

MODULE NOBELPRIJS

herontwerp voor havo en vwo,
implementatie en evaluatie

Leontine de Graaf
Onderzoek van Onderwijs
augustus 2009



Samenvatting

In Nederland draait sinds twee jaar een pilot op het gebied van nieuw Scheikunde-onderwijs. Dit is context-conceptgebaseerd onderwijs dat werkt met modules, die een aantal chemische onderwerpen (concepten) behandelen vanuit een maatschappelijke, beroeps- of theoretische context. De enige module die expliciet de ontwikkeling van (wetenschappelijke) modellen behandelt is de module Nobelprijs.

In dit onderzoek is de bestaande module Nobelprijs zoals die wordt gebruikt op OSG Erasmus in Almelo herontworpen, geïmplementeerd en geëvalueerd. De doelstelling was om de module naar havo en vwo te differentiëren, de chronologische ontwikkeling van het atoommodel voor de leerlingen duidelijk te maken, en om leerlingen te leren werken met atoommodellen (atoombouw, covalentie, elektrovalentie, radioactiviteit).

Ten opzichte van de oude versie van de module Nobelprijs werden de modellen en wetenschappers iets anders ingedeeld, en werden opdrachten in de tekst opgenomen die leerlingen laten nadenken over de ontwikkeling van de modellen. De vwo-versie bevat meer opgaven en opdrachten, met grotere diepgang dan de havo-versie. De module is gebaseerd op samenwerkend leren.

De onderzoeksvraag was of de herontworpen modules Nobelprijs voor havo en vwo voldoen aan de doelstellingen van verhoging van inzicht in modelvorming, samenwerking en behaald kennisniveau, en hoe de module wordt ervaren door docenten en leerlingen. De onderzoeksvraag werd gesplitst in vier deelvragen die werden beantwoord door gebruik te maken van vragenlijsten over modellen vóór en na afloop van de module, logboek, lesobservatie en interview met de docenten.

De antwoorden op de vragen worden gecategoriseerd naar niveau van modelvorming van Grosslight. volgens: Niveau I: modellen worden gezien als voorbeelden, een tekening, of als kopieën van de werkelijkheid.; Niveau II: modellen zijn gemaakt met een doel, gericht op de *relatie* tussen model en werkelijkheid (geen kopie). Niveau III: een model is dynamisch, en wordt beïnvloed door de de modelmaker.

De module blijkt het inzicht in de ontwikkeling van het atoommodel van de leerlingen enigszins te verhogen. Het gemiddelde niveau van inzicht in modellen stijgt licht, van 10% van de leerlingen in niveau I naar 30% in niveau II. Leerlingen zien een model niet meer als *precies* de werkelijkheid, maar vaker als een *versimpeling* van de werkelijkheid. Uit een van de vragen blijkt dat leerlingen ook besef hebben van het feit dat een model dynamisch is, en moeilijke verschijnselen kan verduidelijken (aspecten van niveau II en III).

De module heeft de gewenste diepgang voor havo en vwo, en biedt voldoende mogelijkheden tot samenwerking. De concepten over atoombouw worden voldoende behandeld, en de leerlingen konden na afloop de oefen-eindexamenopgaven maken. Welk niveau de leerlingen blijvend gehaald hebben zal volgend cursusjaar blijken, bij de behandeling van gerelateerde onderwerpen. De docenten hebben de module als goed ervaren, er zijn wat tips voor aanpassing, maar volgend cursusjaar zijn de modules niet aangepast.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	7
1.1 Nieuwe Scheikunde.....	7
1.2 Module Nobelprijs.....	7
1.3 Doel van het onderzoek	8
1.4 Inhoud van het verslag.....	8
2 Kader van het onderzoek: theorie en onderzoeksvragen.....	9
2.1 De weg naar nieuwe scheikunde.....	9
2.1.1 Curriculumvernieuwing.....	9
2.1.2 Context-conceptbenadering algemeen	10
2.1.3 Context-conceptbenadering in Nederland	10
2.1.3 Viervlakschemie en leerlijnen	11
2.2 Modellen en modelvorming in de scheikunde.....	12
2.2.1 Modellen en modelvorming.....	12
2.2.2 Bevorderen van conceptual change	15
2.2.3 Module Nobelprijs en modelvorming.....	16
2.3 Samenwerkend leren	17
2.4 Doel van het onderzoek, onderzoeksvragen en onderzoeksstrategie.....	18
2.4.1 Doel van het onderzoek.....	18
2.4.2 Onderzoeksvraag	20
2.4.3 Onderzoeksstrategie.....	20
3 Gebruikte onderzoeksmethode en instrumenten.....	23
3.1 Onderzoeksmethode: koppeling deelvragen aan instrumenten.....	23
3.2 Gebruikte instrumenten en data-analyse.....	24
3.2.1 Deelnemers.....	24
3.2.2 Instrumenten	24
3.2.3 Data analyse.....	25
4 Resultaten.....	27
4.1 Herontwerp.....	27
4.2 Vragenlijsten.....	29
4.2.1 Invloed van profiel (NG/NT) en cluster.	29
4.2.2 Vragenlijsten 1 en 2 vergeleken: hoe is het modelinzicht van havo en vwo veranderd na afloop van de module ?.....	30
4.3 Logboek en lesobservaties.....	34
4.4 Interview.....	34
5 Conclusies.....	36
6 Discussie en aanbevelingen.....	38
7 Literatuur.....	40
BIJLAGE 1: Module Nobelprijs Havo deel 1 - leerlingentekst.....	44
BIJLAGE 2: Module Nobelprijs Havo deel 2 – atoommodellen	49
BIJLAGE 3: Module Nobelprijs VWO deel 1 - leerlingentekst.....	64
BIJLAGE 4: Module Nobelprijs VWO deel 2 – atoommodellen	69
BIJLAGE 5 Presentatiescore-model.....	86
BIJLAGE 6 Vragenlijst 1, uitgedeeld voor start module.....	87
BIJLAGE 7 Vragenlijst 2, uitgedeeld na eind module.....	89
BIJLAGE 8 Logboek.....	91
BIJLAGE 9 Interviewschema.....	92

BIJLAGE 10 Omwerken vragenlijst 2 naar vragenlijst 1.....	93
BIJLAGE 11 Score op vragenlijst 1.....	95
BIJLAGE 12 Score op vragenlijst 2.....	99
BIJLAGE 13 Vergelijk vragenlijst 1 en 2.....	103
BIJLAGE 14 Vergelijking antwoorden vraag 2 van individuele leerlingen.....	105
BIJLAGE 15 Interviews met docenten	107

1 Inleiding

1.1 Nieuwe Scheikunde

De huidige maatschappij heeft behoefte aan mensen die zogenaamd 'scientific literate' zijn, die voldoende kennis hebben van bèta-vakken om mee te kunnen denken en doen in discussies over maatschappelijk relevante bèta-onderwerpen. Voorbeelden hiervan zijn klimaatverandering, alternatieve energiebronnen, de griep-epidemie, of de ontwikkeling van nieuwe medicijnen met behulp van genetische manipulatie.

Circa tien jaar geleden werd in het middelbaar onderwijs de tweede fase ingevoerd, waarbij leerlingen eindexamen doen in één van vier profielen. Twee van die profielen, Natuur en Gezondheid (NG) en Natuur en Techniek (NT) zijn bèta-gericht en bevatten een combinatie van biologie, natuurkunde en scheikunde. Leerlingen uit de beide andere profielen, Economie en Maatschappij (EM) en Cultuur en Maatschappij (CM), volgen deze vakken sporadisch. Het aantal leerlingen dat een M-profiel kiest ligt hoger dan het aantal leerlingen met een N-profiel, waarbij NT erg laag scoort.

De veranderde behoefte aan beta-onderwijs, en de veranderde manier van lesgeven en leren leidde ertoe dat het huidige scheikundeprogramma niet meer actueel werd bevonden. Om de aantrekkelijkheid van scheikunde als schoolvak te verhogen, en het beeld van de maatschappelijke relevantie van scheikunde te verbeteren werd de Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en Vwo onder voorzitterschap van prof. dr. Gerard van Koten ingesteld. Deze adviseerde de nadruk te leggen op het leren begrijpen van de chemie achter producten en processen (van Koten, 2003). De commissie Van Koten vindt verder dat het nieuwe scheikundeprogramma moet aansluiten op vragen van nu en in de toekomst. Bovendien pleit de commissie voor een examenprogramma waarin meer ruimte is voor nieuwe ontwikkelingen en eigen keuzes van docent of leerling.

Van Koten stelt de context-concept benadering voor als hoofdbenadering voor het nieuwe scheikunde-onderwijs. Als wordt uitgegaan van maatschappelijke, experimentele, theoretische en beroepsgerichte contexten, nemen zij aan dat scheikunde-onderwijs een bredere groep leerlingen zal aanspreken. De verwachting is dat de contexten fungeren als brug van de werkelijkheid naar de concepten, en de concepten het kader vormen voor de kennisopbouw. In de benadering van Van Koten is gekozen voor twee centrale concepten: *het molecuulconcept*: materie is opgebouwd uit moleculen of andere deeltjes zoals atomen, ionen; en *het micro/macro concept*: het verband tussen de moleculaire en de macroscopische eigenschappen.

Het nieuwe scheikunde-onderwijs werkt met modules die onderwerpen behandelt vanuit een context. Een programma van opeenvolgende modules zorgt ervoor dat alle noodzakelijke concepten behandeld worden. Er worden aparte programma's ontwikkeld voor havo en vwo. Momenteel wordt op een beperkt aantal scholen een experimenteel eindexamenprogramma voor scheikunde havo en vwo gedraaid. OSG Erasmus doet hieraan mee, en 5 havo heeft dit jaar voor het eerst eindexamen gedaan in nieuwe scheikunde. In deze testfase worden ontwikkelde modules getest en aangepast voor gebruik. De module Nobelprijs is daar één van, en wordt voor het tweede jaar gedraaid.

1.2 Module Nobelprijs

De module Nobelprijs wordt op OSG Erasmus gebruikt aan het eind van 4 havo en 4 vwo. De context is het uitreiken van de Nobelprijs voor het atoommodel. Een van de doelen van de module is de leerlingen te laten zien dat 'het' atoommodel dat wij nu gebruiken, eigenlijk de meest hanteerbare

versie is van een aantal atoommodellen dat in de loop der tijd door meerdere wetenschappers is ontwikkeld (en nog steeds wordt doorontwikkeld).

