


Inleiding relativiteitstheorie & elementaire deeltjes

 tuyaux.winak.be/index.php/Inleiding_relativiteitstheorie_%26_elementaire_deeltjes

Inleiding relativiteitstheorie & elementaire deeltjes

Richting

Eysica

Jaar

2BFYS

Bespreking

Dit vak bestaat uit twee grote delen. Het eerste deel omvat de beperkte relativiteit, en het tweede is een inleiding in elementaire deeltjes. Het tweede deel is wel vrij vaag en is ook voor de meesten het moeilijkste deel, het is daarom zeer verstandig om zeker hier naar de lessen te gaan. De oplossingen van de oefeningen komen normaal op Blackboard maar aangezien het examen enkel oefeningen is kan je best toch zoveel mogelijk naar de lessen gaan om extra uitleg van de assistent te krijgen. Het examen is openboek met enkel oefeningen. Mispak je hier wel niet aan want de oefeningen zijn van hoog niveau.

Puntenverdeling

Het examen omvat enkel oefeningen en is openboek.

Examenvragen

Academiejaar 2021-2022 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

1. Een pulsar stuurt radiogolven uit met een frequentie van 1 Hz. Welke frequentie zou je observeren indien je in een ruimteschip zit dat met een snelheid $0.9c$ beweegt naar de pulsar toe, van de pulsar weg alsook voor de richting loodrecht op de richting van de pulsar. Verduidelijk dit tevens met een ruimtetijd-diagram.
2. Een deeltje met rustmassa m_0 vervalt in zijn rustsysteem door een foton uit te sturen. Daarbij vermindert de rustmassa met δm . Bepaal de energie van het foton in het ruststelsel van het moederdeeltje.

- $$\sigma_{\text{tot}} = 1 \text{ p} \ln(I(0)/I(s))$$

4. Teken de laagste-orde Feynman-diagrammen voor de volgende interacties (Indien er meer dan één laagste-orde diagram is, teken ze dan allemaal.):

- $e^-e^- \rightarrow e^-e^-e^-e^- \rightarrow e^-e^-$
- $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-e^+e^- \rightarrow e^+e^-$
- $e^- \nu_e \rightarrow e^- \nu_e e^- \nu_e \rightarrow e^- \nu_e$
- $e^- \bar{\nu}_e \rightarrow e^- \bar{\nu}_e e^- \bar{\nu}_e \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$

1. Twee hardlopers zijn een afstand D van elkaar verwijderd langs de y -as en staan klaar om een loopwedstrijd te starten in de richting van de x -as (die loodrecht staat op de y -as). Om een eerlijke kans te geven aan de zwakste van de twee hardlopers mag hij iets vroeger vertrekken. Er worden dus twee startschoten gegeven, met tijdsverschil T .
 - Voor welk interval van tijdsverschillen in het ruststelsel S bestaat er een ander stelsel S' waar er geen voorsprong wordt gegeven aan de zwakste loper?
 - Bepaal de coëfficiënten van de Lorentztransformatie in dit geval.
2. Een geladen kaon, met een kinetische energie van 500 MeV, vervalt in een muon en een neutrino. Maak een schets van het verval waarbij het muon de grootst mogelijke energie heeft. Hoeveel bedraagt die grootst mogelijke energie?
3. Bepaal de dikte van een blok ijzer waardoor een bundel neutrino's met een energie van 200 GeV moet propageren om 1 op 109109 neutrino's te laten interageren. Neem aan dat de werkzame doorsnede van de neutrino-nucleon interactie wordt gegeven door 10^{-11}Evm^2 , waarbij E de energie van het neutrino is in GeV. De dichtheid van ijzer is 7900kgm^{-3} . $Z_{\text{Fe}}=56$.
4. Leg uit welke wisselwerking verantwoordelijk is voor de volgende reacties en teken telkens een Feynman diagram.
 - $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$
 - $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$
 - $D^0 \rightarrow D^- \pi^+$

Teken Feynmandiagrammen en vervang het symbool ℓ met het correcte lepton in de volgende reacties:

1.

- $\tau^- \rightarrow \mu^- + \ell_1 + \ell_2$
- $B^0 \rightarrow D^- + \mu^+ + \ell$

Academiejahr 2018-2019 2^{de} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

1. Bij de LHC botsen protonen frontaal en met gelijke snelheid op elkaar met een massamiddelpuntsenergie van 14 TeV. De protonen cirkelen rond in pakketjes met een lengte van 30 cm in het laboratoriumstelsel. Noem de protonen die met de klok mee rondcirkelen AA en de protonen die tegen de klok in rondcirkelen BB.
 - Hoeveel minder dan de lichtsnelheid bedraagt de snelheid van de protonen in het laboratoriumstelsel (in km/u)?
 - Hoeveel minder dan de lichtsnelheid bedraagt de snelheid van protonen AA in het ruststelsel van protonen BB (in km/u)?
 - Hoe groot is het tijdverschil, in het ruststelsel van protonen AA, tussen het moment dat de eerste protonen AA uit een pakketje het pakketje met protonen BB volledig doorkruist hebben enerzijds en het moment dat de laatste protonen van pakketje AA de eerste protonen van pakketje BB tegenkomen anderzijds?
 - Hoe groot is hetzelfde tijdverschil in het ruststelsel van protonen BB?
 - Hoeveel bedraagt de ruimtetijdafstand Δs^2 tussen deze twee gebeurtenissen?
2. Pionen in een bundel met een energie van 5 GeV vervallen tijdens hun vlucht via $\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}$. Wat is de maximale en minimale energie van het muon?

