

Hand-out bij Kwantumstructuur van de Materie

Florine Meijer f.j.meijer@uu.nl

De module Kwantumstructuur van de materie is ontwikkeld op het Junior College Utrecht en is in juni 2010 gecertificeerd voor NLT.

Beschikbaarheid

Het leerlingmateriaal van de module is beschikbaar op <http://www.uu.nl/jcu>. Klik rechts onder "Ga direct naar" op "Gecertificeerde modules".

The screenshot shows the website for the Junior College Utrecht (JCU) at the University of Utrecht. The page is titled "Junior College Utrecht" and is part of the "faculteit Bètawetenschappen". The main content area includes a video player with a play button and a "Ga direct naar" button. A red box highlights the "Ga direct naar" button, and another red box highlights the "Leerlingmateriaal downloaden" button. The navigation menu includes "Home UU", "Informatie voor", "Nieuws", "Universiteit Utrecht", "Onderwijs", "Onderzoek", "Faculteiten", "Bibliotheek", and "English". The search bar is set to "Volledige site".

Docentenmateriaal is op aanvraag beschikbaar: mail daarvoor naar JCU@uu.nl onder vermelding van naam en adres van de school waar je werkt en de module.

Gebruik

De module is bedoeld voor VWO klas 6 en is te gebruiken

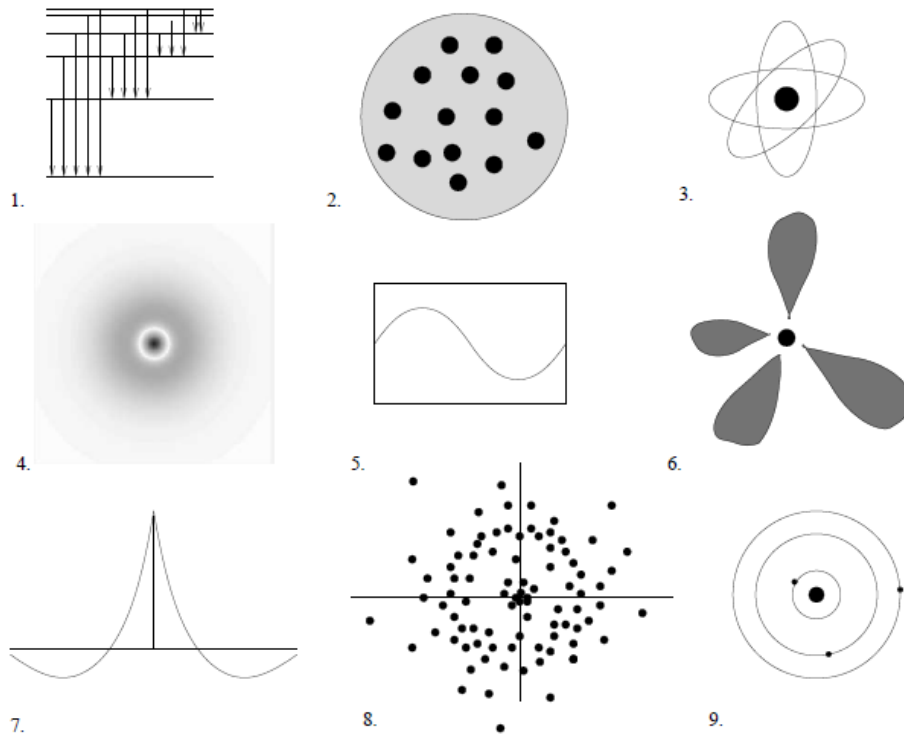
- Bij nlt in Domein B
 - deel A+B, A+C of B+C* (40 slv)
 - deel A + B + C (60 slv)
 - * als inhoud A bij natuurkunde behandeld
- Binnen de lessen natuurkunde
 - deel A in Nina Domein F
 - deel B in Nina Domein E
- Als (basis voor) profielwerkstuk

Extra

De tentoonstelling *Master the Universe!* in het Universiteitsmuseum Utrecht loopt nog tot en met 8 mei 2011 en sluit aan bij de onderwerpen uit de module. Er zijn lesbrieven voor onderbouw en bovenbouw, en er is een profielwerkstukwedstrijd. Meer informatie op <http://www.mastertheuniverse.nl/>

Opgave: Plaatjes van atoommodellen

In de figuur zie je negen plaatjes die worden gebruikt bij de beschrijving van atomen. Ze horen bij de verschillende atoommodellen die in dit hoofdstuk zijn behandeld.



a. Kies voor elk plaatje welk onderschrift er bij hoort. NB: niet alle onderschriften horen bij een plaatje! Kun je geen keuze maken, kies dan eventueel één onderschrift voor meerdere plaatjes, of schrijf een eigen onderschrift.

