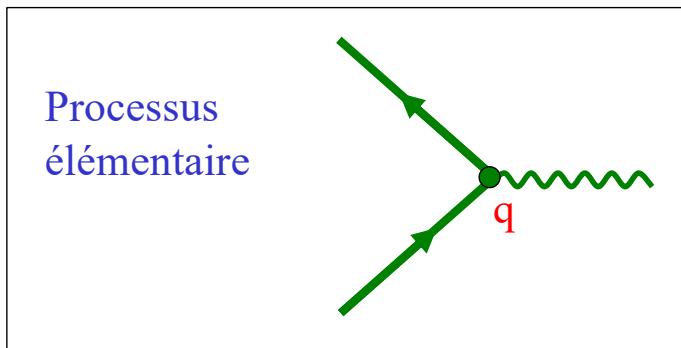


Electrodynamique quantique

(QED = quantum electrodynamics)



- = particule chargée (e⁻, e⁺, μ⁻, μ⁺, ...)
- ~~~~~ = photon = champ électromagnétique
- = vertex = couplage entre particule chargée et champ électromagnétique
- q = « force » du couplage = charge électrique

Diffusion électron-électron

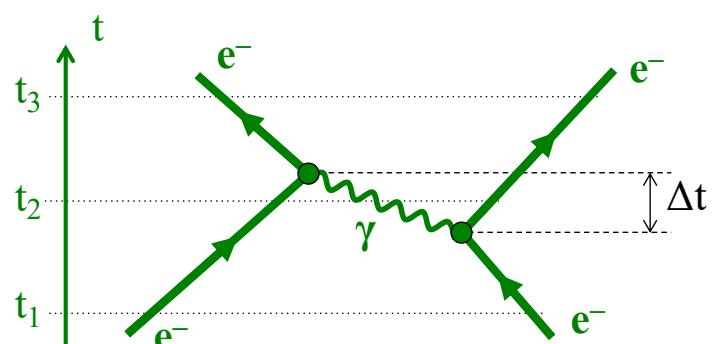
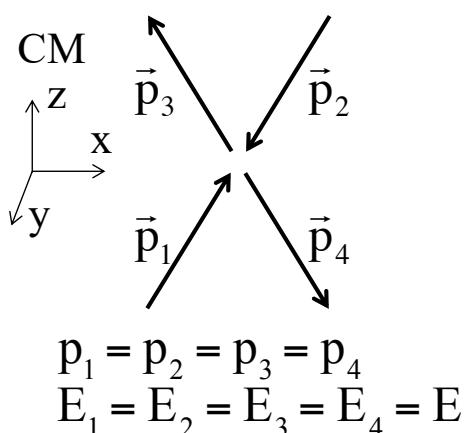


Diagramme de Feynman

Avant: $E_{\text{tot}}(t_1) = E_1 + E_2 = 2E$

Pendant: $E_{\text{tot}}(t_2) = E_1 + E_4 + E_\gamma = 2E + E_\gamma$

Après: $E_{\text{tot}}(t_3) = E_3 + E_4 = 2E$

Energie violée d'une quantité
 $\Delta E = E_\gamma$ pendant un temps Δt

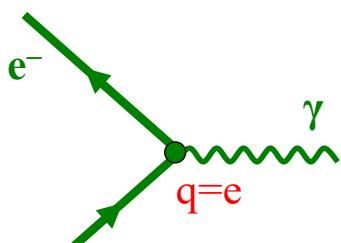
Alternative: énergie et quantité de mouvement conservées à chaque vertex

$$\Rightarrow \begin{cases} E_\gamma = 0 \\ \vec{p}_\gamma = \vec{p}_3 - \vec{p}_1 = \vec{p}_2 - \vec{p}_4 \neq 0 \end{cases} \Rightarrow E_\gamma \neq p_\gamma c \quad \text{photon virtuel}$$

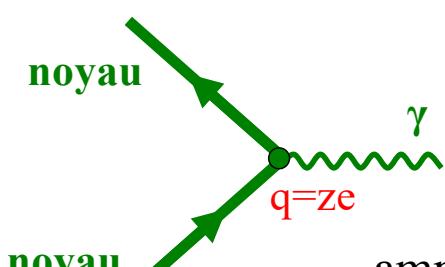
Particule d'énergie E et d'implusion \vec{p}

- Si $E^2 - \vec{p}^2 c^2 = m^2 c^4$
alors la particule est **réelle** (“on shell”)
 - la particule existe (comme particule libre) dans l'état initial ou l'état final d'un processus
- Si $E^2 - \vec{p}^2 c^2 \neq m^2 c^4$
alors la particule est **virtuelle** (“off shell”)