3. De kosmische (elektromagnetische) achtergrondstraling in het heelal heeft een temperatuur van ongeveer 3 K en het corresponderende Planck spectrum bij 0,37 meV. Neem verder 10 meV als een absolute bovenlimiet voor de energie van deze achtergrondstraling. Beschouw het proces $\gamma p \rightarrow p \pi^0$, met het foton afkomstig van de kosmische achtergrondstraling.
- Bepaal de minimale energie van protonen om via de bovenstaande reactie een π^0 te produceren. Deze energie wordt de Greisen-Zatsepin-Kusmin (GZK) energie genoemd.
 - De werkzame doorsnede voor het proces $\gamma p \rightarrow p \pi^0$ net boven de GZK energie bedraagt 0,6 mb en neemt toe bij hogere energie. Bereken de attenuatielengte voor kosmische protonen uitgaande van een dichtheid aan fotonen uit de achtergrondstraling van $400 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$ tot $3400 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$. Verwacht je hier op aarde kosmische (i.e. extragalactische) protonen boven de GZK-energie? (Het dichtstbijzijnde sterrenstelsel bevindt zich enkele miljoenen lichtjaar van ons verwijderd.)
4. Teken de laagste-orde Feynman-diagrammen voor de volgende interacties (Indien er meer dan één laagste-orde diagram is, teken ze dan allemaal.):
- $e^- e^- \rightarrow e^- e^- e^- e^- \rightarrow e^- e^-$
 - $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^- e^+ e^- \rightarrow e^+ e^-$
 - $e^- \nu_e \rightarrow e^- \nu_e e^- \nu_e \rightarrow e^- \nu_e$
 - $e^- \bar{\nu}_e \rightarrow e^- \bar{\nu}_e e^- \bar{\nu}_e \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$

Academiejaar 2018-2019 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

1. De afstand aarde-zon bedraagt 8,38,3 lichtminuten. Verwaarloos de relatieve beweging van de aarde rond de zon en ga ervan uit dat ze beide hetzelfde Lorentz-stelsel hebben. Twee gebeurtenissen AA en BB hebben respectievelijk plaats op $t=0$ op aarde en $t=2$ minuten op de zon.
1. Bepaal het tijdsverschil tussen de twee gebeurtenissen voor een waarnemer die met een snelheid $v=0,8c$ van de aarde naar de zon reist.
 2. Herhaal deze berekening voor een waarnemer die met dezelfde snelheid in de omgekeerde richting van de zon naar de aarde reist.
 3. Welke snelheid heeft een ruimteschip dat de afstand aarde-zon aflegt in vijf minuten, volgens klokken aan boord van het ruimteschip?
 4. Hoe lang doet dit ruimteschip over de reis volgens waarnemers in het aarde-zon ruststelsel?
 5. Bereken het ruimtetijdinterval Δs^2 tussen vertrek en aankomst van het ruimteschip.
2. Een deeltje met rustmassa m_0 vervalt in zijn rustsysteem door een foton uit te sturen. Daarbij vermindert de rustmassa met δ . Bepaal de energie van het foton in het ruststelsel van het moederdeeltje.

3. De totale werkzame doorsnede σ_{tot} kan worden bepaald door een deeltjesbundel te laten invallen op een doelwit bestaande uit verstrooiingscentra. Veronderstel dat de richting van de bundel loodrecht staat op het oppervlak van het doelwit. De totale werkzame doorsnede σ_{tot} staat in verband met de reductie van de intensiteit van de bundel naarmate die het doelwit doorkruist. Toon aan dat de totale werkzame doorsnede gegeven wordt door:

$$\sigma_{\text{tot}} = 1/p \ln(I(0)/I(s))$$

waarbij $I(x)$ de intensiteit van de bundel is (aantal deeltjes per oppervlak en per tijdseenheid) na een afstand x in het doelwit, s de totale dikte van het doelwit en p de dichtheid (aantal verstrooiingscentra per volume-eenheid) van het doelwit is. (Hint: bepaal $I(x+\delta x)$ veronderstellende dat $I(x)$ gekend is.)

4. Welke van de onderstaande reacties zijn mogelijk? Teken een Feynmandiagram of geef aan waarom de reactie verboden is.

1. $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^- + \nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$
2. $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^- + \nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$
3. $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^- + \nu_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^-$
4. $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_\mu + \mu^- + \nu_e + e^- \rightarrow \nu_\mu + \mu^-$
5. $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_e + \mu^- + \nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_e + \mu^-$

Academiejaar ?

Prof. Pierre Van Mechelen

1. Een pulsar stuurt radiogolven uit met een frequentie van 1 Hz. Welke frequentie zou je observeren indien je in een ruimteschip zit dat met snelheid $0.9c$ beweegt
- naar de pulsar toe
 - van de pulsar weg
 - in een richting loodrecht op de richting van de pulsar

Verduidelijk je antwoord met een ruimtetijd-diagram.