Een belangrijke doelstelling is om de leerlingen bewust te maken van het feit dat wetenschappelijke modellen steeds verbeterd en verfijnd worden, omdat zij op een gegeven moment niet meer voldoen in hun bestaande vorm. Momenteel is de module Nobelprijs de enige module die hieraan aandacht besteedt, en meerdere atoommodellen in historisch perspectief plaatst.

Tijdens de module bestuderen de leerlingen zowel de wetenschappers als hun atoommodellen. Tijdens de module kennen de leerlingen de Nobelprijs toe aan die wetenschapper die in hun ogen de Nobelprijs het meest verdient. Een doel op het gebied van vakkennis is dat leerlingen de atoommodellen en atoombouw kennen, en concepten als electrovalentie en covalentie kunnen toepassen. Havo leerlingen moeten kunnen werken met het atoommodel van Rutherford, vwo-leerlingen met het model van Bohr. Tenslotte is samenwerking in groepjes een doelstelling van de module, evenals het presenteren van de groepsresultaten en het beoordelen van elkaars werk.

De module is voor het vwo door OSG Erasmus al aangepast ten opzichte van de originele uitgave, voor de havo werd een versie gebruikt die dichter bij het origineel ligt. Het huidige onderzoek was gericht op verbeterde modules Nobelprijs voor OSG Erasmus, gedifferentieerd naar 4 havo en 4 vwo. Binnen het onderzoek werd de module uitgevoerd bij zowel havo als vwo, en geëvalueerd.

1.3 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is *herontwerpen* van de bestaande versies van de module Nobelprijs zodanig dat de doelstellingen van de module beter worden gehaald, gevolgd door de *implementatie en evaluatie* van de module. Bij de doelstellingen ligt de nadruk op het inzicht dat leerlingen krijgen in de ontwikkeling van het atoommodel (dat als voorbeeld dient van de ontwikkeling van wetenschappelijke modellen in het algemeen).

Binnen het onderzoek vond een tweetal activiteiten plaats:

1. Herontwerp van de module Nobelprijs zoals die door OSG Erasmus werd gebruikt. De module wordt herontworpen om de doelstellingen van de module met betrekking tot inzicht in modelontwikkeling beter te kunnen halen. Hierbij wordt de module gedifferentieerd naar een havo- en een vwo-versie.
2. Onderzoek naar de effectiviteit van de module wat betreft de inhoudelijke doelstellingen van de module, namelijk inzicht in modelontwikkeling, kennis van atoommodellen, gebruik van atoommodellen van Rutherford en Bohr, samenwerken, presenteren, oordelen.

Een uitgebreide beschrijving van de onderzoeksvragen wordt gegeven in hoofdstuk 2.

1.4 Inhoud van het verslag

Hoofdstuk 2 behandelt de uitgangspunten van context-concept onderwijs, gevolgd door een literatuuroverzicht over modellen en modelvorming binnen bèta-onderwijs. Hierin worden verschillende soorten en kenmerken van modellen beschreven, hoe leerlingen hun eigen modellen vormen, en (het bevorderen van) conceptual change. Omdat de module gebaseerd is op samenwerkend leren wordt hieraan ook aandacht besteed. Het hoofdstuk sluit af met een uitgebreidere beschrijving van de onderzoeksvragen. In hoofdstuk 3 worden de gebruikte onderzoeksstrategie en instrumenten nader beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van het onderzoek. Het verslag wordt afgesloten met de Conclusies, Discussie en aanbevelingen en de Literatuurlijst.

2 Kader van het onderzoek: theorie en onderzoeksvragen

Hoofdstuk 2 behandelt eerst de historie van context-concept onderwijs in binnen-en buitenland. Vervolgens wordt ingegaan op modelgebruik en modelvorming binnen bèta-onderwijs, met name scheikunde onderwijs, en hoe leerlingen hun eigen modellen vormen. Samenwerkend leren komt aan de orde, en tenslotte worden de doelstellingen van de module Nobelprijs uitgediept en de onderzoeksvragen behandeld.

2.1 De weg naar nieuwe scheikunde

In Nederland publiceerde de commissie van Korten in 2003 het rapport *Chemie tussen context en concept*. Deze stelt dat het Nederlands Scheikunde onderwijs niet meer actueel is, en doet een voorstel voor de vernieuwing van het vak scheikunde: de context-concept benadering.

Deze paragraaf beschrijft curriculumvernieuwing, en de context-concept benadering in het buitenland en in Nederland.

2.1.1 Curriculumvernieuwing

Een curriculum is een 'plan for learning', een plan voor een leerproces (van den Akker, 1998). Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende *niveaus* waarop een curriculumvernieuwing speelt, bijvoorbeeld als het gaat om beleid maken, ontwikkelen, implementeren, en evalueren van de vernieuwing. Vaak worden de volgende niveaus gebruikt: macro – maatschappij/land/systeem, meso – school/instituut, micro – klas en nano- individuele leerling.

Vanuit curriculumimplementatie perspectief bekeken zijn zes *verschijningsvormen* van een curriculum te onderscheiden (Tabel 2.1 uit van den Akker, 1998). Overigens lopen bij Nieuwe Scheikunde het formeel en opgevat curriculum door elkaar in de zin dat docenten zelf hun lesmateriaal ontwerpen. Deze strategie is ingezet om de grote discrepanties tussen beide verschijningsvormen (die er vaak zijn als een curriculum top down ontwikkeld wordt) zo minimaal mogelijk te laten zijn.

Tabel 2.1: Verschijningsvormen van een curriculum

Bedoeld	Ideaal	in het hoofd van de bedenkers en in visiedocumenten
	Formeel (geschreven)	zoals het op papier staat in documenten/methodes en handleidingen (vertaalslag visiedocument – onderwijsmethodes)
Geïmplementeerd	Opgevat	zoals het geschreven door docenten geïnterpreteerd wordt
	Operationeel	zoals het in de klas wordt uitgevoerd
Bereikt	Ervaren	het leerproces van de leerlingen
	Geleerd	wat de leerlingen geleerd hebben, de leerresultaten

Het huidige onderzoek naar de module Nobelprijs heeft met name betrekking op de relatie tussen enerzijds het formele curriculum, en anderzijds het ervaren en geleerde curriculum. Ofwel, de relatie tussen de beoogde doelstellingen van de module enerzijds, en de behaalde resultaten anderzijds. Het onderzoek richt zich op de ontwikkeling, implementatie en evaluatie van een module van de Nieuwe

Scheikunde. Bij de implementatie speelt de docent natuurlijk een rol, met name in het eerste deel van de module waar leerlingen posters maken en pleidooien houden. De opzet van het tweede deel van de module is zodanig dat leerlingen deze vrij zelfstandig kunnen doorwerken, waardoor de rol van de docent in het operationele stadium beperkt is.

2.1.2 Context-conceptbenadering algemeen

Context-gebaseerd onderwijs heeft als doel de interesse van leerlingen te wekken door hun leefwereld te betrekken bij het vak dat ze volgen. De problemen die wereldwijd werden gezien bij het oude scheikunde curriculum en mogelijke oplossingen worden beschreven door Gilbert (Gilbert, 2006; Pilot & Bulte, 2006a; Pilot & Bulte, 2006b).

Het oude curriculum is overvol, en de aanname is dat een selectie van concepten op een need-to-know basis leidt tot een beter focus. Werken vanuit op elkaar afgestemde maatschappelijk relevante contexten moet de leerlingen in staat stellen beter hun eigen 'mental maps' te maken, en ook transfer van concepten naar ander contexten vergemakkelijken (hierbij speelt de docent een belangrijke rol). Als meer gedifferentieerd en flexibeler onderwijs kan worden geboden, komt de nadruk minder op de wetenschappelijke methode te liggen, die tenslotte voor veel leerlingen later niet meer van belang is. Gilbert geeft vervolgens kenmerken van een goede context, en stelt dat een context in de vorm van 'social circumstances', een *maatschappelijke* context het meest succesvol zal zijn.

Ook de Vos ziet spanning tussen de traditionele *inhoud* van het scheikunde onderwijs, waarbij de nadruk ligt op wetenschappelijke ontwikkelingen uit de 19e eeuw, en het *doel* van de moderne schoolscheikunde dat veel meer maatschappelijk georiënteerd is (de Vos, 1994). Zijn aanbeveling is om meer de rol van chemische processen en producten te benadrukken.

Vanaf midden jaren '80 van de vorige eeuw zijn er in veel landen ontwikkelingen en lesprogramma's gebaseerd op context-onderwijs. Voorbeelden zijn Chemistry in Context in de VS (Schwartz, 2006), Salters Advanced Chemistry in Engeland (Bennett, 2006), Industrial Chemistry in Israel (Hofstein, 2006) en Chemie in Kontext in Duitsland (Parchmann, 2006). Als het traditionele scheikunde-onderwijs wordt vergeleken met context-onderwijs, blijkt dat leerlingen inderdaad de relevantie van scheikunde in hun dagelijks leven beter inzien, meer uitdaging vinden in de practica, en meer samenhang zien tussen de concepten (mits de docent daarin begeleidt) (King, 2008).

2.1.3 Context-conceptbenadering in Nederland

Van Koten stelt de context-concept benadering voor als hoofdbenadering voor het nieuwe Nederlandse scheikunde-onderwijs (van Koten, 2003). In de benadering van Van Koten is gekozen voor twee centrale concepten:

- het molecuulconcept: materie is opgebouwd uit moleculen of andere deeltjes zoals atomen; ionen. Hierbij horen concepten als: atomen als bouwstenen van moleculen, verschillende typen binding tussen moleculen, atomen, of ionen; de structuur en flexibiliteit van moleculen; het maken en breken van bindingen; het ontwerpen van moleculen
- het micro/macro concept: het verband tussen de moleculaire en de macroscopische eigenschappen. Hierbij horen concepten zoals: het verband tussen de moleculaire samenstelling, structuur en eigenschappen; het verband tussen sterkte van bindingen in en tussen moleculen en stabiliteit; het verband tussen structuur, reactiviteit, reactiesnelheid, katalyse en processen die daaruit voortvloeien

Volgens de commissie sluiten deze twee centrale concepten het beste aan bij de essentie van scheikunde. Dat is het leggen van verbanden tussen enerzijds de eigenschappen van stoffen en de processen in de macroscopische wereld en anderzijds de samenstelling, structuur en reactiviteit op

moleculair niveau. Een kritische noot op het rapport van van Koten komt van Goedhart, die weliswaar de uitgangspunten van het rapport deelt, maar pleit voor uitgebreid traject van ontwikkeling en invoering van modules en voor een grondige evaluatie van de behaalde doelstellingen (Goedhart, 2004).