 - la particule n'apparaît pas dans l'état initial ou final d'un processus; elle est échangée au cours du processus, entre deux vertex d'un diagramme de Feynman

QED



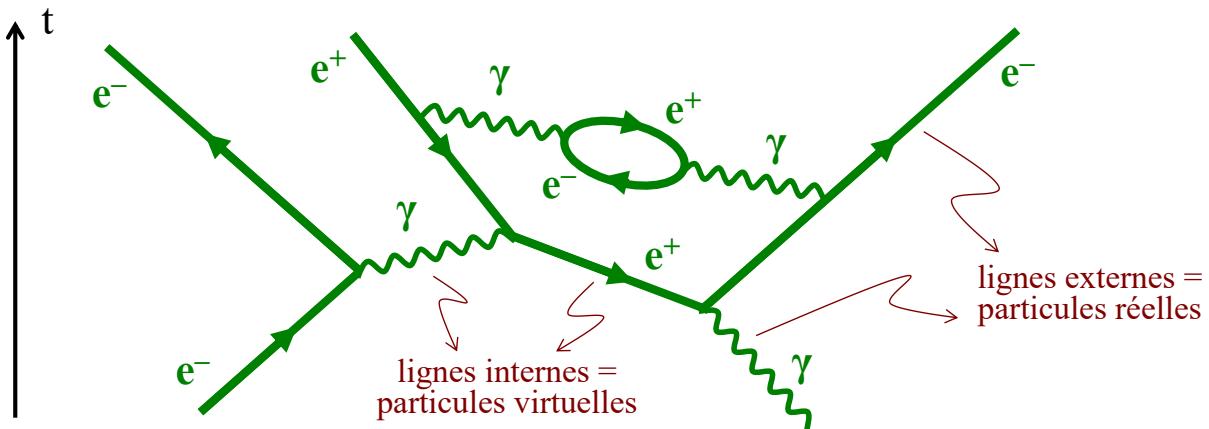
$$\text{amplitude} \propto \text{constante de couplage} = e$$
$$\text{probabilité} = |\text{amplitude}|^2 \propto \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \cong \frac{1}{137}$$



$$\text{amplitude} \propto ze$$
$$\text{probabilité} \propto z^2 \alpha \cong \frac{z^2}{137}$$

QED (suite)

Toute interaction électromagnétique est décrite par une combinaison de processus élémentaires → **diagrammes de Feynman**



- NB:
- une particule (e^-) a sa flèche dans le sens du temps
 - une antiparticule (e^+) a sa flèche dans le sens opposé au temps
 - le photon (γ), qui est sa propre antiparticule, n'a pas de flèche

| | |
|--|---|
| amplitude $\propto \prod_{\text{vertex } i} q_i$ | section efficace $\propto \text{amplitude} ^2$ |
|--|---|

QED (suite)

Plusieurs diagrammes de Feynman peuvent décrire le même processus (même état initial et même état final)

$$\sigma \propto |A_{\text{tot}}|^2 \quad \text{avec} \quad A_{\text{tot}} = \sum_i A_i \quad \begin{matrix} \text{somme sur tous les} \\ \text{diagrammes de} \\ \text{Feynman possibles} \end{matrix}$$

A_i = amplitudes complexes → phénomène d'interférences (constructives ou destructives) entre diagrammes