1. In een botsingsexperiment kunnen $\Lambda\Lambda$ baryonen worden geïdentificeerd via het verval $\Lambda \rightarrow \pi^- p$, $\Lambda \rightarrow \pi^- p$, wat aanleiding geeft tot een verplaatste vertex in een sporendetector. In een welbepaald verval worden de impuls van het π^- en het p respectievelijk gemeten als $0.75 \text{ GeV}/c$ en $4.25 \text{ GeV}/c$, terwijl de openingshoek tussen de sporen 9° is. De rustmassa's van een pion en een proton bedragen respectievelijk $139.6 \text{ MeV}/c^2$ en $938.3 \text{ MeV}/c^2$.
- Bereken de massa van het $\Lambda\Lambda$ baryon
 - Gemiddeld vervallen $\Lambda\Lambda$ baryonen met deze energie op een afstand van 0.35 m van het primaire interactiepunt. Bereken de levensduur van het $\Lambda\Lambda$ baryon in rust.
2. Wolfram heeft een stralingslengte van $X_0 = 0.35 \text{ cm}$ en een kritische energie $E_c = 7.97 \text{ MeV}$. Hoe diep moet het blok wolfram ongeveer zijn om een elektromagnetische cascade afkomstig van een elektron met een energie van 500 GeV volledig te bevatten.

1. Ben en Hans zijn tweelingbroers. Op hun 21ste verjaardag vertrekt Hans met een ruimteschip vanaf de aarde naar een veraf gelegen ster. Het ruimteschip heeft een snelheid $\beta=45$ en de ster is 10 lichtjaar van de aarde verwijderd. Bij aankomst bij de ster keert Hans onmiddellijk terug en reist met een even grote, maar tegengestelde snelheid naar de aarde. (Neem aan dat het omkeren van de snelheid ogenblikkelijk is.) Teken een ruimte-tijd diagram dat deze situatie voorstelt, uitgaande van het referentiestelsel van Ben.
 - Duidt het tijdsinterval aan dat volgens Ben verstrijkt tussen het vertrek op aarde en de aankomst bij de ster. Hoe groot is dit tijdsverschil? Doe hetzelfde voor de terugreis.
 - Duidt het tijdsinterval aan dat volgens Hans verstrijkt tussen het vertrek op aarde en de aankomst bij de ster. Hoe groot is dit tijdsverschil? Doe hetzelfde voor de terugreis.
 - Hoe oud zijn Ben en Hans (i.e. wat is hun "eigenleeftijd"), net vóór dat Hans bij de ster aankomt, volgens Hans? Hoe oud zijn Ben en Hans net vóór dat Hans bij de ster aankomt, volgens Ben? Geef telkens aan in het ruimte-tijd diagram waar Ben en Hans zich dan bevinden.
 - Hoe oud zijn Ben en Hans net ná dat Hans bij de ster vertrekt, volgens Hans? Hoe oud zijn Ben en Hans, net ná dat Hans bij de ster vertrekt, volgens Ben? Geef telkens aan in het ruimte-tijd diagram waar Ben en Hans zich dan bevinden.
 - Hoe oud zijn beide tweelingsbroers wanneer ze terug op aarde verenigd zijn? Is dit consistent met je antwoorden op de vorige vragen? Waarom (niet)?
2. Een ultra-relativistisch ($\beta \approx 1$) elektron zendt fotonen uit via synchrotronstraling.
 - Leid een formule af voor het verband tussen de hoek θ tussen het foton en het inkomend elektron in het lab en de hoek θ^* tussen het foton en de richting waarin het lab beweegt in het ruststelsel van het elektron.
 - Toon aan dat voor een isotrope verdeling van de hoek θ^* , de helft van alle fotonen in het lab binnen een kegel met openingshoek 1γ rond de richting van het elektron wordt uitgestraald.
3. Beschouw het proces $\gamma p \rightarrow p \pi^0$ met het initiële proton in rust.

Wat is de minimale energie die het foton moet hebben om deze reactie te laten doorgaan?

De kosmische (elektromagnetische) achtergrondstraling in het heelal heeft een temperatuur van ongeveer 3K en het corresponderende Planck spectrum piekt bij 0.37 meV. Neem verder 1 meV als bovenlimiet voor de energie van deze achtergrondstraling.

1.

- Bepaal de minimale energie van protonen in kosmische straling om via de bovenstaande reactie een $\pi^0\pi^0$ te produceren. Deze energie wordt de Greisen-Zatsepin-Kusmin (GZK) energie genoemd.
- De werkzame doorsnede net boven de drempelenergie bedraagt 0.6 mb. Bereken de gemiddelde vrije weglengte voor kosmische protonen uitgaande van een dichtheid aan hoog-energetische fotonen van 10^6m^{-3} tot 10^9m^{-3} . Verwacht je hier op aarde kosmische protonen boven de GZK-energie?

2. Leg uit welke kracht verantwoordelijk is voor de volgende reacties en teken telkens een Feynman-diagram.

- $\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$ $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$
- $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$
- $D^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$ $D^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$

Teken Feynman-diagrammen en vervang het symbool l met het correcte lepton of anti-lepton in de volgende reacties:

1.