2.1.3 Viervlakschemie en leerlijnen

De Duitse modules van Chemie in Kontext (ChiK) maken gebruik van de zogenaamde viervlakschemie, een vorm van chemie onderwijs, waarbij een viertal facetten (leerling, docent, context, chemie) steeds een rol spelen (Parchmann, 2006). Elke fase in de ChiK methode kan beschreven worden als een vlak uit de viervlakschemie. De modules Nieuwe Scheikunde kennen ook deze opbouw volgens de viervlakschemie (Apotheker, 2005).

De methode onderscheidt 4 fasen:

1. introductiefase: de context wordt geïntroduceerd, op een manier dat de leerlingen geïnteresseerd raken in het onderwerp.
2. nieuwsgierigheids- en planningsfase: de leerlingen gaan in groepjes werken en kiezen zelf welke chemische aspecten ze willen onderzoeken, en de bijbehorende onderzoeksvraag opstellen.
3. verwerkingsfase: de groepjes gaan één of meerdere proeven uitvoeren om antwoord te krijgen op hun onderzoeksvraag, om deze klassikaal te presenteren (bv power-point presentatie, demonstratie, poster).
4. verdiepfase: de docent moet proberen meer lijn te brengen in de resultaten van de leerlingen en systematiek aanbrengen in de veelheid aan chemische begrippen. De begrippen moeten uit de context gehaald worden en teruggebracht worden naar meer abstracte kennis. Van de leerlingen wordt verwacht dat ze die begrippen vervolgens in een andere context weer kunnen toepassen

4-Vlakschemie is erop gericht om modules op verschillende manieren te ontwerpen en te variëren in de didactische uitwerking van de wisselwerking tussen context en concepten zoals experimenten, poster, presentatie of opgaven. Doordat leerlingen zelf hun onderzoek kiezen zouden ze meer gemotiveerd zijn. De opzet is dat er in alle modulen valt wat te kiezen voor leerlingen (in praktijk doet de docent dat vaak voor de leerling), en bovendien werken leerlingen vaak in groepjes op zelfstandige wijze (samenwerkend leren). Door zowel groepsbijdrage als individuele toets te beoordelen blijft de individuele verantwoordelijkheid voor het leerproces overeind. Het is aan de docent hoe de uiteindelijke implementatie van de modules plaatsvindt.

De module Nobelprijs is opgebouwd volgens de 4-vlakschemie. Na een introductie van de docent kiezen de leerlingen zelf een wetenschapper en stellen zij vragen op die zij beantwoord willen hebben (fase 2). Vervolgens maken de leerlingen in groepjes een poster en houden een presentatie (fase 3), waarna zijn in deel twee van de module zich verdiepen in de verschillende atoommodellen en atoombouw, en daarvoor opdrachten en vraagstukken maken (fase 4).

Voor het ontwerpen van een serie aansluitende modules, een leerlijn, kan gebruik worden gemaakt van de aanpak zoals beschreven in 'Ontwerp van een leerlijn en toetslijn nieuwe scheikunde. Leerjaar 3 havo en vwo' (Stuurgroep Nieuwe Scheikunde, 2006). Het onderwijsprogramma voor Nieuwe Scheikunde onderscheidt vier competentievelden :

- 1) Kennis ontwikkelen over de chemie
- 2) Communiceren over chemie
- 3) Gebruiken van chemiekennis
- 4) Beoordelen van chemie

De onderwijsdoelen hebben de vorm van een matrix, waarin voor elk van de vier competentievelden voor het ontwikkelen van 'scientific literacy', 5 beheersingsniveaus zijn weergegeven (van I t/m V). Globaal kan gesteld worden dat Niveau I het basisniveau is waarin bestaande kennis wordt toegepast in eenvoudige situaties. Niveau V is het hoogste waarbij complexe problemen worden opgelost en onderzoek wordt verricht. Deze matrix biedt een kader voor het ontwerpen van onderwijs in een leerlijn. In het huidige onderzoek wordt gebruik gemaakt van de competentievelden zoals bovengenoemd. Er worden aparte programma's ontwikkeld voor havo en vwo, die verschillen in de diepte waarin concepten worden uitgewerkt en de aard van de contexten. Naast experimentele contexten voor beide groepen zullen de contexten voor havo meer maatschappelijk en toepassingsgericht zijn en voor vwo daarnaast ook nog meer theoretisch van aard. Dit sluit aan op de verschillen tussen de gemiddelde havo en vwo-leerling (van Dijken, 2009a en 2009b).

2.2 Modellen en modelvorming in de scheikunde

In de wetenschap is een theorie een geheel van denkbeelden, hypothesen en verklaringen die in onderlinge samenhang worden beschreven (Wikipedia). Een theorie is een toetsbaar model ter verklaring van waarnemingen van de werkelijkheid. Er is in de wetenschappelijke literatuur veel geschreven over de kenmerken en het gebruik van modellen in beta-onderwijs. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van literatuur relevant voor het huidige onderzoek, en wordt deze literatuur betrokken op de module Nobelprijs. Ook wordt beschreven hoe leerlingen hun eigen modellen vormen en hoe dit bevordert en in goede banen geleid kan worden (conceptual change).

2.2.1 Modellen en modelvorming

Modellen zijn essentieel voor het genereren, delen en accpeteren van wetenschappelijk kennis, en vormen onderdeel van de zogenaamde scientific literacy (Prins, 2008). Ook de wetenschappelijke methode, een systematische manier om kennis te vergaren, maakt gebruik van modellen. Zij is gebaseerd op waarnemingen, metingen, voorspellingen, experimenten, verificatie en falsificatie. Daarom zou het voor de hand liggen om ook aandacht te besteden aan modellen en modelvorming in het (middelbaar) onderwijs, want een centraal doel van wetenschappelijk onderwijs is om leerlingen bekend te maken met de processen en concepten waarmee de wetenschap onze wereld verklaart (Gilbert, 1998a), en om een wetenschappelijke manier van denken aan te leren (Harrison, 2001). Echter, het blijkt dat leerlingen in de regel weinig besef hebben van de inhoud en doelen van modellen, en van de experimenten die leiden tot bevestiging of aanpassing van het model (Grosslight, 1991). In het huidige curriculum is de module Nobelprijs, voor zover bekend, de enige module die expliciet aandacht besteedt aan wetenschappelijke modellen.

Een model kan vele functies hebben, en een model heeft altijd een doel. Voorbeelden van functies zijn het beschrijven van een verschijnsel, het ruimtelijk samenstellen van een object uit zijn onderdelen, oorzaak en effect kunnen toeschrijven, of het voorspellen van gedrag onder bepaalde omstandigheden, of een combinatie hiervan (Gilbert, 1998a; Justi, 2002).

In het wetenschappelijk onderwijs dient een model drie doelen (Justi, 2002; Justi, 2005), namelijk :

- a) wetenschap leren/'model use': kennis opdoen over de belangrijkste modellen en concepten die geaccepteerd zijn in de wetenschap;
- b) over wetenschap leren/'model revision': de rol van modellen in de wetenschap leren waarderen, te weten wanneer een model niet meer voldoet en deze aanpassen;
- c) leren om wetenschap te bedrijven/'model production': leren om zelf modellen te creëren en te testen.

Het reguliere scheikunde-curriculum benadrukt het verkrijgen van declaratieve kennis en informatie van modellen, doel 1. Hierbij wordt weinig aandacht besteed aan modelrevisie en modelontwikkeling *de novo* (doelen 2 en 3).

Modellen worden in de regel gebruikt om verklaringen te geven. Gilbert geeft een aantal typen verklaringen zoals een verduidelijking van een tekst, een rechtvaardiging van een overtuiging, een beschrijving van een gebeurtenis, een citatie van een theorie of om een functie aan een object toe te kennen (Gilbert, 1998a, 1998b). Een geschikte verklaring is er één die de vraag beantwoordt zoals die op dat moment gesteld werd. Gilbert vindt dat een geschikte verklaring redelijk, simpel en algemeen moet zijn, en dat je er zoveel mogelijk mee moet kunnen verklaren (plausible, parsimonious, generalizable en fruitfull). Dit betekent dat het feit of een model geschikt is, afhangt van de gestelde vraag, maar ook de tijd waarin deze vraag wordt gesteld (dit onderstreept het belang van historisch perspectief). Goede overzichten van typen modellen en modelvorming door de jaren heen, deels binnen de scheikunde, worden gegeven door Gilbert (1998a), en Erduran (2004). De geschiedenis van de scheikunde wordt aardig beschreven door van Toor (2008).

Alle modellen maken gebruik van analogieën om een vergelijking te maken tussen iets dat lijkt op het verschijnsel (de analogie) en het verschijnsel zelf. De kunst is om de juiste analogieën te vinden om abstracte informatie over te brengen (Dagher, 2006a; Dagher, 2006b), en dit blijkt sterk af te hangen van het ervaringsniveau van de docent (van Driel, 1998; de Jong, 2005). Bij het aanleren van sommige modellen, zoals het deeltjes model in natuur-en scheikunde, komt daarbij nog een conflict tussen de macroscopische wereld met meetbare eigenschappen, en de microscopische wereld van discrete deeltjes (Albanese, 1997). Ook kan er sprake zijn van een bepaald drempelconcept dat verder begrip van een conceptueel model bemoeilijkt (Park, 2009).

Modellen hebben een aantal gemeenschappelijke kenmerken (van Driel, 1999; de Vos, 1999):

- Een model is gerelateerd aan een doel (bv een object, een verschijnsel, een proces)
- een model is een wetenschappelijk hulpmiddel om informatie te verkrijgen over een doel die niet direct verkregen of gemeten kan worden (bv over een atoom, een dinosaurus, een zwart gat)
- een model is niet rechtstreeks afgeleid van het doel (bv een foto is geen model)
- een model heeft een bepaalde analogie met zijn doel zodat een onderzoeker hypothesen kan opstellen met behulp van het model, en die hypothesen kan testen aan het doel
- een model verschilt op bepaalde punten van zijn doel, omdat het vaak zo eenvoudig mogelijk is
- bij het opstellen van een model moet een compromis gemaakt worden tussen de analogieën en de verschillen tussen model en doel.
- Modelvorming is een iteratief proces, waarbij experimenten leiden tot al dan niet aanpassing van een model.

