



UNIVERSITY OF STRASBOURG

Particle Physics 1st session

A. Besson

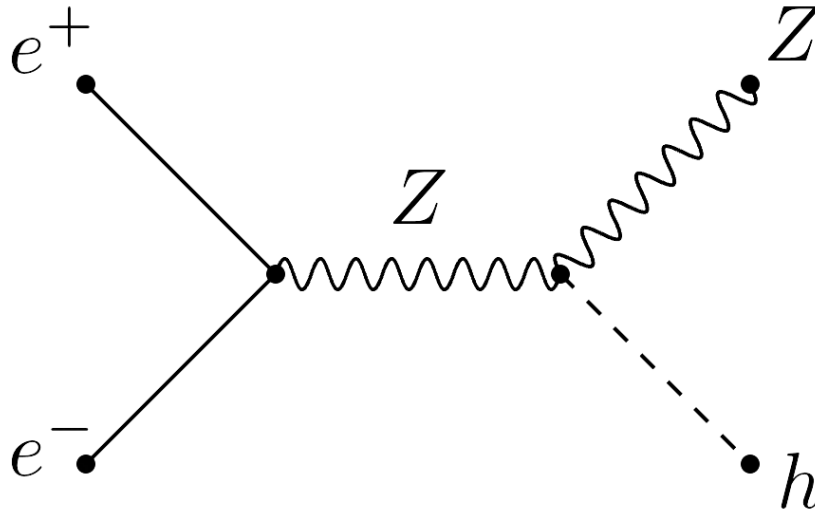
Transcribed by
PIERRE GUICHARD

M1-S2 2016-2017

1 — Production et désintégration du Boson de Higgs

On étudie la production du boson de Higgs via interaction faible dans les collisions électron positon selon le processus ($e^+e^- \rightarrow ZH$).

1. Dessiner le diagramme de Feynman correspondant.



2. Au collisionneur LEP, dont l'énergie maximum dans le centre de masse a atteint $\sqrt{s} = 209$ GeV / c^2 on a cherché à découvrir le boson de Higgs (dont on ignorait alors la masse) par ce canal. Pourquoi ne l'a-t-on pas observé ?

$$m_Z = 91 \text{ GeV} \quad m_h = 125 \text{ GeV} \quad \rightarrow m_{\text{tot}} = 216 \text{ GeV} > 209 \text{ GeV}$$

Alors on voit bien que l'énergie maximale dans le centre de masse est inférieure à l'énergie boson Z et boson de Higgs, alors il n'est pas possible de le produire avec aussi peu d'énergie.

3. Une fois connue la masse du boson de Higgs, on est capable de prédire les différents rapports d'embranchement des différentes désintégrations possibles. Indiquer parmi les voies suivantes, les désintégrations simples (c'est à dire avec un diagramme à l'arbre sans boucles) possibles dans le modèle standard (en justifiant votre réponse) :

(a) $h \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$

Non dans le modèle standard car les neutrinos n'ont pas de masse.

(b) $h \rightarrow u \bar{c}$

Non conservation de la saveur.

(c) $h \rightarrow c\bar{c}$

ok

(d) $h \rightarrow b\bar{b}$

ok

(e) $h \rightarrow t\bar{t}$

ok

(f) $h \rightarrow \mu^+\mu^-$

ok

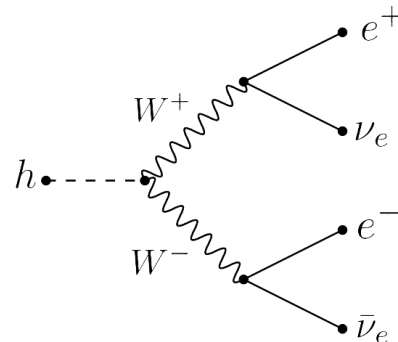
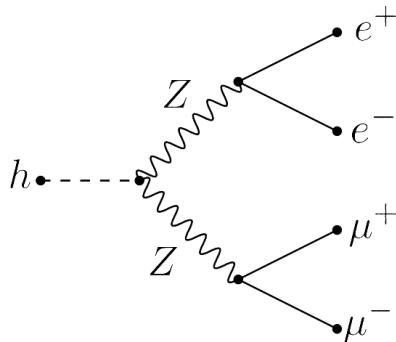
(g) $h \rightarrow gg$

Pas direct.