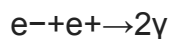
- $l + n \rightarrow e^- + p$ $l + n \rightarrow e^- + p$
- $\tau^- \rightarrow \mu^- + l_1 + l_2$ $\tau^- \rightarrow \mu^- + l_1 + l_2$
- $B^0 \rightarrow D^- + \mu^+ + l$ $B^0 \rightarrow D^- + \mu^+ + l$

Academiejaar 2015-2016 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

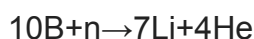
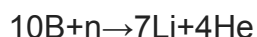
1. Een Imperial Space Cruiser is uitgerust met een Disruptor Cannon aan de neus van het schip. Het cannon kan enkel vuren in een richting loodrecht op de bewegingsrichting van het schip. De Space Cruiser is goed beschermd door een afweerschield behalve op een zwak punt aan de achterkant. Kylo Ren en Rey gaan loodrecht op elkaar af en vuren hun Disruptor Cannon wanneer ze elkaar kruisen, waarbij ze trachten om het zwak punt van hun tegenstander te raken. Rey denkt dat hij gaat winnen, want omwille van Lorentzcontractie is het schip van Ren korter en kan ze het kanon dus afvuren vooraleer Kylo Ren zijn kanon kan vuren naar haar zwakke plek. Ren denkt dat hij zal winnen omwille van precies dezelfde reden. Het duel heeft plaats en Leia en Han Solo, die zich op een naburige planeet bevinden, zien dat de Imperial Space Cruisers precies even lang zijn, dat de kanonnen afgevuurd worden op precies hetzelfde moment en dat beide ruimteschepen ontploffen. Teken een ruimtetijd-diagram en beantwoord de volgende vragen:

1. Duid het ruimtetijd punt aan waar het kanon van Rey wordt afgevuurd. Duid het ruimtetijd-punt aan waar het Disrupter cannon wordt afgevuurd. Is de afstand tussen deze twee punten ruimte-achtig, tijd-achtig of licht-achtig?
 2. Duid het ruimte-punt aan waar de neus van de Space Cruiser van Keylo Ren zich bevindt, op het moment dat Rey haar Disrupter cannon afvuurt, in het stelsel van Rey.
 3. In welke volgorde worden de Disruptor Cannons van Rey en Kylo Ren afgevuurd in het stelsel van Rey.
 4. Wanneer de staart van Keylo Ren's Space Cruiser geraakt wordt door het Disrupter cannon van Rey, wordt er een lichtsignaal naar de neus van het schip gestuurd om Kylo Ren op de hoogte te brengen van de schade aan zijn ruimteschip. In welk ruimtetijd-punt komt dit signaal aan bij de neus van Keylo Rens Space Cruiser?
 5. Wat was er fout in de redenering van Rey en Kylo Ren? Leg uit aan de hand van het ruimtetijd-diagram.
2. Een elektron met een kinetische energie van 1 MeV botst frontaal op een positron in rust. De twee deeltjes annihileren elkaar en produceren twee fotonen met een gelijke energie, volgens de reactie



Bepaal energie, impuls en hoek t.o.v het invallende elektron voor elk van de twee fotonen ($m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$).

3. Door neutronen te schieten op stabiele atoomkernen kunnen nieuwe kernen geproduceerd worden, die meer neutronen bevatten. Dit is hoe de meest transuranelementen gemaakt worden. Meestal vallen deze kernen echter uit elkaar in lichtere kernen. Beschouw de reactie



met een werkzame doorsnede van 4×10^3 barns voor neutronen met een energie van 10 MeV. Bereken welke fractie van een laag ^{10}B zal verdwijnen na een bestraling van een jaar met dergelijke neutronen met een flux van $10^{15} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

4. De charm quark heeft een rustmassa van $1.25 \text{ GeV}/c^2$ en een levensduur van 10^{-12} s .
1. Wat zijn de vervalkanalen in fundamentele fermionen die volgens het Standaard Model toegelaten zijn voor een charm quark? Verduidelijk je antwoord a.h.v. Feynman-diagrammen.
 2. Hoe groot is de onzekerheid op de rustmassa van de charm quark?

Academiejahr 2014-2015 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen Zoals het vorige jaar was er enkel een oefeningengedeelte. Het examen was openboek, je mocht de cursus, notities en uitgewerkte oplossingen meenemen.

Oefeningen

1. Tijdens een baseball match tussen ploeg A en ploeg B is de ploeg A aan slag. Alex, de slagman van ploeg A, slaat de bal in de richting van de derde base, die een afstand L van hem verwijderd is. Pieter, een speler van ploeg B, staat tweemaal verder dan de derde base en vangt de bal door naar de slagman toe te lopen (hij vangt de bal dus op een afstand $2L$). Merijn, van ploeg A, staat bij de derde base en vertrekt in de richting van de slagman een tijd $L/4c$ nadat Pieter de bal gepakt heeft, in het referentiestelsel van het speelveld. Neem aan dat Pieter en Merijn beide een snelheid $c/2$ hebben. Volgens de regels van baseball, moet Merijn terug naar de derde base indien hij aan het lopen is op het ogenblik dat Pieter rechtstreeks de bal vangt. Beantwoord de volgende vragen en verduidelijk je antwoorden met een ruimte-tijd diagram:

- In welk ruimte-tijd punt bevindt Merijn zich wanneer Pieter de bal pakt, in het referentiestelsel van Alex? Moet Merijn terug naar de derde base volgens Alex?
- In welk ruimte-tijd punt bevindt Merijn zich wanneer Pieter de bal pakt, in het referentiestelsel van Pieter? Moet Merijn terug naar de derde base volgens Pieter?
- In welk ruimte-tijd punt bevindt Merijn zich wanneer Pieter de bal pakt, in het referentiestelsel van Merijn *nadat* hij is beginnen lopen? Moet Merijn terug naar de derde base volgens zichzelf?
- Indien de drie spelers hun beoordeling maken op basis van wat ze *zien*, wie besluit dan dat Merijn terug naar derde base moet?

