Tentamen Inleiding Elementaire Deeltjes 2009

29/06/2009

Vermeld op ieder vel papier je naam en studentnummer. Schrijf duidelijk: onleesbaar = fout. Samenwerken is toegestaan; vermeld in dat geval wel met wie je hebt samengewerkt. Uitgewerkte opgaven dienen **uiterlijk** donderdag 09/07/2009, 15:00 uur te worden ingeleverd bij het secretariaat van het IMAPP, HG03.830. Tentamens die later of op enige andere wijze worden ingeleverd (bv onder kamerdeuren doorgeschoven) zullen niet beoordeeld worden. Veel succes!

Bij het beantwoorden van de vragen is het uitdrukkelijk toegestaan en zelfs aanbevolen informatie van het Web te halen: geef dan wel de bron er bij.

1 : De deeltjes van het Standaard Model

Geef een overzicht van alle tot dusverre waargenomen *elementaire* deeltjes van het Standaard Model. Geef bij elk deeltje de massa, de lading, de spin, en de isospin. Geef ook bij elk deeltje precies aan aan welke van de elementaire wisselwerkingen het onderworpen is. Laat de zwaartekracht buiten beschouwing.

2 : De padintegraal

Geef in je eigen woorden de redenering weer die leidt van het twee-spleten experiment in de quantummechanica tot het idee van de pad-integraal.

3 : Anti-proton productie

Historisch zijn anti-protonen voor het eerste geproduceerd in het proces

$$\mathrm{p}\ \mathrm{p} \quad \rightarrow \quad \mathrm{p}\ \mathrm{p}\ \mathrm{p}\ \bar{\mathrm{p}}$$

Hierbij is één van de protonen in de begintoestand in rust, de andere botst er op met een totale energie E. De protonmassa geven we aan met m.

1. Leg uit waarom de eindtoestand niet $\mathrm{p}\ \mathrm{p}\ \bar{\mathrm{p}}$ of $\mathrm{p}\ \bar{\mathrm{p}}$ kan zijn.
2. Bereken de *minimale* energie E die nodig is om dit proces althans energetisch mogelijk te maken. druk je antwoord uit in eenheden mc^2.

4 : Electron-positron annihilatie en quark-antiquark annihilatie

1. Geef de Feynman diagrammen (op laagste orde) van de processen

$$e^+\ e^- \quad \rightarrow \quad \gamma\ \gamma \quad \text{en} \quad e^+\ e^- \quad \rightarrow \quad \gamma\ \gamma\ \gamma$$

2. Welk van deze twee processen heeft de grootste waarschijnlijkheid volgens jou?
3. Bereken (zonder ze te tekenen!) hoeveel diagrammen op laagste orde het annihilatieproces van e^+e^- naar 8 fotonen bevat.

4. Geef (weer op laagste orde) de Feynman diagrammen van de processes

$$q\,\bar{q} \;\rightarrow\; g\,g \quad \text{en} \quad q\,\bar{q} \;\rightarrow\; g\,g\,g$$

   d.w.z. quark-antiquark annihilatie in 2 of 3 gluonen.

5. Verwacht je voor quark-antiquark annihilatie in 8 gluonen meer, minder, of evenveel diagammen als voor e^+e^- annihilatie in 8 fotonen?

6. Zou je in quark-antiquark annihilatie de gluonen direct kunnen waarnemen? Zo ja/nee, leg dan uit waarom wel/niet.

5 : Neutron verval
een proton bestaat uit de quark-combinatiie $p = (uud)$, een neutron uit de combinatie $n = (udd)$ en een π^--deeltje uit de combinatie $\pi^- = \bar{u}d$.

1. Geef het laagste-order Feynman diagram voor het (zwakke-interactie) verval

$$\pi^- \;\rightarrow\; e^-\,\bar{\nu}_e$$

   en leg uit waarom de eindtoestand niet $e^-\,\nu_e$ kan zijn

2. Geef laagste-orde Feynman diagram(men) voor het verval van een neutron waarbij (onder andere) een proton wordt gevormd.

3. Laat zien waarom dit vervalsproces ook wel gezien zou kunnen worden als $n \;\rightarrow\; p\,\pi^-$ gevolgd door pion verval. Hoe zou in dat geval de vorm van het/de Feynman diagram(men) zijn?

6 : Higgs verval We hebben het Higgs-deeltje H nog niet gevonden, maar wel weten we dat de massa *minstens* 115 GeV/c^2 is.

1. Maak een overzicht van de mogelijke Higgs massa's waarbij je aangeeft wat volgens jou het *dominante* verval zal zijn. Met andere woorden : als de massa light tussen ... en ..., zal het dominante verval het process ... zijn; enzovoort

2. Geef aan waarom op laagste orde het verval $H \;\rightarrow\; \gamma\,\gamma$ niet mogelijk is.

3. Laat zien dat op hogere orde dit verval *wel* mogelijk is, door een toegestaan hogere-orde diagram voor dit proces te tekenen.