- (a) Het krentenbol-atoommodel van Thomson
- (b) Het atoommodel van Bohr
- (c) Het driedimensionaal zonnestelsel-atoommodel
- (d) Een energieniveauschema van een atoom
- (e) Een energieniveauschema van een deeltje in een doosje
- (f) De grondtoestand van een deeltje in een doosje
- (g) De eerste aangeslagen toestand van een deeltje in een doosje
- (h) De amplitudo van de grondtoestand van een elektron in een atoom
- (i) De amplitudo van een mogelijke golffunctie van een elektron in een atoom
- (j) Een bolsymmetrische toestand van een elektron in een atoom
- (k) De kansverdeling horend bij de grondtoestand van een elektron in een atoom
- (l) De kansverdeling horend bij een bolsymmetrische toestand van een elektron in een atoom
- (m) De buitenste elektrontoestanden van het zuurstofatoom

b. Kies drie plaatjes uit waar je een uitgebreidere beschrijving van geeft: wat stelt het precies voor, welke onderdelen kun je herkennen, waar kun je het voor gebruiken.

c. Welk(e) plaatje(s) zegt/zeggen het meeste over hoe jij je een atoom voorstelt? Waarom?

De bovenstaande plaatjes laten verschillende aspecten van het gedrag van atomen zien. Om het gedrag van atomen beter te begrijpen kijken we naar meerdere plaatjes tegelijk, en naar het *verband* tussen die verschillende plaatjes.

d. Wat is het verband tussen de plaatjes 4, 7 en 8?

e. Is er een verband tussen de plaatjes 1 en 5? Zo ja, wat dan?

f. Kun je plaatje 5 nog met andere plaatjes in verband brengen? Op welke manier?

Werkblad: 1000 keer dezelfde elektron-positronbotsing bij 91 GeV

In deze opdracht onderzoek je botsingen die zijn uitgevoerd in de LEP (Large Electron Positron Collider) van CERN in 1998. De LEP, die in bedrijf was van 1989 tot 2000, was een versneller met twee deeltjesbundels: elektronen en anti-elektronen. De bundels bewogen in tegengestelde richting door de cirkelvormige tunnel van 27 km. De deeltjes in de bundels kregen steeds meer energie doordat ze alsmaar versneld werden. Vervolgens werd ervoor gezorgd dat de bundels elkaar kruisten en de deeltjes konden botsen. De gebeurtenissen bij een botsing werden geregistreerd met een detector, hier de DELPHI-detector.

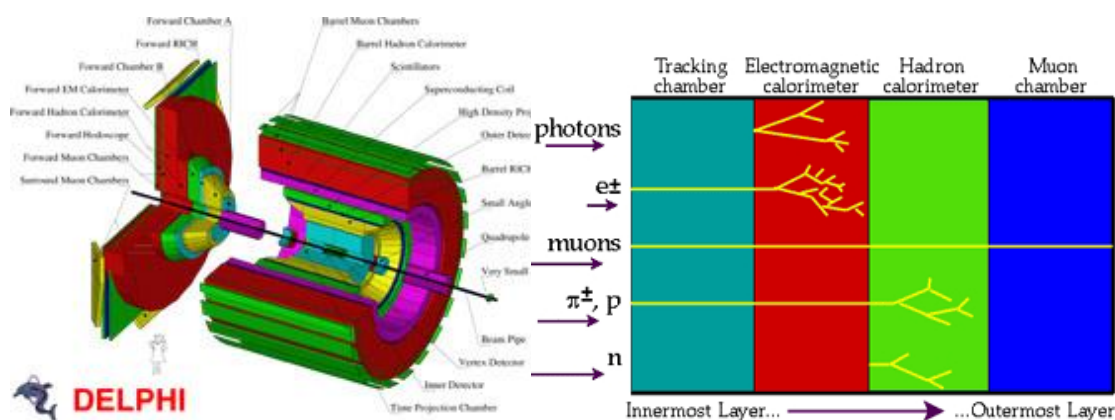
Bekijk de animatie van de LHC, opvolger van de LEP die dezelfde tunnel gebruikt, op http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/ani/acc_lhc/lhc_atlas.swf. De LHC is op vergelijkbare wijze opgebouwd als de LEP. Belangrijk verschil: de LHC gebruikt 2 bundels protonen in plaats van elektronen en positronen.

In dit werkblad onderzoek je een serie experimenten waarbij de deeltjes met een totale energie van 91 GeV op elkaar botsten. Je analyseert wat er gebeurde bij deze botsingen. Volgens het standaardmodel heeft deze botsing een aantal mogelijke uitkomsten. Doel van het experiment is om uit te zoeken hoe vaak elke uitkomst voorkomt. Dit vergelijk je met de theoretische uitkomst van het standaard model.