2. Een kaon verval naar een pion volgens

$$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

$$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

Stel dat het $\pi^+ \pi^+$ deeltje een snelheid van $0.8c$ en het $\pi^- \pi^-$ deeltje een snelheid van $0.9c$ heeft

$$(m_\pi = 0.140 \text{ GeV}/c^2, m_K = 0.494 \text{ GeV}/c^2, m_\pi = 0.140 \text{ GeV}/c^2, m_K = 0.494 \text{ GeV}/c^2)$$

- Wat was de snelheid van het K^0 voor het verval?
- In welke richting bewegen de pionen na het verval?

3. Een bundel met voornamelijk $\pi^+ \pi^+$ mesonen bevat ook 2% $\mu^+ \mu^+$ deeltjes. De bundel wordt doorheen een ijzeren blok gestuurd met een dichtheid van 7900 kg/m^3 . Hierdoor worden de pionen sterk geabsorbeerd terwijl de muonen amper worden tegengehouden.

- Leg uit waarom muonen veel gemakkelijker dan pionen doorheen het ijzeren blok vliegen, terwijl elektronen net sneller dan pionen geabsorbeerd worden.
- De werkzame doorsnede voor pionen met ijzer-kernen bedraagt 600 mb . Bereken de dikte van het ijzeren blok dat nodig is om de intensiteit van de pionen terug te brengen tot een tiende van die van de muonen. (Neem aan dat de muonen helemaal niet geabsorbeerd worden. Verder is $m_{\text{Fe}} = 55.845 \text{ amu} = 9.2732 \times 10^{-26} \text{ kg}$, $m_{\text{Fe}} = 55.845 \text{ amu} = 9.2732 \times 10^{-26} \text{ kg}$)

4. De charm quark heeft een rustmassa van $1.25 \text{ GeV}/c^2$ en een levensduur van 10^{-12} – 10^{-13} s.
- Wat zijn de vervalkanalen in fundamentele fermionen die volgens het Standaard Model toegelaten zijn voor een charm quark? Verduidelijk je antwoord a.h.v. Feynman-diagrammen.
 - Hoe groot is de onzekerheid op de rustmassa van de charm quark?

Academiejahr 2013-2014 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen Zoals het vorige jaar was er enkel een oefeningengedeelte. Het examen was openboek, je mocht de cursus, notities en uitgewerkte oplossingen meenemen.

Oefeningen

Elke vraag had een gelijk gewicht

1. Twee treinen, A en B, van gelijke lengte, rijden met een gelijke snelheid maar in tegenstelde richting door een lange, donkere, rechte tunnel. Op het dak van de treinen, en langs hun volledige lengte, werden zonnecellen geïnstalleerd. Op een tijdstip, t_1 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten aan het plafond van de tunnel gelijktijdig aan. Op een later tijdstip, t_2 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten weer uit.
Voor een waarnemer die stilstaat tov de tunnel, zijn beide treinen even lang en blijven ze ook gedurende een gelijke tijd verlicht. De zonnecellen op het dak vangen dan ook een gelijk aantal fotonen op. Een reiziger in trein A zal echter stellen dat trein B korter is omwille van de Lorentzcontractie en bijgevolg minder fotonen opvangt. Verklaar deze contradictie door in een ruimte-tijd diagram de volgende ruimte-tijd punten aan te duiden.
 1. Waar zijn de voor- en achterkant van trein A op het moment dat zijn voorkant het lichtveld binnenkomt, in het referentiestelsel van trein A?
 2. Waar zijn de voor- en achterkant van trein A op het moment dat zijn achterkant het lichtveld uitgaat, in het referentiestelsel van trein A?
 3. Waar zijn de voor- en achterkant van trein B op het moment dat zijn achterkant het lichtveld binnenkomt, in het referentiestelsel van trein A?
 4. Waar zijn de voor- en achterkant van trein B op het moment dat zijn voorkant het lichtveld uitgaat, in het referentiestelsel van trein A?
 5. Wat is er fout met de redenering van de reiziger op trein A?
2. Vraag niet bijgehouden

3. Een rots heeft als materiaaleigenschappen dat het atoomnummer $Z=11$ heeft, en massagetal $A=22$. Het soortelijk gewicht is $\rho=2,65\text{g/cm}^3$. Het verval door dit materiaal wordt gegeven door
- $$-1\text{pd}E\text{d}x=a+bE$$

$$-1\text{pd}E\text{d}x=a+bE$$

. Hierin hangen a en b niet echt af van de grootte van E , dus zijn ze constant ($a=2,5\text{MeVcm}^2/\text{g}$, $b=3,5\cdot 10^{-6}\text{cm}^2/\text{g}$). Factor a is verantwoordelijk voor de Brehmstrahlung, en factor b voor de paarproductie (of omgekeerd, weet het niet goed meer).

1. Bij welke energie zijn zowel Brehmstrahlung en paarproductie even belangrijk?
 2. Hoe ver kan een deeltje met $E=100\text{GeV}$ reizen?
4. Geef de feynmandiagrammen, en bepaal de relatieve vervalsnelheden $\text{d}N/\text{d}E$ $\alpha=1/137$. Gegeven zijn de officiële waarden, vergelijk deze met je resultaten, en bespreek de verschillen.
- $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
 - $\pi^0 \rightarrow e^+e^- \gamma$
 - $\pi^0 \rightarrow e^+e^- e^+e^-$
 - $\pi^0 \rightarrow e^+e^- \pi^0$

Academiejaar 2012-2013 2^{de} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

Theorie

De prof heeft besloten geen mondeling deel te doen dit jaar.