Vervolgens kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende typen modellen. Greca onderscheidt twee modellen (Greca, 2000). Een *conceptueel* model is een algemeen geaccepteerde externe representatie die is gemaakt door wetenschappers of docenten, en die is bedoeld om beter begrip te krijgen van (verschijnselen in) de wereld. Een *mentaal* model daarentegen, is een intern model dat een individu voor zichzelf maakt. Het is idiosyncratisch, incompleet maar wel functioneel, en niet stabiel in de tijd. Gilbert onderscheidt vier modellen die verschillen in niveau van sociale acceptatie: (1) mental model, dat door een individu zelf wordt gemaakt; (2) expressed model, dat in woord en geschrift publiekelijk wordt verspreid; (3) consensus model, dat getest is en gebruikt wordt door wetenschappers; (4) teaching model, dat speciaal geschikt is voor lesgeven (Gilbert, 1998a).

Bij onderwijsgeven verwachten docenten dat het conceptuele model dat zij overdragen door de leerlingen wordt omgezet in een identiek mentaal model (Greca, 2000). Helaas is dit niet altijd het geval, wat kan leiden tot misconcepties en alternatieve raamwerken (Gilbert, 1983; Taber, 2008). Door leerlingen hun mentale modellen te laten evolueren komen die uiteindelijk op het niveau van het aangeboden conceptuele model (conceptual change, zie ook volgende paragraaf). Dit kan bijvoorbeeld door leerlingen te confronteren met experimenten of verschijnselen die niet kunnen worden verklaard met hun mentale model van dat moment (van Driel, 1998; Chinn, 2002). Dit constructivistische proces van *modelvorming* leidt tot betekenisvol leren doordat leerlingen de modellen zelf construeren en niet simpelweg aangereikt krijgen. Zij leren de *heuristiek van modelvorming* (zie ook boven, doel 2 van Justi, 2002). Men maakt hierbij gebruik van analogieën, simulaties, idealiseren en abstraheren (Greca, 2000).

Grosslight ziet drie niveaus van modelvorming bij studenten (Grosslight, 1991). In het huidige onderzoek wordt getest of er een verandering van deze niveaus plaatsvindt bij leerlingen na de module Nobelprijs. Grosslight onderscheidt de volgende niveaus:

- Niveau I: Studenten in niveau I zien modellen als voorwerp, speelgoed, tekening of als kopieën van de werkelijkheid. Deze zijn bedoeld om kopieën van objecten of acties te zijn, en soms worden delen weggelaten.
- Niveau II: Studenten in niveau II vinden dat modellen zijn gemaakt met een bepaald doel voor ogen, maar dat deze niet gericht zijn op de relatie tussen model en werkelijkheid. Het testen van het model gebeurt met alleen de geschiktheid voor dat doel in het achterhoofd.
- Niveau III: wordt vrijwel nooit door studenten gehaald, maar kent drie voorwaarden: (1) het besef dat een model gecreëerd is om ideeën te testen, en niet als kopie van de werkelijkheid; (2) het besef dat de modelmaker een actieve rol heeft in het maken van het model voor een bepaald doel; (3) dat een model *dynamisch* is en verder aangepast en ontwikkeld kan worden op basis van testresultaten.

Justi heeft een indeling gemaakt van aspecten van modellen (Justi, 2003). In het huidige onderzoek naar de module Nobelprijs wordt een aantal van deze aspecten nader bekeken.

- Aard (nature): een model is een reproductie of representatie van (een deel van) iets, mentaal beeld, voorbeeld
- Gebruik: een model is een voorschrift, verduidelijking, visualisatie
- Entiteit: een model is een object, gebeurtenis, proces, idee
- Uniekheid: er is maar één juist model, of meerdere modellen, of dit model is er één uit een historische reeks.
- Tijd: het model kan niet veranderd worden, tot het kan veranderd worden als de omstandigheden daartoe aanleiding geven
- Voorspellingen: een model kan wel of niet gebruikt worden voor voorspellingen
- Accreditatie: er is een maatschappelijke autoriteit die het model ondersteunt (individueel, groep, de wetenschappelijke wereld)

Justi komt hiermee tot de volgende definitie van een model: “(i) a non-unique partial representation of an object, an event a process or an idea; (ii) that can be changed; (iii) is used for enhancing visualisation as a way of both supporting creativity and favouring understanding, in making predictions about behaviour or properties, and (iv) is accredited by adequate groups in society”.

Het reguliere scheikunde-curriculum benadrukt het verkrijgen van declaratieve kennis en informatie van modellen. Bij deze aanpak wordt weinig aandacht besteed aan de redenen en de argumentatie achter de modelontwikkeling, de evaluatie en de herziening van modellen (Erduran, 2003; Justi, 2005). Verscheidene wetenschappers hebben reguliere beta-tekstboeken onderzocht op de manier waarop

die wetenschappelijke modellen behandelen, bijvoorbeeld het atoommodel. Zij komen tot de conclusie dat in de meeste gevallen wel het uiteindelijke atoommodel wordt behandeld, maar de verschillende modellen daarvoor, de experimenten die werden uitgevoerd en de redenen waarom een eerder model wordt aangepast, worden sterk onderbelicht (Blanco, 1998; Erduran, 2003; Erduran, 2004; Harrison, 2000; Justi, 2000; Niaz, 1998; Niaz 2005). Zij pleiten ervoor om bij het behandelen van modellen deze in historisch perspectief te plaatsen om zo beter besef te krijgen van het model, en onder welke omstandigheden het model (niet meer) voldoet, en om het belang van een model beter te begrijpen (Erduran, 2004; Justi, 1999; Justi, 2002). Overigens is ook van belang dat de betreffende docenten goed besef hebben van de modellen en hun historie (Cullin, 2003; Harrison, 1998; Henze, 2008; Justi, 2003; Justi, 2005). Prins is ook voorstander om leerlingen niet alleen de feiten van een model te doceren, maar hen het model te laten gebruiken en zelfs aan modelvorming te doen (Prins, 2008).

2.2.2 *Bevorderen van conceptual change*

Een individu leert als hij nieuwe kennis organiseert in denkstructuren (schema's) en koppelt aan bestaande kennis en ervaring. Aanpassing van bestaande structuren gebeurt door assimilatie en accommodatie. Ook bij het leren van beta-vakken, die vaak behoorlijk abstract zijn, wordt nieuwe informatie ingepast in de bestaande kennisstructuur van een leerling.

Conceptual change komt vaak voor in vakgebieden waar bestaande conceptuele structuren van leerlingen zeer sterk veranderd moeten worden voordat zij in staat zijn de aangeboden nieuwe lesstof goed te begrijpen, wat vaak het geval is bij wetenschappelijke concepten. In het algemeen wil 'conceptual change' zeggen via welke leerroutes de leerling vanuit zijn bestaande concepties uitkomt bij de wetenschappelijke concepten die hij moet leren, en wordt geassocieerd met een constructivistische manier van lesgeven. Methoden om conceptual change te bereiken zijn gebaseerd op cognitieve activering, één van de kenmerken van effectief lesgeven (Duit & Treagust, 2003).

In deze paragraaf wordt beschreven op welke manier leerlingen conceptual change (verandering van hun denkstructuur) doormaken. Vaak wordt hierbij in beta-vakken gebruik gemaakt van modellen om abstracte stof uit te leggen.

Men kan twee manieren onderscheiden waarop leerlingen hun idee vormen over wetenschappelijke concepten (Nakhleh, 2001; Taber, 1998; Taber, 2008):

- (1) leerlingen gebruiken onderliggende, naïeve theorieën over hoe de wereld in elkaar zit (theorie-gebaseerd), en vormen een conceptueel raamwerk dat vrij stabiel is, en niet snel verandert.
- (2) leerlingen geven gefragmenteerde, onderling niet-gekoppelde, ad-hoc verklaringen van verschijnselen (zogenaamde phenomenological primitives, p-prims). Deze p-prims worden in de loop der tijd door de leerlingen wel onderling verbonden, waardoor leerlingen verschijnselen kunnen verklaren en voorspellen. Deze constructie is labiel en meer aan verandering onderhevig.

De klassieke aanpak voor conceptual change is om leerlingen eerst bewust te maken van hun alternatieve raamwerken, en dan ideeën te presenteren die niet in de bestaande raamwerken van de leerlingen passen, waardoor deze ontevreden worden. Dan presenteert de docent een nieuw, op wetenschap gebaseerd raamwerk, dat wél een goede verklaring levert. Het bleek echter dat leerlingen vaak niet het gewenste eindniveau van conceptie haalden, en regelmatig vaak oude ideeën bleven bestaan (soms als hybride idee, (Duit, 2003)). Taber concludeert ook dat leerlingen regelmatig alternatieve conceptuele raamwerken vormen die kunnen bestaan naast de p-prims (Taber, 2008).

Alternatieve raamwerken kunnen ontstaan doordat het beeld dat de leerling vormt niet overeenkomt met het beeld dat de docent wil overbrengen (Gilbert, 1983). Bijvoorbeeld omdat de docent en leerling semantisch niet op het zelfde niveau communiceren en de docent woorden

gebruikt die de leerling niet kan plaatsen (Greca, 2000; Harrison, 1998). Het gebruik van de juiste analogiën om moeilijke en abstracte informatie over te brengen (wat bij scheikunde onderwijs vaak gebeurt) is erg belangrijk (Dagher, 2006a; Dagher, 2006b) en hangt erg af van het ervaringsniveau van de docent (van Driel, 1998). Overigens is een alternatief raamwerk of alternatieve conceptie, niet hetzelfde als een misconceptie (Gilbert, 1983), omdat een alternatieve conceptie wel geschikt kan zijn om verschijnselen te verklaren.