Je gaat het volgende doen:

1. Je zoekt uit hoe deze detector werkt.
2. Je zoekt uit hoe je de metingen van deze detector analyseert.
3. Je analyseert (een deel van een serie van) 1000 metingen bij 91 GeV.

De benodigde informatie staat op [Hands-on-CERN](http://hands-on-cern.physto.se/hoc_v21en/index.html) (google op hands-on-cern of ga naar http://hands-on-cern.physto.se/hoc_v21en/index.html).



1. Hoe werkt de DELPHI-detector?

Zoek eerst uit hoe de DELPHI-detector werkt:

- Ga naar [Hands-on-CERN](http://hands-on-cern.physto.se/hoc_v21en/index.html) en klik in de linkerkolom op DETECTORS.
- Rechts op het scherm zie je de tekst "Overview Detectors". Lees de tekst. Klik vervolgens op de pijl rechtsboven voor de volgende tekst. Lees op deze manier alle teksten tot en met Summary.

Opdracht 1: Opbouw van de DELPHI-detector

Beantwoord op de bladzijde "Summary" de vragen over de DELPHI-detector en controleer je antwoorden.

2. Hoe analyseer je metingen van de DELPHI-detector?

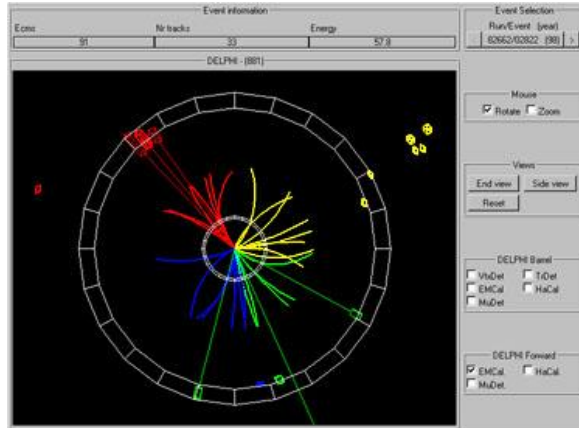
Zoek uit hoe je metingen van de DELPHI-detector analyseert:

Selecteer eerst een voorbeeld van een meting

- Ga daarvoor naar: [Hands-on-CERN](#). Klik in de linkerkolom op Collision library Selecteer Z-decays from 1998; 91 GeV (#001-100): je ziet nu een voorbeeld van een meting. Je kunt met de pijlen rechtsboven andere metingen selecteren.

Op Hands-on-CERN wordt uitgelegd hoe je zo'n meting analyseert. Je gaat deze uitleg bestuderen.

- Open een nieuw venster in je browser. Ga daarin ook naar Hands-on-CERN. Klik nu in de linkerkolom op PICTURE ANALYSIS. Je ziet nu het schermbeeld dat hiernaast is afgedrukt.
- Rechts op het scherm zie je de tekst "Overview Picture Analysis". Lees de tekst en pas hem toe op een voorbeeldmeting. Blader door metingen heen zodat je in een meting ziet wat er bedoeld wordt. Klik vervolgens op de pijl rechtsboven voor de volgende tekst.



- Lees op deze manier alle teksten tot en met "Collision types: particle identification common problems".

Met de kennis die je nu hebt moet je de volgende opdracht kunnen uitvoeren.

Opdracht 2: Analyse van de metingen van de DELPHI-detector

Beantwoord de volgende vragen:

- hoe herken je een elektron?
- hoe herken je een foton?
- hoe herken je een muon?
- hoe herken je een neutrino?
- hoe herken je een quark of gluon?
- hoe herken je een tau?

3. 1000 metingen van elektron – positron botsingen bij 91 GeV

In 1998 is bij de LEP het volgende experiment gedaan. In de versneller werd een bundel elektronen en een bundel positronen gemaakt. Deze bundels kruisten elkaar bij de DELPHI-detector. Als ze daar botsten, was de gezamenlijke (rust- en bewegings)energie van het elektron en anti-elektron 91 GeV.

Volgens het standaardmodel ontstaat bij deze botsing een Z^0 -deeltje (neutraal vector-boson) dat op zijn beurt in 3×10^{-25} s uiteenvalt. Daarbij zijn 4 uitkomsten mogelijk:

- 2 elektronen (2 tegengestelde sporen)
- 2 muonen (2 tegengestelde sporen in de muon-kamer)
- 2 tau (herkenbaar als 2, 4 of 6 sporen geladen deeltjes (+ ongeladen deeltjes))
- 2 quarks (2 jets, 3 jets, 4 of meer jets)

Een uitleg van deze botsing en de mogelijke resultaten staat in Hands-on-CERN bij Collision types. Kijk vooral ook naar de animatie van de Collision types.

