

Electroweak Interactions

 tuyaux.winak.be/index.php/Electroweak_Interactions

Electroweak Interactions

Richting	<u>Eysica</u>
Jaar	<u>MFYS</u>
Studiepunten	6

Bespreking

Dit vak wordt gegeven door professor Sevrin (best te bereiken via zijn vub-mail: Alexandre.Sevrin@vub.be). Voor de mensen die QFT al hebben gevolgd, zal snel blijken dat de laatste les van QFT een zeer indicatieve inleiding is voor dit vak. In dit vak bouw je het standaardmodel op, al startende van de elektrozwakke interacties. De uitwerkingen worden door de professor gedaan voor geval X (bijvoorbeeld uitwerking met 2-dimensionale representatie van een spinor) en in de taken doorheen het jaar werk je dan geval Y (uitwerking van diezelfde bewerking met n-dimensionale representatie) uit. Deze taken zijn de enige echte uitwerkingen die je in dit vak zult doen, en deze kunnen al heel veel punten opleveren nog voor je aan het examen begint. Er is geen cursus, maar hij geeft wel zijn eigen notities als je er naar vraagt (staan fouten in, maar is wel een goede basis om vanuit te gaan), en het is vooral gebaseerd op het boek van Mandl & Shaw (Thomas van Laer heeft sinds 2022 een cursus uitgewerkt voor dit vak, je kan deze cursus vinden op de Dropbox). Het examen zelf zal eerder bestaan uit inzichtsvragen dan expliciete berekeningen. Volgens prof. Sevrin zelf staat er in de Leuvense editie van de Tuyaux dat hij "niet krenterig is met punten, maar je moet er wel voor werken".

Puntenverdeling

1/3 taken doorheen het jaar, 1/3 examenpaper + presentatie, 1/3 mondelinge ondervraging over concepten uit de cursus. Voor de examenpaper lijst professor Sevrin zelf enkele onderwerpen op, maar op zich heeft hij het liefst dat je hem verrast met een onderwerp. Enkele gekozen onderwerpen van de afgelopen jaren: Anomale stromen in Chirale QCD, MSW-effect, Baryogenese, SU(5) als GUT. Op het examen vraagt hij vooral vragen in verband met de geziene experimenten en in het specifiek Higgsproductie en -vervalen.

Examenvragen

Academiejaar 2022-2023 1^{ste} zit

1. Waarom vervallen pionen liever naar muonen dan elektronen? Elektronen zijn lichter en de faseruimte zou meer vervallen moeten toelaten naar lichtere deeltjes?
2. Teken het Higgsverval naar 2 fotonen, kan dit ook gedragen worden door Z^0 ?
3. Waarom is er een dal in het Higgs naar ZZ verval rond 160 GeV terwijl een hogere massa een hogere koppeling zou betekenen?
4. Waarom begint het theoretisch Higgs naar WW verval al bij zo'n lage massa, terwijl het Higgs nog geen massa van 2 W's zou hebben?
5. Waarom vervalt een W-boson $1/3$ van de tijd naar leptonen en $2/3$ naar quarks?
6. Verklaar het ordeverschil in verval van Higgs naar $b\bar{b}$ en $\tau^+\tau^-$, wetende dat de massaverhouding 2 is
7. Waarom is het theoretisch Higgsverval naar WW waarschijnlijker dan naar ZZ , ZZ is zwaarder en heeft een hogere koppeling? Waarom is er in dit geval een factor 2 verschil?
8. Als je 's ochtends op de weegschaal staat, hoeveel procent van je massa is afkomstig van het BEH-mechanisme (en van waar is de rest afkomstig)?
9. Welk onderzoek werd er gedaan bij de LEP100 en LEP200 en waar slagen de 100 en 200 op?
10. Zijn we zeker dat er maar 3 generaties neutrino's zijn? (We zijn zeker dat hogere generaties meer dan 45 GeV massa zouden moeten hebben)
11. Hoe weten we dat de elektrozwakke kracht alleen met linkshandige materiedeeltjes werkt (wat is de experimentele input nodig om SM op te stellen)?

We gebruiken natuurlijke eenheden en stellen ter vereenvoudiging $c=1$ en $\hbar=1$. Nummer elke bladzijde van uw schriftelijke voorbereiding en schrijf uw naam op elk blad.

Academiejaar 2015-2016 1^{ste} zit

(Geen examenvragen kunnen bijhouden, dus samengevat wat er ongeveer gevraagd werd)

1. Schriftelijke vraag (voor te bereiden en op mondeling te verdedigen): Theorie van Higgs mechanisme voor twee BEH bosonen in plaats van een (elk zijn ze $SU(2)$ doubletten met lading $1/2$). Lagrangiaan van de vorm

$$L = D_\mu \Phi_1^\dagger D_\mu \Phi_1 + D_\mu \Phi_2^\dagger D_\mu \Phi_2 + V(\Phi_1^\dagger \Phi_1, \Phi_2^\dagger \Phi_2) \\ L = D_\mu \Phi_1^\dagger D_\mu \Phi_1 + D_\mu \Phi_2^\dagger D_\mu \Phi_2 + V(\Phi_1^\dagger \Phi_1, \Phi_2^\dagger \Phi_1, \Phi_1^\dagger \Phi_2, \Phi_2^\dagger \Phi_2)$$

waarbij $D_\mu D_\mu$ de juiste covariante afgeleide is, zodat de Lagrangiaan invariant is onder $SU(2) \times U(1)$. De potentiaal zorgt ervoor dat de vacuüm verwachtingswaarde van de twee scalaire deeltjes liggen bij

$$\langle 0 | \Phi_1 | 0 \rangle = \sqrt{v_1} \text{ en } \langle 0 | \Phi_2 | 0 \rangle = \sqrt{v_2} \\ \langle 0 | \Phi_1 | 0 \rangle = \sqrt{v_1} \text{ en } \langle 0 | \Phi_2 | 0 \rangle = \sqrt{v_2}$$