De twee bovengenoemde modellen, theorie en p-prims, vereisen verschillende lesmethoden. Als leerlingen uitgaan van een theorie, is het verstandig de leerlingen te helpen deze theorieën te identificeren, en ze vervolgens te confronteren met de huidige wetenschappelijke theorie. De nadruk ligt op conceptual change. Als leerlingen p-prims gebruiken, is het verstandig leerlingen te helpen hun ideeën onderling te verbinden, en zinvolle p-prims voorkeur te geven boven minder zinvolle p-prims. In beide gevallen is het zinvol om een link te leggen tussen de wetenschappelijke wereld en de leefwereld van de leerlingen en wordt het werken met contexten aangeraden (Nakleh, 2001).

Van Driel (1998) en Chinn (2002) geven een lesstrategie om conceptual change te bevorderen. Leerlingen moeten ervan overtuigd worden dat hun eerdere concepties niet meer voldoen, door het doen van experimenten die niet verklaard kunnen worden met behulp van hun 'oude' concepties. Het blijkt dat leerlingen weliswaar moeite hebben met het observeren van experimenten met afwijkende resultaten, maar als deze resultaten aanvaardbaar en eenduidig zijn, en de leerlingen gemotiveerd zijn, zullen zij hun concepties aanpassen (Chinn, 2002). Hewson stelt dat leerlingen hun ideeën pas aanpassen wanneer zij in staat zijn om toe te zien op de wetenschappelijke inhoud van hun concepties en daarover kunnen discussiëren (Hewson, 1989).

2.2.3 Module Nobelprijs en modelvorming

Zoals hierboven gesteld, zijn modellen essentieel voor het verkrijgen van scientific literacy, en om bekend te worden met de processen en concepten waarmee de wetenschap onze wereld verklaart. In het (middelbaar) beta-onderwijs zou daarom aandacht besteed moeten worden aan modellen en modelvorming. In het huidige curriculum van Nieuwe Scheikunde is de module Nobelprijs, voor zover bekend, de enige module die expliciet aandacht besteedt aan de ontwikkeling van wetenschappelijke modellen.

De herontworpen module Nobelprijs behandelt een reeks van atoommodellen, en plaatst die in historisch perspectief (zie Erduran, 1999; Niaz, 2005; van Toor, 2008). De module gebruikt de lesstrategie van van Driel en Chinn. De leerlingen maken zelf een chronologisch overzicht van de modellen en besteden aandacht aan de verschillen tussen de modellen, en aan de experimenten die werden gedaan en die leidden tot een aanpassing van het oude model.

Met behulp van opdrachten in de tekst (deel 2) worden leerlingen getriggerd na te denken waarom de experimenten niet verklaard kunnen worden met het oude model (waar het model vastloopt) en wat dat betekent voor een nieuw model. De leerlingen worden geleid langs de modellen en er wordt een integraal overzicht bereikt van de modellen, wat leidt van het enkel *kennen* van de modellen tot een meer weloverwogen *gebruik* van modellen (Grosslights niveau I naar II, Justi's doelen 1 en 2). Doel is om een aantal goede conceptuele modellen te presenteren en aan te leren, en de opbouw van p-prims (losstaande ideeën) te voorkomen. Door zelf na te denken over de modellen in plaats van deze voorgeschoteld te krijgen, is de verwachting dat leerlingen beter begrip krijgen van de modellen en de ontwikkeling hierin. Het onderzoek is er overigens niet op gericht om een uitspraak te doen over hoe de leerlingen hun eigen modellen vormen, door theorie of p-prims.

Het inhoudelijke doel van de module is dat leerlingen uiteindelijk het atoommodel van Rutherford/Bohr kunnen toepassen in eindexamenvragen. Leerlingen leren om dat model te gebruiken dat voor hun doel het meest geschikt is, bijvoorbeeld Rutherford om de opbouw van de atoomkern te beschrijven, Bohr om de elektronenstructuur op te schrijven (appropriateness van Gilbert, 1998a).

2.3 Samenwerkend leren

Bij de invoering van Nieuwe Scheikunde is niet alleen de lesmethode veranderd naar context-concept onderwijs, ook de onderwijsstijl veranderde van docentgestuurd onderwijs, naar constructivistisch meer leerlinggericht onderwijs. Constructivistisch onderwijs moet de leerling aanzetten om de principes zelf te ontdekken. Het blijkt dat als de docent meer leerlinggericht onderwijs geeft, de leerling meer begrip krijgt van de lesstof, en daardoor betekenisvol leert, zogenaamd 'deep learning'. Docentgericht onderwijs daarentegen, werkt 'surface learning' in de hand, waardoor leerlingen feiten alleen in hun geheugen opslaan, zonder begrip van de onderlinge dwarsverbanden (Campbell, 2001). Voor betekenisvol leren zijn drie factoren van belang: activiteit (oefenen), concept (kennis) en cultuur (context) (Ertmer, 1993). Deze factoren zien we terug in de Nieuwe Scheikunde.

In de modules van Nieuwe Scheikunde worden leerlingen in groepen aan het werk gezet, en vaak is sprake van samenwerkend leren. Overigens wordt deze vorm vaak toegepast op de basisschool, maar zeer beperkt in het middelbaar onderwijs. De module Nobelprijs maakt sterk gebruik van samenwerkend leren.

Samenwerkend leren heeft als kenmerk dat de leerlingen elkaar nodig hebben om een goed resultaat te behalen, de zogenaamde wederzijdse afhankelijkheid (social interdependence) (Ebbens, 2005; Gillies, 2008). Deze afhankelijkheid kan overigens positief zijn waarbij samenwerking leidt tot beter resultaat, of negatief waarbij leerlingen hun doel alleen bereiken als hun mede-leerlingen hun doel niet bereiken (competitie). Als er geen afhankelijkheid is, maakt het niet uit of er wordt samengewerkt of niet om het doel te bereiken.

Samenwerkend leren steunt op vijf sleutelbegrippen voor een succesvolle en effectieve samenwerking:

- Positieve wederzijdse afhankelijkheid: leerlingen hebben elkaar nodig om de taak met goed resultaat uit te voeren. Dit kan gestimuleerd worden vanuit het einddoel, de structuur, de taakverdeling of het beschikbare materiaal.
- Individuele verantwoordelijkheid: elk groepslid is verantwoordelijk voor eigen inbreng in de groep én voor totale resultaat. Meeliften moet voorkomen worden.
- Directe interactie: leerlingen moeten interactie kunnen hebben (verbaal, fysiek). Zowel inhoud als groeperingsvorm nodigen uit tot samenwerking.
- Sociale vaardigheden worden expliciet aangeleerd en geëvalueerd. Elkaar kennen en vertrouwen, helder communiceren.
- Aandacht voor het groepsproces: regelmatig bespreken welke activiteiten van de verschillende groepsleden bijdroegen aan groepsopdrachten, wat de uitkomsten betekenen voor verdere samenwerking.

Als een docent samenwerkend leren gaat toepassen in de klas, zijn er nogal wat aspecten waaraan aandacht besteed moet worden. Hierbij kan gedacht worden aan de organisatie in de klas (o.a. groepsindeling); samenwerkingsstructuren; sociale vaardigheden van de leerlingen; mate van begeleiding; beoordeling (groep of individueel). Bij samenwerken wordt vaak een *logboek* gebruikt waarin leerlingen opschrijven wie welke activiteit uitvoert.

Samenwerkend leren geeft flexibiliteit om de opdrachten aan te passen aan het niveau van specifieke leerlingen. Ook blijkt het een positieve invloed te hebben op de 'thinking skills' van leerlingen (Acar,

2008; Miri, 2007; Slavin 1996). Veel overleg en discussie binnen de groepjes (zogenaamde peer groups) blijkt tot gevolg te hebben dat leerlingen die eerst de stof niet begrepen zich optrekken aan het niveau van hen die de stof al wel begrepen.

2.4 Doel van het onderzoek, onderzoeksvragen en onderzoeksstrategie

De module Nobelprijs wordt bij OSG Erasmus gebruikt in 4 havo en 4 vwo, in beide gevallen aan het eind van het cursusjaar. De modules zijn in het cursusjaar 2007/2008 voor het eerst gedraaid. Tot nu toe waren twee versies in gebruik, één sterk aangepaste voor het vwo, en een versie voor havo die dichter bij het origineel ligt. Het huidige onderzoek was gericht op een verbeterde module Nobelprijs voor OSG Erasmus, gedifferentieerd naar 4 havo en 4 vwo. Binnen het onderzoek werd de module uitgevoerd bij zowel havo als vwo, en geëvalueerd. Deze paragraaf beschrijft het doel van het onderzoek, de onderzoeks(deel-)vragen en de toegepaste onderzoeksstrategie.

2.4.1 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is *herontwerpen* van de bestaande versie van de module Nobelprijs zodanig dat de doelstellingen van de module (zie tabel 2.2 op volgende pagina) beter worden gehaald, gevolgd door de *implementatie en evaluatie* van de module. Bij de doelstellingen ligt de nadruk op het inzicht dat leerlingen krijgen in de ontwikkeling van het atoommodel (dat als voorbeeld dient van de ontwikkeling van wetenschappelijke modellen in het algemeen). Bij de implementatie en evaluatie van de module zijn ook de ervaringen van de docenten en leerlingen met de module van belang. Nadruk ligt op de werkbaarheid van de module, bijvoorbeeld of de module duidelijke informatie geeft, duidelijke vragen stelt, en of de leerdoelen duidelijk zijn.

Binnen het onderzoek zal een tweetal activiteiten plaatsvinden:

- a) Herontwerp van de module Nobelprijs zoals die door OSG Erasmus werd gebruikt. De module wordt herontworpen om de doelstellingen van de module met betrekking tot inzicht in modelontwikkeling beter te kunnen halen. Hierbij wordt de module gedifferentieerd naar een havo- en een vwo-versie.
- b) Onderzoek naar de effectiviteit van de module wat betreft de inhoudelijke doelstellingen van de module, kennis van ontwikkelingsstadia van het atoommodel, verandering van niveau van modelvorming, kennis van atoommodellen, gebruik van atoommodellen van Rutherford en Bohr, samenwerken, presenteren, oordelen.

Doelstellingen van de module Nobelprijs

Tabel 2.2 (volgende pagina) bevat de doelstellingen van de module Nobelprijs in een matrix van competentievelden (naar: Ontwerp Leerlijn Nieuwe Scheikunde).