Oefeningen

De oefeningen waren ongeveer de volgende:

1. Alex, Sten en Pieter spelen baseball. Alex slaagt de bal in de richting van de derde honk (die op een afstand L van Alex ligt). Pieter bevindt zich op afstand $2L$ van Alex en vangt de bal door in de richting van de derde honk te lopen. Sten (die aan de derde honk staat) begint te lopen richting Alex nadat de bal door Pieter gevangen is in het referentiestelsel van het speelveld. Volgens de regels van baseball is het een fout als Sten begint te lopen voordat Pieter de bal gevangen heeft. Geef een antwoord op de volgende vragen en verduidelijk met een ruimte-tijddiagram.
 1. In welk ruimtepunt bevindt Sten zich op het moment dat Pieter de bal vangt in het referentiestelsel van Alex? Maakt Sten een fout volgens Alex?
 2. In welk ruimtepunt bevindt Sten zich op het moment dat Pieter de bal vangt in het referentiestelsel van Pieter? Maakt Sten een fout volgens Pieter?
 3. In welk ruimtepunt bevindt Sten zich op het moment dat Pieter de bal vangt in zijn eigen referentiestelsel NADAT hij is begonnen met lopen? Maakt Sten een fout volgens zichzelf?
 4. Hoe zien de spelers alles gebeuren? Volgens wie maakt Sten een fout?
2. Een elektron met $E_e \gg m_e c^2$ ondergaat een elastische botsing met een zware atoomkern in rust.
 1. Bereken de maximale grootte van de vier-impulsoverdracht
 2. Bereken de grootte van de drie-impuls, en de energie van de atoomkern in het geval van maximale vier-impulsoverdracht
 3. Schets de begin- en eindtoestand
3. De differentiele werkzame doorsnede voor Rutherford verstrooiing van protonen op koolstof-kernen wordt gegeven door $\frac{d\sigma}{d\Omega} = a^2 \sin^4(\theta/2)$, $a = \frac{k_e Z e^2}{(m v^2)}$
 1. Bereken de werkzame doorsnede (in barn) voor verstrooiing van een $T = 1 \text{ MeV}$ proton in de achterwaartse hemisfeer ($\cos\theta < 0$)
 2. Bepaal de kans op achterwaartse verstrooiing bij een grafietplaat met een dikte van 1 mm.
($k_e = 1/4\pi\epsilon_0$, $\rho_{\text{grafiet}} = 2.16 \text{ kg/dm}^3$)
4. Geef de laagste orde Feynmandiagrammen van volgende reacties
 - $\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
 - $D^- \rightarrow K^0 + \pi^-$
 - $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$
 - $e^+ + e^- \rightarrow B^0 + \bar{B}^0$
 - $K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \gamma$

Academiejahr 2011-2012 2^{de} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

Theorie

De prof was ziek, dus was het geen mondeling zoals gewoonlijk. We kregen een artikel over de nieuwe waarnemingen in verband met het Higgs-Boson deeltje. We moesten deze vragen dan schriftelijk beantwoorden. Vervalkanalen, onderdelen van

Oefeningen

1. Beschouw het verval $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$ van een neutron met kinetische energie $T=500\text{MeV}$, waarbij het proton in rust wordt geproduceerd in het ruststelsel van het neutron.
 1. Wat is de snelheid van het neutron in het laboratoriumstelsel?
 2. Wat is de maximale dikte in het laboratoriumstelsel van het neutron langsheen zijn bewegingsrichting indien de straal van een neutron in rust 1 fm bedraagt?
 3. Bereken de invariante massa van het elektron en het neutrino samen. (Tip: Wat is de relatie tussen deze invariante massa en de totale energie van het elektron en het neutrino in het ruststelsel van het neutron?)
 4. Bepaal de totale energie van het elektron en het neutrino samen en de kinetische energie van het proton in het laboratoriumstelsel
massa neutron= $939.565\text{MeV}/c^2$, massa proton= $938.272\text{MeV}/c^2$, massa elektron= $0.511\text{MeV}/c^2$, massa elektron-antineutrino= $0.000\text{MeV}/c^2$)
2. De differentiele werkzame doorsnede voor Rutherford verstrooiing van protonen op koolstof-kernen wordt gegeven door $d\sigma/d\Omega = a^2 \sin^4(\theta/2)$, $a = keZe^2/(mv^2)$
 1. Bereken de werkzame doorsnede (in barn) voor verstrooiing van een $T=1\text{MeV}$ proton in de achterwaartse hemisfeer ($\cos\theta < 0$)
 2. Bepaal de kans op achterwaartse verstrooiing bij een grafietplaat met een dikte van 1 mm.
($k = 1/4\pi\epsilon_0$, $\rho_{\text{grafiet}} = 2.16\text{kg/dm}^3$)
3. De charm quark heeft een rustmassa van $1.25\text{GeV}/c^2$ en een levensduur van 10^{-12}s
 1. Wat zijn de vervalkanalen in fundamentele fermionen die volgens het standaard model toegelaten zijn voor een charm quark? Verduidelijk je antwoord adhv Feynmann-diagrammen
 2. Hoe groot is de onzekerheid op de rustmassa van de charm quark?

