

# Samenvatting PMN

## Golf en deeltje.

Het foto-elektrisch effect: Licht als energiepakketjes (deeltjes)

Foton ( $\gamma$ )      impuls:  $p = \frac{h}{\lambda}$       en energie  $E = hf$

Deeltje (m)      impuls  $p = mv$       en energie  $E = \frac{p^2}{2m}$       en golflengte  $\lambda = \frac{h}{p}$

Zowel materie als golven (fotonen) hebben het gedrag van golven en van deeltjes.

Alle deeltjes worden verder beschouwd quantumdeeltjes te zijn en worden beschreven met een golf functie. Als een deeltje slechts één golflengte bevat dan is de impuls zeer goed bepaald maar is de golf over de hele ruimte uitgesmeerd, je weet niet meer waar het deeltje zich bevindt.

Bevat de golf functie veel golflengtes dan krijg je een golf functie met een scherpe piek, en is de plaats goed bepaald maar de impuls niet meer vanwege de vele waarden van de golflengte.

De kans een deeltje ergens aan te treffen is evenredig met het kwadraat van de amplitudo van de golf.

De relatie tussen de onzekerheden in plaats en impuls staat bekend als de

onzekerheidsrelatie van Heisenberg:  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$

Zodra je gaat meten neem je het deeltje op een bepaalde plaats waar en dan vernietig je daarmee de golf functie.

## Atomen en moleculen.

Sinds bekend was dat atomen uit positief en negatief geladen deeltjes is opgebouwd is er een ontwikkeling geweest van een soep (uitgesmeerde positieve lading) met krenten (de elektronen (Model van Thomson) via Rutherford (zware positieve kern en daaromheen lichte elektronen) en Bohr (stationaire toestanden) naar het huidige atoommodel.

De energie van de gebonden elektronen is opgedeeld in energieniveaus. Alleen die niveaus zijn toegestaan, en absorptie of emissie van energie (meestal fotonen) kan alleen maar plaatsvinden van het ene energieniveau naar het andere, dus gequantiseerd.

$$E_{\text{foton}} = hf = E_n - E_m$$

Een eenvoudig model om mee te rekenen is het deeltje in een doos (eerst 1-dimensionaal):

De golf functie is een staande golf waarvoor geldt:  $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$  met L de afmeting

van het doosje. Of  $\lambda = 2 \frac{L}{n}$ .

Als je weet dat  $E = \frac{p^2}{2m}$  en  $p = \frac{h}{\lambda}$  krijg je voor de energie  $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$

Voor  $n = 1$  krijg je de grondtoestand, de laagst mogelijke energie van het gebonden elektron.

Ook is het duidelijk dat de energie van een elektron in een atoom veel kleiner is dan de energie van een deeltje in een atoomkern, want de afstand L is daar ongeveer een factor  $10^5$  kleiner. Ook al zijn de massa's van de nucleonen (kerndeeltjes, de protonen en neutronen) ongeveer 2000 maal groter dan die van het elektron, dan nog zijn de energieën in een kern (de energie-toestanden) ongeveer  $10^7$  maal groter dan van een gebonden elektron.

Voor een deeltje (nog steeds een elektron) in een rechthoekig doosje geldt:

$E = \frac{h^2}{8m} \left( \frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right)$ , een eenvoudige uitbreiding van het eendimensionale model.

Om kleuren van grote complexe organische moleculen te begrijpen is het deeltje in een doos model goed bruikbaar omdat bepaalde elektronen zich als zodanig lijken te gedragen. De energie van de elektronen en daarmee de mogelijke energieovergangen leveren (in combinatie) de kleur van de stof.

Metaalbinding kan je je voorstellen door aan te nemen dat elektronen van de ene atoom naar de andere kan "reizen" als ze dicht bij elkaar komen. Het elektron is dan niet meer gebonden aan één atoom maar aan meerdere, de afmetingen van het doosje wordt groter en de energie van het elektron neemt af (kenmerkend voor binding!).

Op dezelfde manier is stevigheid van stoffen te begrijpen.

Als je een stof samendrukt neemt de afmetingen van het doosje af, de golflengte wordt kleiner en de energie neemt toe.

Hierbij geldt:  $F = \left| \frac{dE}{ds} \right|$  per deeltje.

Ondanks de eenvoud van het deeltje in een doos model is kwalitatief een hoop begrijpelijk te maken, ook al is het niet een realistisch model. Je kan wel allerlei aanpassingen maken (zachte wanden enz..) maar het model blijft nauwelijks of beperkt kwantitatief inzetbaar. Maar is wel eenvoudig en illustratief.

Beter wordt het model al als je ook potentiële energie toevoegt ( de energie in het aantrekkingsveld tussen de positieve kern en de negatieve elektronen of de afstoting tussen de elektronen of de flexibele wanden van het bovengenoemd model).