Je onderzoekt nu hoe vaak elk van deze uitkomsten voorkomt. Je analyseert daartoe de uitkomst van een aantal botsingen. Voor een statistisch verantwoord resultaat is het nodig dat er veel metingen worden geanalyseerd. Er zijn metingen van 1000 botsingen bij deze

energie beschikbaar. Als je jouw resultaten met die van anderen combineert, moeten er voldoende metingen zijn voor een betrouwbaar resultaat.

Opdracht 3: Analyse van 25 metingen

Analyseer van 25 elektron-positron botsingen de uitkomst van het experiment. Overleg met je docent welke metingen je precies analyseert. Noteer bij elke meting die je bekijkt:

- het nummer van de gebeurtenis
- je overwegingen die een rol speelden bij je analyse
- het resultaat van het verval (dus 2 elektronen, 2 muonen, 2 tau, of 2 quarks met het aantal jets)

Lever deze opdracht in; hij wordt beoordeeld.

Opdracht 4: Vergelijken van dezelfde metingen

De metingen die jij hebt bekeken zijn ook door een andere leerling geanalyseerd. Vergelijk je resultaten onderling: bespreek uitkomsten die verschillend zijn en kijk of je het eens kunt worden. Noteer uiteindelijk het resultaat van al jullie metingen.

Opdracht 5: Vergelijken van alle metingen: onderlinge vergelijking en vergelijking met de theoretische waarde

Tot slot bekijken we met de klas de resultaten van alle metingen die zijn geanalyseerd. We maken een tabel van alle type botsingen en de frequentie waarmee ze voorkomen in de metingen. Met het Standaardmodel is ook berekend hoe vaak de verschillende uitkomsten voorkomen: we vergelijken de waarden in de tabel met de uitkomsten die van het Standaardmodel: komen de waarden overeen?

Docentmateriaal bij het werkblad

Verwachte uitkomsten

Theoretical values for the branching ratios of the Z particle:

Leptonic decays	Branching ratio
2 neutrinos	20 %
2 electrons	3,67 %
2 muons	3,67 %
2 tau particles	3,67 %
Quark decays	Branching ratio*
Total	69,9 %
2 jets	~ 40 %
3 jets	~ 24 %
4 or more jets	~ 6 %

* Only the total branching ratio for quarks is a value from the Standard Model. The individual numbers of the branching ratios for events with different number of jets are experimental values.

(ontleend aan: [Hands-on-cern](#) – Z-exercise 1 – doorklikken naar 3e bladzijde – Answer)

Voorbeeldanalyse van een aantal metingen

Me- ting	nummer CERN	Deeltjes	Motivatie
1	83024/05711	2 muonen	er zijn twee tegengestelde sporen in de track detectors en in de EMcalorimeter, dus er zijn duidelijk twee geladen deeltjes. Omdat ze precies tegengesteld zijn is of twee elektronen of twee muonen zijn. Omdat er ook detectie van muonen in de muonkamer aanwezig is (vooral duidelijk in "sideview", met MuDet. in DELPHI Forward ingeschakeld), zijn dit dus twee muonen.
2	83024/05734	2 quarks + gluon	Er zijn 3 jets (elk met een eigen kleur) met in totaal ca. 10 deeltjes
3	83024/05746	2 muonen	2 muonen: weer twee tegengestelde sporen met detectie in de muonkamers (gebruik "End view", met MuDet. in DELPHI Barrel ingeschakeld)
4	83024/05767	2 quarks	2 jets met ca. 16 deeltjes (End view)
5	83024/05780	2 quarks	2 jets met ca. 13 deeltjes (End view)
6	83024/05784	2 quarks + gluon	3 jets met ca. 10 deeltjes
7	83024/05789	2 quarks + gluon	3 jets met ca. 14 deeltjes
8	83024/05829	2 quarks	2 jets met ca. 10 deeltjes
9	83024/05850	2 quarks + gluon	3 jets met ca. 17 deeltjes
10	83024/05881	2 quarks	2 jets met ca. 11 deeltjes
11	83024/05905	2 quarks	2 jets met ca. 9 deeltjes
12	83024/05913	2 tau	1 tau vervalt in 1 geladen deeltje (heldere groene deeltje = elektron) + 3 neutrale deeltjes (donkere groene deeltjes); andere tau vervalt in 3 geladen deeltjes (heldere rode deeltjes) en 2 neutrale deeltjes (donkere rode deeltjes) en nog een geladen blauw deeltje (soort?)