Academiejahr 2011-2012 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

Theorie

Men kreeg tien minuten tijd om een artikel te lezen. Dit ging over dat ze een nieuw deeltje hadden gemeten met de CMS. Eenmaal bij de prof moest je zaken vertellen zoals:

- Welke krachten zijn verantwoordelijk voor de verschillende vervallen
- Waarom worden bepaalde deeltjes pas later gedetecteerd dan andere
- Welke detectoren kunnen deze deeltjes meten
- Welke wisselwerkingen tussen reacties
- Resonantiegrafiek: wat en hoe.

Oefeningen

Groep A

1. Twee treinen, A en B, van gelijke lengte, rijden met een gelijke snelheid maar in tegenstelde richting door een lange, donkere, rechte tunnel. Op het dak van de treinen, en langs hun volledige lengte, werden zonnecellen geïnstalleerd. Op een tijdstip, t_1 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten aan het plafond van de tunnel gelijktijdig aan. Op een later tijdstip, t_2 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten weer uit.

Voor een waarnemer die stilstaat tov de tunnel, zijn beide treinen even lang en blijven ze ook gedurende een gelijke tijd verlicht. De zonnecellen op het dak vangen dan ook een gelijk aantal fotonen op. Een reiziger in trein A zal echter stellen dat trein B korter is omwille van de Lorentzcontractie en bijgevolg minder fotonen opvangt. Verklaar deze contradictie door in een ruimte-tijd diagram de volgende ruimte-tijd punten aan te duiden.

1. Waar zijn de voor- en achterkant van trein A op het moment dat zijn voorkant het lichtveld binnenkomt, in het referentiestelsel van trein A?
 2. Waar zijn de voor- en achterkant van trein A op het moment dat zijn achterkant het lichtveld uitgaat, in het referentiestelsel van trein A?
 3. Waar zijn de voor- en achterkant van trein B op het moment dat zijn achterkant het lichtveld binnenkomt, in het referentiestelsel van trein A?
 4. Waar zijn de voor- en achterkant van trein B op het moment dat zijn voorkant het lichtveld uitgaat, in het referentiestelsel van trein A?
 5. Wat is er fout met de redenering van de reiziger op trein A?
2. Een ultra-relativistisch ($\beta \approx 1$) elektron zendt fotonen uit via synchrotronstraling
 1. Leid een formule af voor het verband tussen de hoek θ tussen het foton en het inkomend elektron in het lab en de hoek θ^* tussen het foton en de richting waarin het lab beweegt in het ruststelsel van het elektron
 2. Toon aan dat voor een isotrope verdeling van de hoek θ^* , de helft van alle fotonen in het lab binnen een kegel met openingshoek $1/\gamma$ rond de richting van het elektron wordt uitgestraald.
 3. Een bundel met voornamelijk $\pi^+\pi^+$ mesonen bevat ook 2% $\mu^+\mu^+$ deeltjes. De bundel wordt doorheen een ijzeren blok gestuurd met een dichtheid van 7900 kg/m^3 . Hierdoor worden de pionen sterk geabsorbeerd terwijl de muonen amper worden tegengehouden.
 1. Leg uit waarom muonen veel gemakkelijker doorheen het ijzeren blok vliegen.
 2. De werkzame doorsnede voor pionen met ijzer-kernen bedraagt 600 mb. Bereken de dikte van het ijzeren blok dat nodig is om de intensiteit van de pionen terug te brengen tot een tiende van die van de muonen. (Neem aan dat muonen helemaal niet geabsorbeerd worden. Verder is $m_{\text{Fe}} = 55.845 \text{ amu} = 9.2732 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$)

Groep B

1. Een ster staat op het punt een supernova te worden. Enkele biologen zijn op een naburige planeet de lokale fauna en flora aan het onderzoeken en moeten nu tijdig door jou geëvacueerd worden.

De planeet is 3AU (afstand aarde-zon) van de ster verwijderd en op het tijdstip $t = 0$ bevindt je ruimteschip zich net aan de andere kant van de ster (3AU van de ster verwijderd). Je ruimteschip heeft een snelheid van $\beta = 2/3$. In het ruststelsel van de ster/planeet heeft de supernova plaats op tijdstip $t = 8\text{AU}/c$. Schets de situatie in een ruimte-tijd diagram en beantwoord volgende vragen.

1. In welk ruimte-tijd punt komt je ruimteschip aan bij de planeet?
 2. Waar is de ster op het moment dat je aankomt bij de planeet in jouw referentiestelsel?
 3. Kom je, volgens je eigen referentiestelsel, bij de planeet aan voor of na de ster een supernova is geworden?
 4. Kom je, volgens het referentiestelsel van de biologen, bij de planeet aan voor of na de ster een supernova is geworden?
 5. Overleven de biologen dit avontuur? Leg uit waarom wel/niet. Voor een afstand van 6AU biedt het ruimteschip voldoende bescherming tegen de straling van de supernova.
2. Een kaon vervalst naar een paar pionen volgens $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Stel dat het $\pi^+ \pi^-$ deeltje een snelheid van $0.8c$ en het $\pi^- \pi^-$ deeltje een snelheid van $0.9c$ heeft ($m_\pi = 0.140 \text{ GeV}/c^2$, $m_K = 0.494 \text{ GeV}/c^2$).
 1. Wat was de snelheid van K^0 voor het verval?
 2. In welke richting bewegen de pionen na het verval?
 3. De werkzame doorsnede voor elastische verstrooiing van muonen in lucht bij atmosferische druk is 1 barn. De gemiddelde levensduur van muonen in rust is 2.2 microseconden. Welke van deze twee factoren beperkt de afstand die muonen in lucht kunnen afleggen als ze een snelheid hebben van 1 miljoen m/s? (Neem aan dat de dichtheid van lucht $2,69 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ bedraagt)