Dan hoef je ook geen aannames meer te maken over de afmetingen ( die we bij het doosje hebben gekozen) maar kan je de afmetingen op grond van een meer realistisch model (hoewel nog steeds beperkt in kwantitatieve zin) redelijk benaderen.

Een realistische beschrijving komt van Heisenberg en Schrödinger (elk op een eigen manier). Een eenvoudige beschrijving van de Schrödinger-vergelijking vind je in het cursusboek, maar hoef je niet te kennen.

De beschrijving van het waterstof-atoom levert volgens deze vergelijking scherpe waarden voor de energie van het gebonden elektron (dit is de som van  $E_k$  en  $E_p$ ), maar over plaats en impuls van het elektron zelf is alleen in termen van waarschijnlijkheid iets te zeggen ( $E_k$  hangt van  $p$  en  $E_p$  hangt van  $x$  af).

Ook is het belangrijk om te beseffen dat elektronen **fermionen** zijn (deeltjes met spin  $\frac{1}{2}$ ), die als eigenschap hebben dat ze niet in dezelfde energietoestand kunnen zitten en dus zullen meerdere elektronen stapelen in de hogere energietoestanden. Maximaal kunnen in één energietoestand 2 elektronen zitten ( paarvorming) waarvan de een spin up en de ander spin down.

Deze eigenschap is essentieel voor het bestaan van moleculen, atomen, eigenschappen van vaste stoffen en dergelijke. Dit in tegenstelling tot de zogenaamde **bosonen** (spin 0, 1, 2, ... deeltjes) die allemaal in dezelfde energietoestand kunnen zitten.

## Reacties.

De vierde fase: Plasma. Een geheel of gedeeltelijk geïoniseerde gas, waarin veel vrije ladingsdragers zich bevinden. Komt in het heelal veel voor.

Kernreacties: natuurlijk verval van atoomkernen door  $\alpha$ ,  $\beta$  of  $\gamma$  verval.

Bouw van een atoomkern : bestaat uit protonen en neutronen.

Isotopen zijn kernen van hetzelfde element maar met verschillende massa (gelijk aantal protonen, verschillend aantal neutronen.)

Voorbeelden:



Er is ook  $\beta^-$  en  $\beta^+$  verval, en K-vangst. Let erop dat bij het berekenen van de energie welke bij het verval vrijkomt in tabel 25 van Binas de **atoom-massa's** staan, en niet de **kernmassa's**! Voor alle zekerheid is het misschien het verstandigst om altijd eerst van de atoommassa's bij alle betrokken kernen (ook  $\alpha$  !) de massa van de elektronen af te trekken, dan weet je zeker dat je de kernmassa's hebt. Haal **niet** de uitgezonden  $\beta$ 's weg! En bereken met de beroemde formule:  $E = mc^2$  (Einstein).

Let op dat de in tabel 25 genoemde energie van de uitgezonden deeltjes niet de bij het verval vrijkomende energie is! (ook de achterblijvende kern krijgt door terugstoot (behoud van impuls) energie, en bij  $\beta$ -verval krijg je altijd te maken met neutrino's die ook energie meenemen).

Halvering:  $N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t} = N(0) \cdot 2^{-t/\tau}$  met  $\tau$ =halveringstijd en

$\lambda$ =vervalconstante. Er geldt: (ga zelf na):  $\lambda = \frac{\ln 2}{\tau}$

Activiteit= aantal per seconde vrijkomende deeltjes:

$$A(t) = \left| \frac{dN(t)}{dt} \right| = A(0) \cdot 2^{-t/\tau} = \lambda \cdot N(t)$$

Absorptie van deeltjes:  $I(x) = I(0) \cdot 2^{-x/d_{\text{half}}}$  Met  $d_{\text{half}}$ =halveringsdikte.

Het neutrino, al eerder genoemd, is, ondanks dat het nauwelijks wisselwerking met de gewone materie heeft, is aangetoond.

De overige stralingsvormen worden met behulp van GM-telless, (Wilsonvat) nevel- en bellenvat, dradenkamer, ionisatiekamer... aangetoond en onderzocht).

Structuur van de elementaire deeltjes (in het **standaard model**):

Fermionen (spin $\frac{1}{2}$ )							Wisselwerkingsbosonen (spin 0)			
LEPTONEN				QUARKS						
		naam	lading		naam	lading				soort wisselwerking
$e^-$		elektron	$-e$	u	up	$\frac{2}{3}e$	$\gamma$			foton EM
	$\nu_e$	neutrino	0	d	down	$-\frac{1}{3}e$				
$\mu^-$		muon	$-e$	c	charm	$\frac{2}{3}e$	$W^-$	$W^+$	$Z^0$	zwak
	$\nu_\mu$	neutrino	0	s	strange	$-\frac{1}{3}e$				
$\tau^-$		tauon	$-e$	t	top	$\frac{2}{3}e$	g			Gloun sterk
	$\nu_\tau$	neutrino	0	b	bottom	$-\frac{1}{3}e$				

De protonen en neutronen worden **baryonen** genoemd. De normale materie krijgt als **baryongetal** +1, antimaterie -1. Er geldt bij reacties **behoud van het baryon-getal**. Zo ook het **leptongetal**: de gewone leptonen krijgen als **leptongetal** +1, de antideeltjes hiervan -1, en er geldt bij reacties **behoud van het leptongetal**.