De vakmethoden en vakkennis worden grotendeels aangeleerd vanuit de module, vakmethoden vanuit deel 1 (opzoeken modellen, maken poster en presentatie), de vakkennis vanuit deel 2 (de concepten). Communiceren komt vooral voor in deel 1 van de module, namelijk het maken van de poster, het houden van de presentatie, het beoordelen van elkaars presentatie (zie bijlage 5 voor het presentatiescoreformulier), en het beargumenteren van de winnaar van de Nobelprijs. Het logboek wordt in beide delen bijgehouden. Reflecteren en oordelen komt met name voor bij de presentaties.

Tabel 2.2: Doelstellingen van de module Nobelprijs.

Competentie-ontwikkeling	Startniveau	Eindniveau
<i>Vakmethoden voor kennisontwikkeling</i>	Leerling moet tekst kunnen interpreteren en zinvolle informatie eruit kunnen halen.	Inzicht in modelvorming (Niveau Grosslight) Niveau II/III vakmethode (zelf een standaard onderzoeksmethode of model selecteren en toepassen bij eenvoudige probleemstellingen (II) of complexe, nieuwe probleemstellingen, III)
<i>Communiceren</i>	logboek bijhouden eenvoudig verslag schrijven	logboek bijhouden presentatie voor de klas argumenteren beperking van model en bijdrage wetenschapper verbeterd model
<i>Vakkennis en vakinzicht</i>	Zeer beperkte kennis van atoombouw vanuit klas 3 (protonen, elektronen).	Kennis atoommodellen (havo Rutherford, vwo Bohr) Opbouw atoom: atoomnummer, massagetal, electrovalenties, covalenties, (havo vanuit Periodiek systeem, vwo vanuit atoommodel Bohr) Havo: radioactiviteit Vwo: zelfstandig elektronenformules opstellen
<i>Reflecteren en oordelen</i>		Beoordelen wat bijdrage wetenschapper aan atoommodel is, argumenteren wie Nobelprijs krijgt. Reflecteren op sterke en zwakke punten van de module

Differentiatie havo/vwo

Havo en vwo leerlingen verschillen (van Dijken, 2009 a en 2009b). Een typische havist is concreet en pragmatisch, stelt vaak vragen ter begripsverheldering, kan na oefening zelfstandig problemen oplossen. Een typische vwo-er kan ook bij abstracte teksten hoofd-en bijzaken onderscheiden, behoudt overzicht ook bij grote opdrachten, heeft een groot probleemoplossend vermogen. Voor de module betekent dit dat bij de havo-module meer sturing nodig is dan bij de vwo-module. Er zal gedifferentieerd worden in het niveau van de vragen over experimenten die een model wel dan niet kan verklaren, en in de overige opgaven in de module.

Havo: van 4 havo leerlingen wordt verwacht dat zij het atoommodel van Rutherford kunnen begrijpen en toepassen (atoomkern met op grote afstand elektronenwolk). Electrovalentie en covalentie worden benaderd vanuit het periodiek systeem met kolommen met gelijke valenties. Havo besteedt veel aandacht aan radioactiviteit. Havo leerlingen moeten de modellen kunnen toepassen. In de module wordt extra informatie (URL's) toegevoegd waardoor de leerlingen gerichter kunnen zoeken. In de klas wordt havo meer begeleid in het doorwerken van de module, en krijgen havo-leerlingen één les meer de tijd voor deel 1 van de module dan vwo-ers.

Vwo: vwo leerlingen moeten het model van Bohr kennen (elektronen in schillen die op een vastgelegde manier worden gevuld), Schrödinger wordt als verdieping aangeboden. Elektrovalentie en covalentie worden bij vwo benaderd vanuit het atoommodel van Bohr (octetregel). Vwo-leerlingen zouden ook stapsgewijs de modellen moeten kunnen ontwikkelen (met de juiste begeleiding). Vwo-leerlingen hoeven minder te worden gestuurd in de URL's waar zij informatie kunnen verkrijgen, ook engelstalige internetsites zijn mogelijk.

2.4.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag is de volgende: voldoen de herontworpen modules Nobelprijs voor havo en vwo aan de doelstellingen van verhoging van inzicht in modelvorming, samenwerking en behaald kennisniveau, en hoe wordt de module ervaren door docenten en leerlingen?

De onderzoeksvraag wordt opgesplitst in 4 deelvragen gebaseerd op de competentievelden zoals beschreven in tabel 2.2.

1. Hoe verandert het inzicht van leerlingen over modelvorming door het werken met de module? (Vakmethoden). Nadruk ligt op de mate van verandering, en minder op het mechanisme van verandering. Uitgangspunt zijn de niveaus I– III van Grosslight (zie paragraaf 2.2.1). Of leerlingen hun eigen modellen vormen vanuit onderliggende theoriën of door p-prims (paragraaf 2.2.2) wordt niet onderzocht.
2. Hoe hebben de leerlingen samengewerkt en hoe hebben zij dit ervaren? (Communiceren)
3. a. Halen de leerlingen het beoogde kennisniveau van atoommodellen (havo: Rutherford, vwo: Bohr) en bijbehorende wetenschappers? (Vakkennis en vakinzicht)
b. Zijn de leerlingen na afloop van de module in staat te werken met begrippen als atoomnummer, massagetal, elektrovalentie en covalentie, radioactiviteit? (Vakkennis en vakinzicht)
4. Hoe hebben de leerlingen en docenten de module ervaren? Wat zijn sterke en zwakke kanten van de module na herontwerp? (Reflecteren)

2.4.3 Onderzoeksstrategie

Het onderzoek valt uiteen in drie delen: (1) het herontwerp van de modules, (2) de implementatie en (3) evaluatie van de module. In termen van viervlakschemie worden aanpassingen in de module gepland in de volgende fasen: nieuwsgierigheidsfase (indeling wetenschappers naar tijdvak/modeltype), verwerkingsfase (opdrachten in de tekst over waarom aanpassingen aan bestaande model), verdiepingsfase (differentiatie naar havo/vwo).

Herontwerp

Originele modules

De tot dan toe op OSG Erasmus gebruikte module Nobelprijs voor havo bestond uit een leerlingtekst (deel 1, aangepast door OSG Erasmus), met een opdrachtschrijving voor de poster + presentatie over één wetenschapper per groep, een lesplanning, een korte beschrijving van de opbouw van het atoom (massagetal, atoomnummer) en een vijftal opgaven over atoombouw, isotopen en radioactiviteit. De wetenschappers waaruit de leerlingen konden kiezen waren Empedocles, Dalton, Becquerel, Thomson, Rutherford, Chadwick en Bohr. Als verdiepend deel 2 werd een bijlage gebruikt met achtergrondinformatie over de wetenschappers (tijdvak, levensloop, bijdrage) en hun experimenten. De bijlage van 13 pagina's, origineel, was weinig gestructureerd.

Vwo gebruikte een 1^e deel leerlingtekst met poster/presentatieopdracht dat een stuk over Henry Moseley dat in de havo-versie ontbrak. Het tweede deel van de vwo-leerlingtekst is een sterk aangepast stuk door OSG Erasmus dat verschillende atoommodellen behandelt (gebaseerd op de bijlage zoals die door havo wordt gebruikt). Achtereenvolgens komen Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Chadwick en Schrödinger afzonderlijk voor het voetlicht. De tekst gaat in op elektrovalentie en covalentie en bevat 9 opgaven over atoombouw en elektronenverdeling, en 3 eindexamenopgaven. Deze leerlingtekst 2^e deel tekst diende als uitgangspunt voor het herontwerp van zowel de havo-als vwo module.

Herontwerp

De volgende aanpassingen aan de module zijn uitgevoerd:

- **Indeling.** Ontwikkeling van modellen indelen niet naar wetenschapper maar naar tijdvak/modeltype. Het doel is om een indeling te krijgen op basis van (gemeenschappelijke) modellen in plaats van op wetenschapper. Naar verwachting wordt door deze structurering de ontwikkeling van de modellen inzichtelijker.
 1. Democritus/Dalton. Empedocles wordt vervangen door Democritus. Empedocles dacht na over de opbouw van materie en stelde dat deze was opgebouwd uit de elementen water/vuur/ aarde/lucht. Democritus poneerde het atoom als ondeelbaar deeltje en kleinste eenheid enkele tientallen jaren na Empedocles. Dalton introduceerde het eerste atoommodel, zij het vele eeuwen later. Omdat beide laatste het atoom als kleinste, *ondeelbare*, eenheid nemen, worden beide wetenschappers gecombineerd.
 2. Thomson ontdekte negatief geladen elektronen en postuleerde het krentenbolmodel: een atoom bestaat uit negatief geladen deeltjes (elektronen) en, omdat het elektrisch neutraal is, ook uit positief geladen deeltjes (die toen nog niet ontdekt en benoemd waren). Negatieve en positieve deeltjes zijn egaal verdeeld over atoom.
 3. Rutherford/Chadwick. Rutherford ontdekte het positieve proton en postuleerde een kleine, zware, positieve kern waaromheen op zeer grote afstand elektronen in een wolk rondvliegen. Chadwick ontdekte 20 jaar later het neutrale neutron waardoor de opbouw van de kern bekend was. Introductie van begrippen als atoomnummer, massagetal en isotopen. Het herontwerp combineert de modellen van Rutherford (protonen en elektronen) met dat van Chadwick (neutronen) tot een geïntegreerd model dat de gehele atoomkern beschrijft.
 4. Bohr. Elektronen vliegen niet in een wolk rond de kern, maar bewegen in cirkelvormige schillen op specifieke afstanden vanaf de kern. (leidt tot de octetregel).
 5. Schrödinger (alleen vwo): Elektronen bewegen niet in cirkelvormige schillen maar in waarschijnlijkheidsgebieden (orbitalen). Introductie K, L, M, N schil en s, p, d, f orbitalen, elektronenconfiguratie.
- *Extra opdrachten in de tekst: Wanneer aanpassing model? Wat wordt goed verklaard en waar loopt model vast?*

Een model voldoet als het vragen kan beantwoorden en/of experimenten kan verklaren. Als een model een experiment niet meer kan verklaren, wordt het model aangepast. In de module werden opdrachten opgenomen die leerlingen aanzetten tot nadenken over welke feiten en experimenten verklaard kunnen worden met het model dat ze bestuderen, en waar en waarom het model niet meer voldoet. Deze opzet bevordert volgens de literatuur 'conceptual change' (paragraaf 2.2.2). In de resultatensectie wordt een overzicht gegeven van de opdrachten.
- *Eindniveau havo/vwo*

De modules voor havo en vwo hebben de zelfde basis en bestaan uit een 1e deel (presentatie/poster opdracht), en een inhoudelijk 2e deel.