Academiejaar 2010-2011 1^{ste} zit

Prof. Pierre Van Mechelen

Theorie

Groep 1

1. Wat gebeurt er als je een atoom op een bak ijzer afschiet?
2. Waarvan hangt de Bethe-Bloch wet allemaal af?
3. "De Bethe-bloch wet is een gemiddelde"
4. Wat is MIP?
5. Hoe kan men hiermee deeltjes identificeren?
6. Op een protonkern:
 - Effect van elektronen
 - Effect van andere kernen

Groep 2

1. Geef zoveel mogelijk deeltjesdetectoren en leg uit.

Praktijk

Groep 1

1. Twee treinen, A en B, van gelijke lengte, rijden met een gelijke snelheid maar in tegenstelde richting door een lange, donkere, rechte tunnel. Op het dak van de treinen, en langs hun volledige lengte, werden zonnecellen geïnstalleerd. Op een tijdstip, t_1 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten aan het plafond van de tunnel gelijktijdig aan. Op een later tijdstip, t_2 , in het referentiestelsel van de tunnel, gaan alle lichten weer uit.

Voor een waarnemer die stilstaat tov de tunnel, zijn beide treinen even lang en blijven ze ook gedurende een gelijke tijd verlicht. De zonnecellen op het dak vangen dan ook een gelijk aantal fotonen op. Een reiziger in trein A zal echter stellen dat trein B korter is omwille van de Lorentzcontractie en bijgevolg minder fotonen opvangt. Verklaar deze contradictie met een ruimte-tijd diagram.

2. Een geladen kaon, met een kinetische energie van 500 MeV, vervalst in een muon en een neutrino. Maak een schets van het verval waarbij het muon de grootst mogelijk energie heeft. Hoeveel bedraagt die grootst mogelijke energie?
3. Een elektron-positron versneller laat deeltjes rondcirkelen in cilindrische pakketjes met een straal van 1.2mm. Het aantal deeltjes per pakket is $6 \cdot 10^{16} \cdot 10^{11}$ en de botsingsfrequentie is 2 MHz. De werkzame doorsnede voor $\mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$ productie bij de botsingsenergie van 8 GeV bedraagt 1.4nb. Hoeveel muonparen worden er per seconde gecreëerd?
4. Leg uit welke kracht verantwoordelijk is voor de volgende reacties en teken telkens een Feynman-diagram.
 1. $\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$ $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$
 2. $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$
 3. $D^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$ $D^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$

Groep 2

1. Twee supernova's (noem ze L en R) hebben plaats aan tegenoverliggende kanten van een sterrenstelsel, op gelijke afstand van het middelpunt. Waarnemers op een planeet in rust in het midden van het sterrenstelsel zien de supernova's gelijktijdig gebeuren. Een ruimteschip komt het sterrenstelsel binnengevlogen langs de kant van supernova L aan een snelheid van $0.999c$ t.o.v. het sterrenstelsel.

1. Hebben de supernova-explosies ook werkelijk gelijktijdig plaats volgens de waarnemers op de planeet? Leg uit waarom.

2.

- Welke supernova zien de waarnemers op het ruimteschip als eerste?
- Gebeurt die supernova noodzakelijkerwijs ook als eerste in het stelsel van het ruimteschip?

3. Is " twee lichtpulsen komen gelijktijdig aan op de planeet" een gebeurtenis?

Denk eraan dat als je hier "ja" op antwoordt, de lichtpulsen ook volgens waarnemers op het ruimteschip gelijktijdig aankomen. Waarnemers kunnen immers van mening verschillen over waar en wanneer een gebeurtenis plaats heeft, maar niet of ze wel plaats heeft.

Verduidelijk je antwoorden met een ruimte-tijd diagram

2. Pionen in een bundel met energie van 5 GeV vervallen tijdens hun vlucht via

$\pi \rightarrow \mu \nu \pi \rightarrow \mu \nu$.

Wat is de maximale en minimale energie van het muon?

3. Bepaal de dikte van een blok ijzer waardoor een bundel neutrino's met energie van 200 GeV moet propageren om 1 in de 10^9 neutrino's te laten interageren. Neem aan dat de werkzame doorsnede van het neutrino-nucleon interactie geven wordt door 10^{-11} Ev 10^{-11} Ev mb, waarbij Ev de energie het neutrino is in GeV . De dichtheid van ijzer is 7900 kg/m^3 .

4. Teken Feynman-diagrammen en vervang het symbool l met het correcte lepton of anti-lepton in de volgende reacties:

1. $l + n \rightarrow e^- + p \quad l + n \rightarrow e^- + p$

2. $\tau^- \rightarrow \mu^- + l_1 + l_2 \quad \tau^- \rightarrow \mu^- + l_1 + l_2$

3. $B^0 \rightarrow D^- + \mu^+ + l \quad B^0 \rightarrow D^- + \mu^+ + l$

Vorige jaren

De examenvragen van van de vorige jaren vind je hier.

Categorieën:

- Fysica
- 2BFYS