Examen de Physique des Particules

9 mai 2012 — Durée 2h00

Exercice 1 : Intéractions leptoniques

Indiquer la charge du lepton et le type de neutrino (ou d'anti neutrino) dans les processus suivants :

a) $\pi^+ \longrightarrow \pi^0 + e + \nu$

b) $\nu + p \longrightarrow n + e$

c) $\mu \longrightarrow e + \nu + \nu$

d) $\nu + p \longrightarrow \mu + p + \pi^+$

Exercice 2 : Diagrammes de Feynman

Dessiner les graphes de Feynman des processus suivants, pour chacun d'entre eux donner l'interaction mise en jeu

a) $e^+ + e^- \longrightarrow \tau^+ + \tau^-$

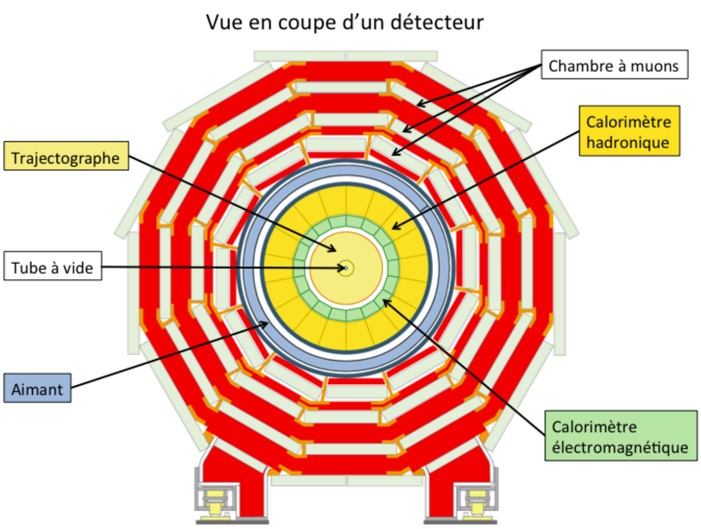
b) $n \longrightarrow p + e^- + \overline{\nu_e}$

c) $\pi^+ \longrightarrow \mu^+ \nu_\mu$

d) $e^- + \gamma \longrightarrow e^- + \nu_e + \overline{\nu_e}$

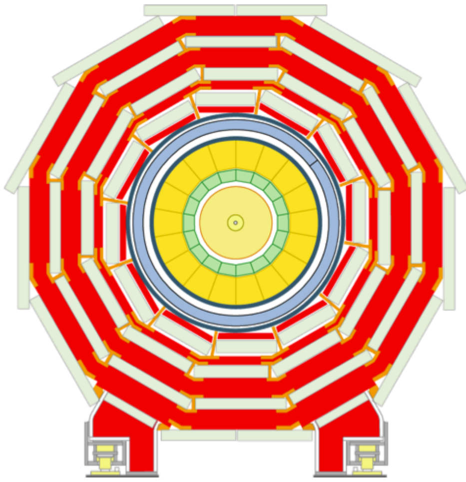
Exercice 3 : Détection

La figure ci-dessous représente la vue en coupe typique d'un détecteur de physique des particules

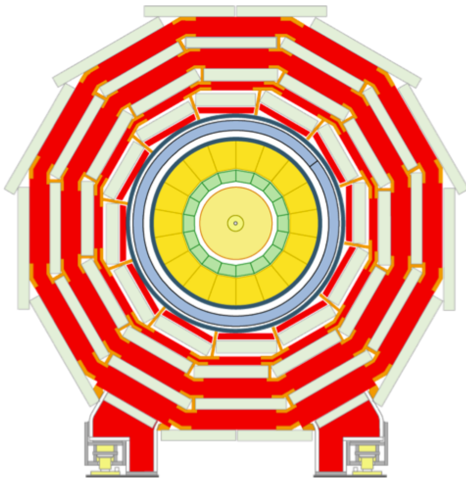


Représenter schématiquement sur les figures ci-dessous l'allure des événements pour chacun des processus

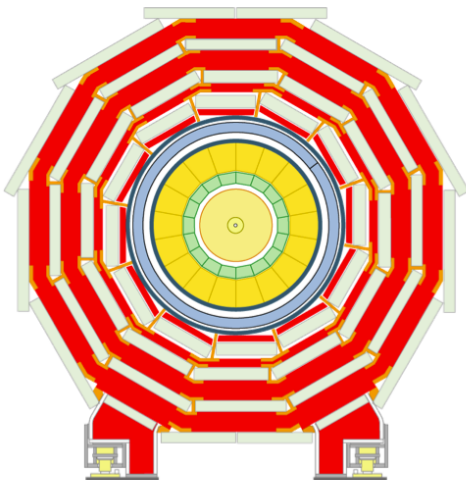
- $e^+ + e^- \longrightarrow e^+e^-$



- $e^+ + e^- \longrightarrow \mu^+\mu^-$



- $e^+ + e^- \longrightarrow \gamma + \gamma$



Exercice 4 : la diffusion $e^- \mu^-$

Règles de Feynman de l'interaction électrofaible :