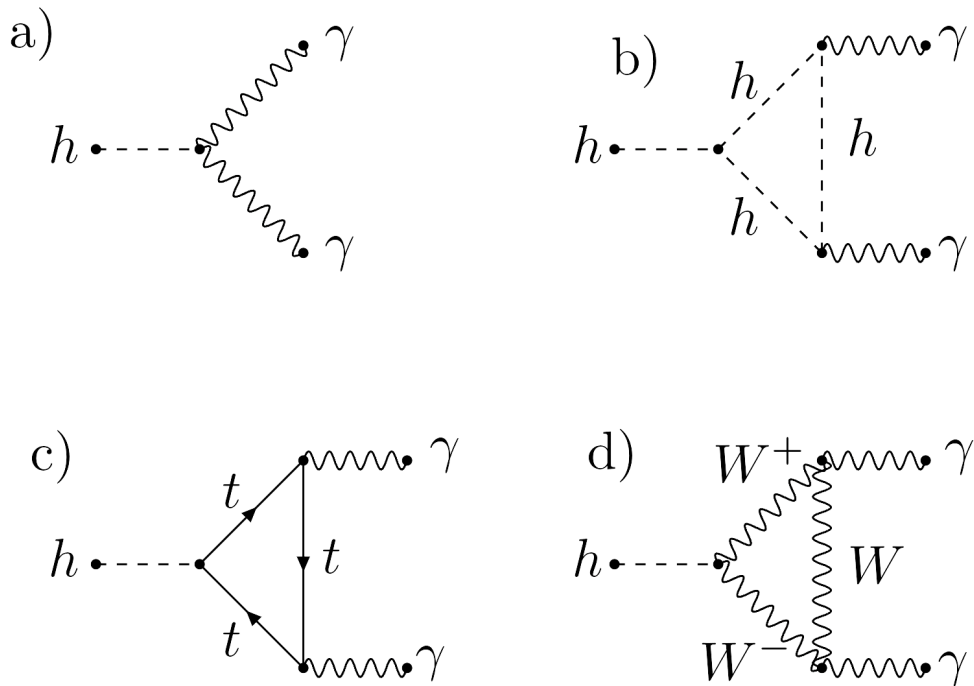
4. Dessiner les canaux de désintégration suivants : (indice : faire intervenir des bosons de l'interaction faible)

(a) $h \rightarrow e^+e^-\mu^+\mu^-$

(b) $h \rightarrow e^+\nu_e\mu^-\bar{\nu}_\mu$



5. En fait, il existe également le canal rare $h \rightarrow \gamma\gamma$. Expliquez parmi les quatre diagrammes de la figure 1 lesquels sont possibles :



(a) et (b) ne sont pas possible car γ sans masse. (c) et (d) sont possible.

6. On donne le rapport d'embranchement du Higgs se désintégrant en $b\bar{b}$: $Br(h \rightarrow b\bar{b}) = 0.57$.
On donne : $\hbar = 1.055 \times 10^{-34}$ J.s = 6.582×10^{-16} eV.s. En déduire la largeur partielle $\Gamma_{(h \rightarrow b\bar{b})}$ (en MeV).

$$\tau = \frac{\hbar}{\Gamma_{\text{tot}}}$$

$$\tau = 1.56 \times 10^{-22} \text{ s}$$

$$\frac{\Gamma_{h \rightarrow b\bar{b}}}{\Gamma_{\text{tot}}} = Br(h \rightarrow b\bar{b})$$

Alors,

$$\Gamma_{h \rightarrow b\bar{b}} = Br(h \rightarrow b\bar{b}) \times \frac{\hbar}{\tau} \sim \frac{0.57 \times 6.58 \times 10^{-16}}{1.56 \times 10^{-22}} \sim 2.4 \text{ MeV}$$

7. Connaissant les spins des leptons et du Z , quels sont les spins possible du h produit (en supposant qu'on ne le connaît pas) ?

Spin e^+ , e^- : 1/2. Spin Z : 1. Alors les spin de higgs peuvent être 0, 1 ou 2.