1. Voer (voor de eenvoud) een rotatie uit naar $\Phi_a = \cos\beta\Phi_1 - \sin\beta\Phi_2$ en $\Phi_2 = -\sin\beta\Phi_1 - \cos\beta\Phi_2$ (met $\tan\beta = v_2/v_1$) en geef eigenschappen van de BEH bosonen (voer unitaire ijk uit, welke vrijheidsgraden blijven over, wat is de lading van de deeltjes,...)
2. Wat is de massa voor de WW en ZZ bosonen?

1. Mondelinge vraag (stond ook bij op het blad, maar was niet echt nodig om voor te bereiden voor het mondeling): Gegeven de Lagrangiaan van de koppeling van het BEH veld aan fermionen en aan de WW en ZZ bosonen, de experimentele massa's van de elementaire deeltjes en de figuur met branching ratios van het BEH veld (zie academiejaar 2014-2015); bespreek het verval naar $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, $\gamma\gamma$, gg , W^+W^- , ZZ , ...

Academiejaar 2014-2015 1^{ste} zit

Het scalair verval...

Beschouw het Standaard Model zoals we die in de cursus ontwikkelden. In de unitaire ijk wordt de koppeling van het Brout-Englert-Higgs (BEH) veld (σ) aan leptonen en quarks gegeven door,

$$\mathcal{L}_H = -1vm\psi\sigma\psi^\dagger,$$

$$\mathcal{L}_H = -1vm\psi\sigma\psi^\dagger,$$

en de koppeling van het BEH veld aan de WW en ZZ is,

$$\mathcal{L}_{HB} = v g_2^2 \sigma W_\mu^\dagger W_\mu + g_2^2 \sigma W_\mu^\dagger W_\mu + v g_2^2 \cos 2\theta_W \sigma Z_\mu Z_\mu + g_2^2 \cos 2\theta_W \sigma Z_\mu Z_\mu.$$

$$\mathcal{L}_{HB} = v g_2^2 \sigma W_\mu^\dagger W_\mu + g_2^2 \sigma W_\mu^\dagger W_\mu + v g_2^2 \cos 2\theta_W \sigma Z_\mu Z_\mu + g_2^2 \cos 2\theta_W \sigma Z_\mu Z_\mu.$$

Enkele massa's (in eenheden GeV/c^2)

$$m_W = v g_2^2 \approx 80;$$

$$m_W = v g_2^2 \approx 80;$$

$$m_Z = m_W \cos \theta_W \approx 91;$$

$$m_Z = m_W \cos \theta_W \approx 91;$$

$$m_e \approx 0,51 \times 10^{-3}; m_\mu \approx 0,11; m_\tau \approx 1,8; m_u \approx 1-5 \times 10^{-3}; m_d \approx 3-9 \times 10^{-3};$$

$$m_e \approx 0,51 \times 10^{-3}; m_\mu \approx 0,11; m_\tau \approx 1,8; m_u \approx 1-5 \times 10^{-3}; m_d \approx 3-9 \times 10^{-3};$$

$$m_c \approx 1,15-1,35; m_s \approx 0,075-0,17; m_t \approx 170; m_b \approx 4,0.$$

$$m_c \approx 1,15-1,35; m_s \approx 0,075-0,17; m_t \approx 170; m_b \approx 4,0.$$

1. Vooraleer naar de unitaire ijk te gaan introduceerden we een scalair doublet Φ . Dit veld transformeerde als een doublet onder $SU(2)_L$ en had zwakke hyperlading $1/2$. Waarom hebben we deze keuzes gemaakt?
2. Vergelijk de sterkte van de scalar-lepton (en de scalar-quark) interacties met de corresponderende elektromagnetische interactie sterkte. Gebruik $g \sin \theta_W = e$.

3. Op de bijgevoegde figuur vind je de *branching ratios* voor het verval van het BEH deeltje H^0H^0 als functie van haar massa $M_{H^0H^0}$ ($M_H = \sqrt{2\lambda} \phi$ of $M_H = \sqrt{2\lambda} \phi$). Voor een zeer lichte H^0H^0 zie je dat het BEH deeltje vooral in een $b\bar{b}b\bar{b}$ paar vervalt. Voor ongeveer elke 12 BEH deeltjes die in een $b\bar{b}b\bar{b}$ vervallen is er één die in een $\tau^+\tau^-\tau^+\tau^-$ paar vervalt. Kun je dit verschil kwalitatief verklaren (rond de massa's van $b\bar{b}$ -quark en $\tau\tau$ -lepton af op resp. 4 en 2 GeV/c²)?

4. Je ziet dat een BEH-deeltje met $M_H \approx 125 \text{ GeV}/c^2$ zowel in een gluon paar ($gggg$) als in een foton paar ($\gamma\gamma\gamma\gamma$) kan vervallen. Dit is merkwaardig. Leg uit!

Item Bespreek het verval naar $W^+W^-W^+W^-$ en naar $Z^0Z^0Z^0Z^0$ paren.