- Pour les lignes externes d'un graphe :
  - à chaque particule de spin $\frac{1}{2}$ entrante, on associe : $u(p,s)$
  - à chaque particule de spin $\frac{1}{2}$ sortante, on associe : $\bar{u}(p,s)$
  - à chaque anti-particule de spin $\frac{1}{2}$ entrante, on associe : $\bar{v}(p,s)$
  - à chaque anti-particule de spin $\frac{1}{2}$ sortante, on associe : $v(p,s)$
  - à chaque particule de spin nul entrante, on associe une constante N_a
  - à chaque particule de spin nul sortante, on associe une constante N_a
  - à chaque anti-particule de spin nul entrante, on associe une constante N_a
  - à chaque anti-particule de spin nul sortante, on associe une constante N_a
- Pour les lignes internes d'un graphe :
  - propagateur de photon : $\frac{-ig^{\mu\nu}}{q^2}$
  - propagateur de fermion : $\frac{\gamma^\mu q_\mu + m}{q^2 - m^2}$
  - propagateur de boson massif : $-i\frac{g^{\mu\nu} - \frac{q^\mu q^\nu}{m^2}}{q^2 - m^2}$
- Pour les vertex :
  - entre un photon et 2 fermions de même charge e : $-ie\gamma^\mu$
  - entre un photon et 2 bosons de même charge e et de quadri-impulsions p_a et p'_a : $-ie(p_a + p'_a)^\mu$
  - entre un boson intermédaire $W^\pm$ et 2 fermions : $-i\frac{g}{2\sqrt{2}}\gamma^\mu(1-\gamma_5)$

Le signe global d'un diagramme n'étant pas observable, on doit tenir compte de la statistique de Fermi-Dirac en considérant que deux diagrammes différant par l'échange de deux fermions identiques dans l'état initial ou final, ou l'échange d'une paire fermion-antifermion dans l'état initial ou final doivent avoir des signes opposés.

---

1 / Par quel(s) type(s) d'interaction la diffusion $e^-\mu^-$ peut-elle se produire ? On se limitera au processus dominant à basse énergie.

2 / Quel(s) graphe(s) contribuent au processus étudié ?

3 / Quel(s) graphe(s) contribuerai(en)t au processus $e^+ e^- \longrightarrow e^+ e^-$?

4 / En appliquant les règles de Feynman, exprimer l'élément de matrice de transition noté T. On adoptera les variables cinématiques suivantes : $e^-(p_a, \lambda_a)\, \mu^-(p_b, \lambda_b) \longrightarrow e^-(p_1, \lambda_1)\, \mu^-(p_2, \lambda_2)$

5 / Exprimer le conjugué T^* de cet élément de matrice.

6 / Définir l'élément de matrice moyen $|\bar{T}|^2$ et donner son expression littérale en fonction de $|T|^2$, λ_a, λ_b, λ_1, λ_2.

7 / Montrer que $|\bar{T}|^2$ se met sous la forme :

$$|\bar{T}|^2 = \frac{e^4}{4\,q^4}\,\mathrm{Tr}((\not{p}_1 + m_e)\gamma_\mu(\not{p}_a + m_e)\gamma_\nu)\,\mathrm{Tr}((\not{p}_b + m_\mu)\gamma^\mu(\not{p}_2 + m_\mu)\gamma^\nu)$$

8 / Calculer $|\bar{T}|^2$ dans la limite ultra-relativiste.
On rappelle les propriétés des matrices γ suivantes :

$$\begin{aligned}
\mathrm{Tr}(\gamma^\mu\gamma^\nu\gamma^\alpha\gamma^\beta) &= 4(g^{\mu\nu}g^{\alpha\beta} - g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta} + g^{\mu\beta}g^{\nu\alpha}) \\
\gamma_\alpha\gamma_\mu\gamma_\nu\gamma^\alpha &= 4g_{\mu\nu} \\
\gamma_\alpha\gamma_\mu\gamma_\nu\gamma_\rho\gamma^\alpha &= -2\gamma_\rho\gamma_\nu\gamma_\mu
\end{aligned}$$

9 / Justifier que la section efficace différentielle du processus s'écrit :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{64\pi^2 s} 2e^4 \frac{s^2+u^2}{t^2}$$

On définira les variables cinématiques s, t et u.

10 / En se plaçant dans le centre de masse et en adoptant la cinématique décrite Fig. 1, donner l'expression de la section efficace différentielle en fonction de l'angle de diffusion.

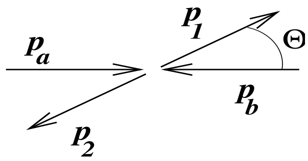


Figure 1: Cinématique dans le centre de masse pour le processus $e^-\,\mu^- \longrightarrow e^-\,\mu^-$.