2 — Étude cinématique et principe de la masse de recul

On se place maintenant dans le cadre d'un futur collisionneur linéaire e^+e^- dont l'énergie dans le centre de masse est $\sqrt{s} = 250$ GeV. Les deux faisceaux de e^+ et de e^- ayant la même énergie de 125 GeV, le repère du laboratoire et du centre de masse sont confondus. On étudie la cinématique de production dans le canal ($e^+e^- \rightarrow ZH$), où le Z se désintègre dans le canal $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$. On veut obtenir une mesure de la masse du boson de Higgs indépendante des produits de désintégrations du boson de Higgs, c'est-à-dire en ne mesurant que les propriétés cinématiques des deux muons issus du Z . On note les 4-vecteurs du h et du Z : $\tilde{q}_h = (E_h, \vec{p}_h)$ et $\tilde{q}_Z = (E_Z, \vec{p}_Z)$.

1. Montrer que :

$$E_h^2 = m_h^2 + E_Z^2 - m_Z^2$$

$$E_h^2 = p_h^2 + m_h^2,$$

$$E_Z^2 = p_Z^2 + m_Z^2$$

Et on sait que

$$p_Z^2 = p_h^2$$

Alors,

$$E_h^2 = p_h^2 + m_h^2,$$

$$E_Z^2 = p_Z^2 + m_Z^2$$

2. On rappelle que $s = (\tilde{q}_h + \tilde{q}_Z)^2$. En écrivant $2E_h\sqrt{s}$, montrer que :

$$E_h = \frac{s + m_h^2 - m_Z^2}{2\sqrt{s}}$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{(\tilde{q}_h + \tilde{q}_Z)^2} = \sqrt{(E_h + E_Z)^2 - (\vec{p}_h + \vec{p}_Z)^2} = E_h + E_Z$$

$$2E_h\sqrt{s} = 2E_h^2 + 2E_hE_Z = m_h^2 + E_Z^2 - m_Z^2 + 2E_hE_Z + E_h^2$$

Alors,

$$E_h = \frac{E_h^2 + 2E_hE_Z + E_Z^2 + m_h^2 - m_Z^2}{2\sqrt{s}} = \frac{s + m_h^2 - m_Z^2}{2\sqrt{s}}$$

3. Montrer de même que :

$$E_Z = \frac{s + m_Z^2 - m_h^2}{2\sqrt{s}}$$

Par symétrie.

4. En déduire que :

$$m_h = \sqrt{s + m_Z^2 - (E_\mu + E_{\mu^+})2\sqrt{s}}$$

$$E_Z = E_{\mu^+} + E_{\mu^-}$$

$$E_{\mu^+} + E_{\mu^-} = \frac{s + m_Z^2 - m_h^2}{2\sqrt{s}}$$

Alors,

$$2\sqrt{s}(E_{\mu^+} + E_{\mu^-}) = s + m_Z^2 - m_h^2$$

Alors,

$$m_h = \sqrt{s + m_Z^2 - (E_\mu + E_{\mu^+})2\sqrt{s}}$$

3 — Spin du τ et réaction $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$

1. On se place au seuil de la réaction, c'est-à-dire lorsqu'on produit les deux τ au repos. Pourquoi peut-on considérer que le moment orbital \vec{L} du système est nul ?

$$\vec{p} = \vec{0} \implies \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{0}$$

2. Quelles sont les interactions qui conservent la parité ?

Electromagnetique, forte.

3. On rappelle que par convention la parité des e^- est $+1$. On suppose qu'on ne connaît pas le spin des τ . Si la réaction conserve la parité, indiquer comment déterminer si le τ est un fermion ou un boson.

$$\eta(e^-) = +1$$

$$\eta(e^+) = -1$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{tot}} &= \eta(e^-) \times \eta(e^+) = -1 \\ &= \eta(\tau^-) \times \eta(\tau^+) \times (-1)^L \end{aligned}$$

Si τ fermion,

$$\eta(\tau^-) = -\eta(\tau^+) \implies \eta_{\text{tot}} = -1$$

Si τ Boson,

$$\eta(\tau^-) = \eta(\tau^+) \implies \eta_{\text{tot}} = +1$$