1e deel: Keuze van een wetenschapper of een duo, maken van een poster en presentatie/pleidooi. Keuze uit Democritus/Dalton, Thomson, Rutherford/Chadwick, Bohr en Schrödinger (dus combinaties van wetenschappers, Democritus in plaats van Empedocles, en Bequerel vervalt). Bij havo wordt Schrödinger niet gekozen. Zowel havo-als vwo-deel bevat zoekinformatie. De havo-versie heeft optioneel een lied/dans/rap. Vwo doet verplicht een verdieping over Henry Moseley.

2e deel:

De diepgang tussen havo en vwo verschilt. Havo behandelt modellen tot en met Bohr, elektrovalentie vanuit het Periodiek systeem en radioactiviteit. De havo-versie bevat minder opdrachten en opgaven, die ook minder diepgaand zijn dan voor vwo.

Vwo behandelt extra het atoommodel van Schrödinger, elektrovalentie vanuit het schillenmodel van Bohr en elektronenformules. Vwo kan deze achtergrond gebruiken voor de latere lessen over zouten en het donor-acceptormodel. Radioactiviteit komt alleen aan de orde bij de oefen-eindexamenopgaven.

Implementatie van de module

De module wordt in 8 lessen gegeven en is gebaseerd op samenwerkend leren. De leerlingen worden ingedeeld in groepjes, dus het groepsproces, en de bijdrage van elke leerling aan het eindresultaat en groepsproces moeten worden bijgehouden. Vragen die leven bij leerlingen kunnen worden ingevuld in een logboek. De afsluiting van deel 1 van de module is de uitreiking van de Nobelprijs (presentatie, discussie). Toetsing van de inhoudelijke kennis van de lesstof uit deel 2 vindt plaats in het kwartielproefwerk.

Evaluatie van de module

De onderzoeksvraag wordt beantwoord door gebruik van vragenlijsten vooraf aan en na afloop van de module, een logboek, en interviews met de betrokken docenten. De gegevens zullen worden gerelateerd aan het NG/NT profiel van de leerlingen, naar havo/vwo, en er zal vergeleken worden tussen vragenlijst 1 en 2 van individuele leerlingen. Hoofdstuk 3 gaat dieper in op de gebruikte methode en instrumenten.

3 Gebruikte onderzoeksmethode en instrumenten

3.1 Onderzoeksmethode: koppeling deelvragen aan instrumenten

De onderzoeksvraag wordt opgesplitst in 4 deelvragen gebaseerd op de competentievelden. Onderstaande tabel 3.1 koppelt de gebruikte instrumenten aan de deelvragen.

1. Hoe verandert het inzicht van leerlingen over modelvorming door het werken met de module? (Vakmethoden). Nadruk ligt op de mate van verandering, en minder op het mechanisme van verandering. Uitgangspunt zijn de niveaus I– III van Grosslight (zie paragraaf 2.2.1). Of leerlingen hun eigen modellen vormen vanuit onderliggende theoriën of door p-prims (paragraaf 2.2.2) wordt niet onderzocht.
2. Hoe hebben de leerlingen samengewerkt en hoe hebben zij dit ervaren? (Communiceren)
3. a. Halen de leerlingen het beoogde kennisniveau van atoommodellen (havo: Rutherford, vwo: Bohr) en bijbehorende wetenschappers? (Vakkennis en vakinzicht)
b. Zijn de leerlingen na afloop van de module in staat te werken met begrippen als atoomnummer, massagetal, elektrovalentie en covalentie, radioactiviteit? (Vakkennis en vakinzicht)
4. Hoe hebben de leerlingen en docenten de module ervaren? Wat zijn sterke en zwakke kanten van de module na herontwerp? (Reflecteren)

De deelvragen worden beantwoord door gebruik van de volgende instrumenten:

- *Vragenlijst vooraf*: Vragen naar het beeld dat leerlingen van modellen hebben. Ja/nee vragen en een open vraag over de aard van modellen (entiteit, gebruiksdoel), en stellingen met 5-punts Likertschaal (volledig mee eens tot volledig mee oneens) over of een model statisch en uniek is, en voorspellende waarde heeft. Vragen hebben betrekking op niveaus I-III van inzicht in modelvorming (Grosslight, 1991) en de functies van modellen (Justi, 2003).
- *Vragenlijst achteraf*: modelbeeld na module. Opzet zie vragenlijst 1.
- *Logboek* gebruik met aantekeningen over samenwerking, antwoorden op vragen uit module, en vragen aan de docent bij onduidelijkheden
- *Lesobservatie* bij één havo-klas (cluster 5), en zelf lesgeven bij vwo-cluster 9.
- *Interview* met minimaal 1 docent en 3 willekeurig gekozen leerlingen naar hun ervaring met de module.

Tabel 3.1: Koppeling onderzoeks-deelvragen aan instrumenten

Deelvraag	Instrument				
	Vragenlijst vooraf	Vragenlijst achteraf	Logboek	Lesobservaties	Interview docent
1 – inzicht van modelvorming	x	x	x		
2 – samenwerking			x	x	x
3a – kennis modellen			(x)		
3b – kennis atoombouw			(x)		
4 – ervaring module			x	x	x

3.2 Gebruikte instrumenten en data-analyse

De onderzoeksvraag is: voldoen de herontworpen module Nobelprijs voor havo en vwo aan de doelstellingen van verhoging van inzicht in modelvorming, samenwerking en behaald kennisniveau, en hoe wordt de module ervaren door docenten en leerlingen?

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van triangulatie waarbij 4 verschillende methoden van data-verzamelen zijn toegepast: vragenlijsten (voorafgaand en na afloop van de module), logboek, lesobservaties en interviews. Door triangulatie kan de betrouwbaarheid worden vergroot van resultaten en de conclusies die worden getrokken op basis van de meetgegevens (Mathison, 1988; Meijer, 2002; Seale, 1999).

3.2.1 Deelnemers

Het onderzoek is uitgevoerd in alle scheikunde cluster-klassen 4 havo (3 stuks) en 4 vwo (2 stuks) van OSG Erasmus in Almelo in de periode april-juni 2009. Het merendeel van de leerlingen heeft een NG-profiel (Natuur & Gezondheid), een klein deel NT (Natuur & Techniek). Overigens heeft de auteur van dit verslag aan cluster 9 van 4 vwo lesgegeven.

Vanwege gebrek aan tijd hebben de twee 4 vwo klassen alleen deel 1 van de module gedaan vóór de zomervakantie, deel 2 doen ze aan het begin van 5V. Bij de 4 havo -klassen is de gehele module behandeld.

De herontworpen modules Nobelprijs deel 1 (leerlingentekst) en deel 2 (atoommodellen), voor havo en vwo staan in Bijlagen 1 t/m 4. Het scoreformulier waarmee leerlingen elkaars presentaties beoordeelden staat in Bijlage 5.

3.2.2 Instrumenten

Vragenlijst

Voor de start van de module, en na afloop van de module zijn vragenlijsten ingevuld door de leerlingen. De vragenlijsten zijn gebaseerd op het onderzoek van Justi (Justi, 2003) en bevatten 3 vragen:

- Vraag 1: 8 ja/nee vragen waarbij de leerling aangeeft of hij het gegeven een model vindt. Deze vraag gaat in op wat de aard van een model is, of een model een entiteit is, of dat dit een gebruiksdoel heeft.
- Vraag 2: open vraag waarbij de leerling in eigen woorden beschrijft wat hij vindt dat een model is.
- Vraag 3: Likert-type vraag (5-puntsschaal) met 7 stellingen waarbij de leerling aangeeft of hij het met de stelling geheel oneens/een beetje mee oneens/ niet mee eens of oneens/ beetje mee eens/ geheel mee eens is. Deze vraag gaat onder andere in op of een model statisch en uniek is, en voorspellende waarde heeft.

Vanwege de tijdsdruk zijn de vragenlijsten vóór de uitvoering van het onderzoek niet aan experts voorgelegd (peer review) of getest op leerlingen en aangepast. Na het afnemen van vragenlijst 1 bij de eerste havo-klas is een extra instap-vraag toegevoegd (over de speelgoedauto).

Vragenlijsten 1 (vóór aanvang module) en 2 (na afloop van module) staan in Bijlagen 6 en 7. Havo heeft vragenlijst 2 ingevuld na deel 2 van de module Nobelprijs (circa 4 weken na vragenlijst 1), cluster 9 van 4 vwo heeft deze ingevuld na alleen deel 1 van de module (1 week na vragenlijst 1). Er wordt bij deze opzet geen rekening gehouden met het feit dat leerlingen bij het invullen van vragenlijst 2, al voorkennis hebben van een aantal vragen vanuit vragenlijst 1.

Logboek

De leerlingen van 4 havo kregen een logboek (zie Bijlage 8) waarin zij konden aangeven wat zij gedaan hadden, moesten doen, hoe de samenwerking verliep en of er vragen waren naar aanleiding van de moduletekst deel 2. Omdat 4 vwo deel 2 van de module niet heeft gedaan in de onderzochte periode is het logboek niet ingevuld door 4 vwo.

Lesobservaties

De gehele module is gevolgd bij één havo-klas (cluster 5). Tijdens één les is de tijdsverdeling van de docent aan de verschillende groepjes gevolgd, verder is een algemeen beeld verkregen van hoe de leerlingen in de klas met elkaar omgaan en samenwerken. De auteur gaf les aan vwo-cluster 9 (module deel 1, 2 lessen), hier is ook een beeld verkregen van de samenwerking.

Interview

Er werd een semi-gestructureerd interview afgenomen bij drie docenten, namelijk 2 van havo en 1 van de vwo-klas (Elan, 2009). Er is geen interview geweest met leerlingen. De vragenlijst behorend bij het interview staat in bijlage 9.