Daarom komt er bij  $\beta$ -verval altijd een neutrino, om te zorgen dat het leptongetal 0 blijft!. (bij elektron een antineutrino, bij positron een gewoon neutrino).

**Baryonen** bestaan uit 3 quarks, **mesonen** uit 2 (altijd een gewone en een antiquark).

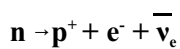
Alle deeltjes die uit quarks bestaan worden **Hadronen** genoemd (deeltjes die sterke wisselwerking vertonen).

Weergave reacties met behulp van diagrammen.

Symmetrie: om verschillende reacties te begrijpen of te voorspellen. Alles voorspelde reacties bleken er te zijn, dus de veronderstelling dat symmetrie klopt lijkt vooralsnog een juiste.

Soorten symmetrie: tijdomkering, ladingsomkering, kruisen.

Voorbeeld kruisen: het vrije neutron is instabiel en vervalt ( $\tau = 11$  min) als volgt:



Door kruisen van het neutrino krijg je dan:  $n + \nu_e \rightarrow p^+ + e^-$

Let op, het antineutrino is door kruisen een gewoon neutrino geworden!!

Verval van hadronen: door elektrische wisselwerking krijg je bij verval fotonen, door sterke wisselwerking krijg je bij verval pionen of andere mesonen. Dit moet in verband met behoud van spin! Bedenk dat de baryonen uit 3 quarks bestaan en zijn spin  $\frac{1}{2}$  deeltjes, de mesonen bestaan uit 2 quarks (een gewone en anti-quark) en zijn spin 0 deeltjes, dus bosonen.

Zwakke wisselwerking herken je aan het uitzenden van mesonen en/of leptonen.

## Astrofysica.

Straling is wat ons uit de ruimte tegemoet komt, en geeft ons die informatie die we nodig hebben om de processen in het heelal te begrijpen.

Hoewel het begrip over de leeftijd pas laat kwam: Het heelal bestaat ca 13 miljard jaar, en de processen kunnen niet alleen op verbranding en gravitatie zijn gebaseerd.

Kernenergie (fusie) is hier de oorzaak, waarbij in de sterren zwaardere elementen worden gevormd en bij (super)nova als een oude (zware) ster explodeert en nog zwaardere elementen worden gevormd. Wij zijn allen uit sterrenstof gemaakt!

Een schatting van de druk en de dichtheid (zie boek) geven een idee van de temperatuur in het inwendige van een ster. Hier wordt vooral van de "oude" natuurkunde:  $p = \rho \cdot g \cdot h$  en de algemene gaswet gebruik gemaakt.

Een ster ontstaat uit een gaswolk die door gravitatie wordt samengetrokken waarbij de temperatuur stijgt (eerste hoofdwet warmteleer!) en er een plasma ontstaat met zo hoge temperatuur dat, mits de massa van de wolk en daarmee de gravitatiekracht groot genoeg zijn, in het inwendige kernfusie kan ontstaan.

Evenwicht in de ster is er een tussen de thermische druk en de foton druk naar buiten en de gravitatiedruk naar binnen.

In de ster is er dan fusie van waterstof tot helium en later helium tot koolstof etc.

De netto waterstof-reactie is:  $4\text{}^1_1\text{H} + 2\text{}^0_{-1}\text{e} \rightarrow \text{}^4_2\text{He} + 2\nu (+ 2\gamma)$

Bereken nu eens met tabel 25 de energie die bij deze vormingsreactie vrijkomt.

De temperatuur van de zon bepalen we uit de stralingskromme van Planck (vergelijk verschillende golflengtes en de intensiteiten hiervan om tot een temperatuur te komen).  
Uit de dopplerverschuiving bepalen we of de ster naar ons toe of van ons af beweegt (we hebben een uitdijend heelal, dus voornamelijk een rood-verschuiving).

Uit de verbreding van een spectraallijn van een ster kunnen we de rotatie van de ster bepalen, en de samenstelling van de spectraallijnen geeft ons informatie over de chemische samenstelling van de ster.

En wil je gewoon nog meer informatie: dan is hoofdstuk 6 nog zeer informatief, zowel wat betreft de samenvatting (nuttig! Ook naast deze samenvatting) als de verdieping die er in is opgenomen.

De moderne natuurkunde bevat nog veel meer, maar je hebt er aan kunnen ruiken, je krijgt een idee van de denkwijze van moderne natuurkundigen en het begrip welke langzaam groeit in de bizarre werkelijkheid van de natuur.

Waren het allemaal maar knikkertjes die bewegen en botsen...Ach dan was het ook niet zo leuk geweest.

Succes met de voorbereiding en de toets.

26-3-2006