$$A_{\text{tot}} = \sum_k c_k \alpha^k = \sum_k c_k \left(\frac{1}{137} \right)^k = c_1 \frac{1}{137} + c_2 \underbrace{\left(\frac{1}{137} \right)^2}_{\text{négligeable}} + c_3 \left(\frac{1}{137} \right)^3 + \dots$$

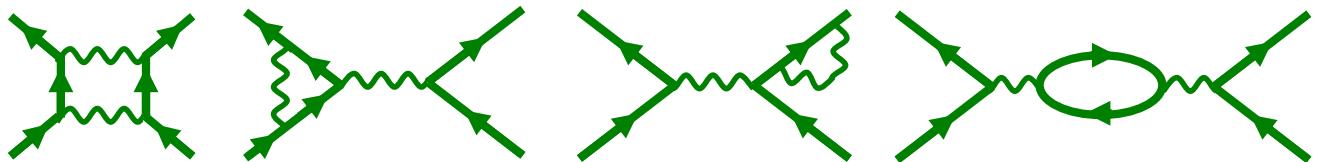
En première approximation, on ne considère que les diagrammes à l'ordre le plus bas en α , donc avec le plus petit nombre de vertex

Diffusion électron-électron (suite)

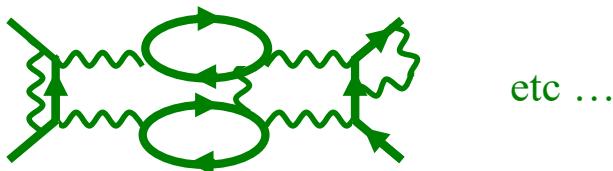
- Amplitude proportionnelle à e^2 , donc $\alpha = 1/137$



- Amplitudes proportionnelles à e^4 , donc $\alpha^2 = (1/137)^2$

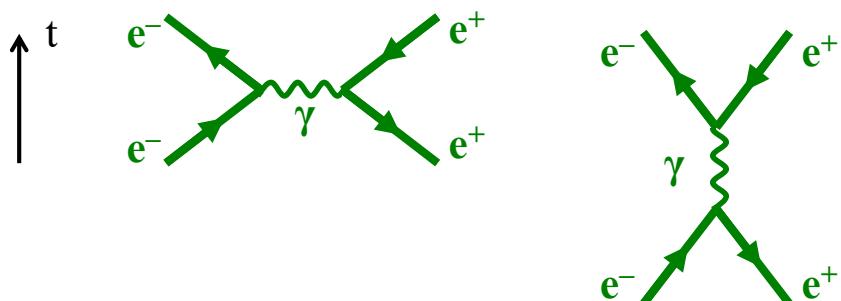


- Amplitudes proportionnelles à e^{14} , donc $\alpha^7 = (1/137)^7$



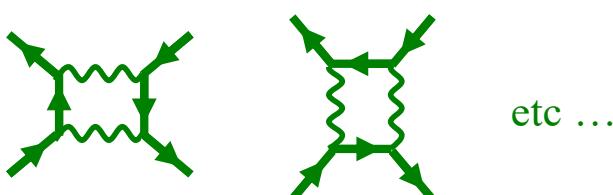
Diffusion électron-positon

- Amplitude proportionnelle à e^2 , donc $\alpha = 1/137$



$$\Rightarrow \sigma(e^+e^- \rightarrow e^+e^-) \neq \sigma(e^-e^- \rightarrow e^-e^-)$$

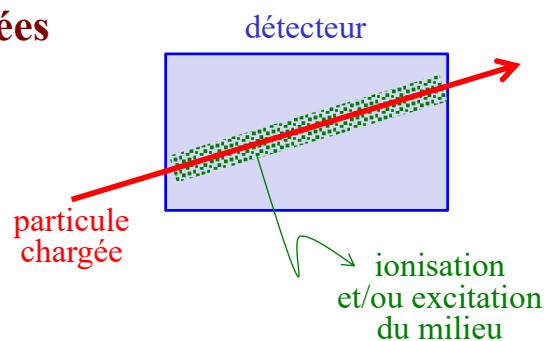
- Amplitudes proportionnelles à e^4 , donc $\alpha^2 = (1/137)^2$



Chapitre 3: DéTECTEURS

• DéTECTION DES PARTICULES CHARGÉES

- plaques photographiques
- chambres à bulles
- scintillateurs
- détecteurs à gaz, chambres à fils
- détecteurs à semi-conducteur
- ...



• DéTECTION DES PARTICULES NEUTRES (n , γ , ...)

- particule neutre interagit dans le détecteur en produisant (ou donnant de l'énergie à) une particule chargée, qu'on détecte

• “Calorimétrie”

- calorimètre électromagnétique
- calorimètre hadronique

