiques :	physique atomique et moléculaire physique médicale	physique de la matière condensée (états solides, liquides)	physique des particules fondamentales (électrodynamique quantique, chromodynamique quantique)

2) La constante quantique.

A) Constantes fondamentales et physique quantique.

• Effet photoélectrique : $E = \hbar \omega - W$; E : énergie cinétique des électrons ;
 ω : pulsation du rayonnement ; W : énergie d'extraction. ($\hbar \omega = h \nu$)

• Constante quantique (constante de Planck) : $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$; $\hbar = h/2\pi \approx 10^{-34} \text{ J s}$

B) Analyse dimensionnelle.

• $[\hbar] = \text{ML}^2\text{T}^{-1}$; $[h] = [\text{énergie}] \cdot [\text{temps}] = [\text{impulsion}] \cdot [\text{longueur}] = [\text{moment angulaire}]$

• $1 \text{ L} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ J s} \approx 10^{-34} \hbar$ (L : Lagrange)

• $[\text{action}]^2 = [\text{énergie}] \cdot [\text{masse}] \cdot [\text{longueur}]^2$; $[\text{action}] = [\hbar]$

3) Le critère quantique.

• action de l'ordre de \hbar = physique quantique

• exemples : - rayonnement du corps noir , - supraconducteurs , - superfluides , - Lasers , - matière ordinaire

4) Ordres de grandeur quantiques.

→ Utilisation de l'analyse dimensionnelle

A) Physique atomique et moléculaire.

- Couplage électromagnétique: $e^2 = q_e^2 / 4\pi\epsilon_0$, $[e^2] = ML^3T^{-2}$, $e^2 = 2,30 \cdot 10^{-28} \text{ kg m}^3 \text{ s}^{-2}$
- Énergie de Rydberg: $E_H = me^4 / 2\hbar^2$, $[E_H] = ML^2T^{-2}$, $E_H = 13,6 \text{ eV} = 1 \text{ Ry}$
- Rayon de Bohr: $a_0 = \hbar^2 / me^2$, $[a_0] = L$, $a_0 = 0,53 \text{ \AA}$
- Vitesse typique de l'électron dans l'atome: $v_a \approx e^2 / \hbar$, $v_a \approx 2 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

B) L'électrodynamique quantique et la constante de structure fine.

- Constante de couplage électromagnétique (ou constante de structure fine):

$$\alpha = e^2 / \hbar c, \quad [\alpha] = 1, \quad 1/\alpha \approx 137$$

- Énergie de masse de l'électron: $mc^2 = 0,51 \text{ MeV}$

- Longueur Compton de l'électron: $\lambda_c = \hbar / mc$, $\lambda_c = 3,8 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$

- Énergie de Rydberg: $E_H = \frac{1}{2} \cdot \alpha^2 \cdot mc^2$

C) Physique des particules. Les interactions fondamentales.

Interactions		Portée	Intensité	Exemples	
"grande unification"?	Fortes	chromiques	très courte ($\approx 10^{-2} \text{ F}$)	$\gg 1$	constitution des hadrons par liaisons entre quarks
		hadroniques	courte ($\approx 1 \text{ F}$)	quelques unités	liaisons entre hadrons (forces nucléaires)
	Electro-faibles	électro-magnétiques	longue ($1/r$)	10^{-2}	constitution des atomes et des molécules (liaison électron-noyau)
		Vander Waals	très courte ($1/r^6$)	-	forces intermoléculaires
		faibles	très courtes ($\ll 1 \text{ F}$)	10^{-6}	radioactivité β
	gravitationnelles	longue ($1/r$)	10^{-38}	?	?

D) Classification des particules par leurs interactions.

Particules \rightarrow	Quarks, gluons (et hadrons)	Leptons (électrons, muons, neutrinos, ...) et bosons faibles	Photons	Gravitons?
Interactions \downarrow				
Fortes	Oui	Non	Non	Non
Électromagnétiques	Oui	Oui (Si chargés)	Oui	Non
Faibles	Oui	Oui	Non	Non
Gravitationnelles	Oui	Oui	Oui	Oui