Het interview was opgebouwd aan de hand van de onderzoeksdeelvragen:

- Vragen 1-4, onderzoeksdeelvraag 1: Hoe verandert het inzicht van leerlingen over modelvorming door het werken met de module en wat is de invloed van de structuur van de module? (vakmethoden).
- Vraag 5, onderzoeksdeelvraag 2: Hebben de leerlingen voldoende mogelijkheden tot samenwerking (communiceren, samenwerken)?
- Vragen 6-10, onderzoeksdeelvraag 3a en b: Vakkennis: Halen de leerlingen het beoogde kennisniveau van atoommodellen (havo: Rutherford, vwo: Bohr) en bijbehorende wetenschappers? Zijn de leerlingen na afloop van de module in staat te werken met begrippen als atoomnummer, massagetal, elektrovalentie en covalentie? (Vakkennis en vakinzicht)
- Vragen 11-15, onderzoeksdeelvraag 4: Hoe hebben de leerlingen en docenten de module ervaren? Wat zijn sterke en zwakke kanten van de module na herontwerp? (Reflecteren)

3.2.3 Data analyse

Vragenlijsten

Vragenlijsten 1 en 2 worden in de resultaten met elkaar vergeleken (zie hoofdstuk 4). De omwerking van vragenlijst 2 naar vragenlijst 1, om deze goed te kunnen vergelijken, staat beschreven in Bijlage 10. Wat betreft Vraag 1 bevatten vragenlijst 1 en 2 vrijwel dezelfde vragen, echter in een andere volgorde. Vraag 2 is in beide vragenlijsten gelijk. Voor vraag 3 zijn subvragen 2, 4, 5 en 6 uit vragenlijst 2 geïnverteerd, wat wil zeggen dat de vraag is omgezet van vaak naar nooit (vraag 2), wel naar niet (vraag 4), alle naar alleen in (vraag 5) en niet naar wel (vraag 6). Vervolgens is de Likertschaal van deze vragen omgekeerd van 'geheel mee oneens' wordt 'geheel mee eens', 'beetje mee oneens' wordt 'beetje eens' en vice versa.

De antwoorden van vraag 2 (open vraag) werden gecategoriseerd naar de indeling van Justi (Justi, 2003). De volgende categoriën werden gebruikt, met voorbeelden uit de vragenlijsten tussen haakjes:

- a) vrouw ('model op de catwalk')
- b) schaalfiguur ('een ruimtelijk iets, 3D, ontwerp, tekening')
- c) voorbeeld ('voorbeeld, hoe iets in elkaar zit, voorstelling, beeld van iets')
- d) gebeurtenis/proces ('beschrijft hoe iets gebeurt, gebeurtenis')
- e) verduidelijking ('om iets te verduidelijken, uit te leggen, te laten begrijpen')

- f) (representatie van) de werkelijkheid ('om werkelijkheid uit te beelden')
- g) voorspelling
- h) blanco: niets ingevuld

Antwoorden in categorieën 1, 2, 3 en 4 vallen in niveau I van Grosslight, antwoorden 5 en 6 in niveau II en antwoord 7 in niveau III. Om niveauverandering te kunnen beoordelen zijn de resultaten geclusterd naar niveau, en is er een T-toets gebruikt (Open Office Calc, gepaarde 2-zijdige T-toets).

De vragenlijsten zijn onderling vergeleken naar:

- profiel NT, NG en alle leerlingen per leerjaar (NG+NT)
- havo en vwo voor alle leerlingen (NG+NT)
- individuele leerling (lijsten van dezelfde persoon voor en na de module), met name bij vragen 2 en 3

Logboek/lesobservatie/interview

De resultaten uit de logboeken zijn vergeleken met de lesobservaties, en de interviews met docenten. Er zijn door praktische omstandigheden geen interviews met leerlingen geweest.

4 Resultaten

Allereerst wordt het herontwerp van de module besproken. De resultaten van het onderzoek naar de effectiviteit van de module worden uitgesplitst naar gebruikt instrument. Eerst worden de resultaten van de vragenlijsten besproken, vervolgens het logboek/lesobservaties en tenslotte de interviews. Uit de vragenlijsten wordt vooral informatie verkregen over het verkregen inzicht in modellen en modelvorming (vakmethoden), en de opgedane vakkennis (vakkennis en vakinzicht). Het logboek en de interviews geven informatie over hoe leerlingen en met name docenten de module ervaren hebben (communiceren en reflecteren).

4.1 Herontwerp

Voor het onderzoek werd de module Nobelprijs gedifferentieerd naar een havo- en een vwo-versie. De bestaande module voor vwo werd als uitgangspunt genomen voor het herontwerp van de module.

De aangepaste modules Nobelprijs deel 1 (leerlingentekst) en deel 2 (atoommodellen), voor havo en vwo staan in Bijlagen 1 t/m 4. Het scoreformulier waarmee leerlingen elkaars presentaties beoordeelden staat in Bijlage 5. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de behandelde stof in leerlingentekst deel 1 en 2 van de havo-en vwo-module.

De grootste aanpassingen ten opzichte van de uitgangsversie waren op het gebied van:

- *indeling van atoommodellen*: indeling niet naar individuele wetenschappers, maar op basis van (gemeenschappelijke) modellen. Door de nadruk te leggen op de modellen is het geheel overzichtelijker en naar verwachting wordt de ontwikkeling van de modellen duidelijker. Democritus/Dalton op basis van hun ondeelbare atoom (in plaats van afzonderlijk Empedocles en Dalton). Thomson als ontdekker van het elektron, Rutherford/Chadwick die de gehele atoomkern beschreven (met protonen, neutronen en elektronen in een wolk) in plaats van afzonderlijk, Bohr (elektronen in schillen) en Schrödinger (orbitalen, elektronenconfiguratie).
- *extra opdrachten in de tekst: Welke experimenten en vragen worden goed verklaard door het model en waar loopt model vast?* In de module werden opdrachten opgenomen die leerlingen aanzetten tot nadenken over welke feiten en experimenten wel verklaard kunnen worden met het model dat ze bestuderen, en waar en waarom het model niet meer voldoet. Een voorbeeld is opdracht 2, 'kan Dalton kathodestraling verklaren'? Dalton gaat uit van ondeelbare deeltjes. Kathodestraling bleek te bestaan uit negatief geladen deeltjes, die bij sterke verhitting uit atomen komen. Dalton kan dit niet verklaren, wat Thomson noodzaakte een nieuw model op te stellen waarin wel negatief geladen deeltjes (elektronen) voorkomen. Opdracht 4 vraagt waarom de resultaten uit het experiment van Rutherford onverwacht zijn als je uitgaat van het model van Thomson. Leerlingen moeten hierbij de modellen van Thomson en Rutherford met elkaar vergelijken. Opdracht 9 uit de vwo-versie is een voorbeeld van verdieping waarbij de bestaande kennis (atoommodel Schrödinger) wordt toegepast in een nieuwe context (atoombinding).
In de tekst zijn zowel opdrachten opgenomen die direct met ontwikkeling van de modellen te maken hebben, maar ook over de toepassing van de modellen.
- *eindniveau havo/vwo*
Er is verschil in diepgang tussen havo en vwo. De vwo-module kent meer opgaven (die voor een deel ook ook meer diepgang hebben) en meer opdrachten.

Tabel 4.1: Overzicht van vragen, opdrachten en opgaven in het 2e deel leerlingentekst van de module Nobelprijs, uitgesplitst naar havo en vwo.

Havo	Vwo
1e deel	
Poster/presentatie Opdrachten periodiek systeem Dans/liedje/rap	Poster/presentatie Opdrachten periodiek systeem Henry Moseley
2e deel	
1 Democritus Dalton Opdracht 1: element, ontleedbare stof, reactievergelijking Opdracht 2: kan Dalton kathodestraling verklaren?	1 Democritus Dalton Opdracht 1: element, ontleedbare stof, reactievergelijking Opdracht 2: kan Dalton kathodestraling verklaren?
2 Thomson Opdracht 3: opbouw krentenbolmodel	2 Thomson Opdracht 3: opbouw krentenbolmodel
3 Rutherford /Chadwick Opdracht 4: waarom resultaten experiment Rutherford onverwacht voor model Thomson ? Opdracht 5: animatie bekijken Opdracht 6: welke 3 conclusies trekt Rutherford uit experiment? Opgaven 1-3: atoombouw	3 Rutherford /Chadwick Opdracht 4: waarom resultaten experiment Rutherford onverwacht voor model Thomson ? Opdracht 5: animatie bekijken Opgaven 1-4: atoombouw
4 Bohr	4 Bohr
	5 Schrödinger Opdracht 6: waarin is Schrödinger verfijning van Bohr? Opgaven 5-6: elektronenverdeling van atomen en ionen
5 Elektrovalentie	6 Elektrovalentie
6 Covalentie Opdracht 7: vergelijk Thomson en Bohr om reactieverhouding te verklaren Opdracht 8: verschil elektrovalentie en covalentie Opgave 4: covalentie van atomen in verschillende ionen en moleculen	7 Covalentie Opdracht 7: gebruik Bohr om te verklaren dat sulfide ion -2 en covalentie 6 heeft Opdracht 8: vergelijk Thomson en Bohr om reactieverhouding te verklaren Opdracht 9: gebruik Schrödinger voor uitleg atoombinding Opgave 7: covalentie van atomen in verschillende ionen en moleculen
7 Radioactiviteit Opgaven 5-6: eindexamenopgaven	8 Elektronenformules Opgave 8: elektronenstructuur van moleculen en ionen Opgaven 9-11: eindexamenopgaven

4.2 Vragenlijsten

Onderstaande tabel 4.2 geeft aan bij hoeveel leerlingen de vragenlijsten zijn afgenomen en zinvol zijn ingevuld. Lijsten waarin sommige vragen niet zijn ingevuld, of (bewust) alle gelijk beantwoord zijn, werden niet meegenomen in het onderzoek. De codering 12/15 betekent: 12 leerlingen hebben vragenlijst 1 zinvol ingevuld, 15 leerlingen hebben vragenlijst 2 zinvol ingevuld. Vwo-Cluster 5 heeft geen eind vragenlijst ingevuld wegens tijdgebrek tijdens de laatste les van het schooljaar.

Vragenlijst 1 werd uitgereikt aan het begin van de eerste les over de module, nog voordat de tekst van de module was uitgedeeld. De resultaten staan getabelleerd in Bijlage 11. Na afloop van de module is bij 55 havo-leerlingen en 16 vwo-leerlingen vragenlijst 2 afgenomen. Deze resultaten staan getabelleerd in Bijlage 12. Een vergelijking tussen beide vragenlijsten is te vinden in Bijlagen 13 en 14.

Tabel 4.2: Overzicht aantal ingevulde vragenlijsten per cluster en profiel (start/eind).

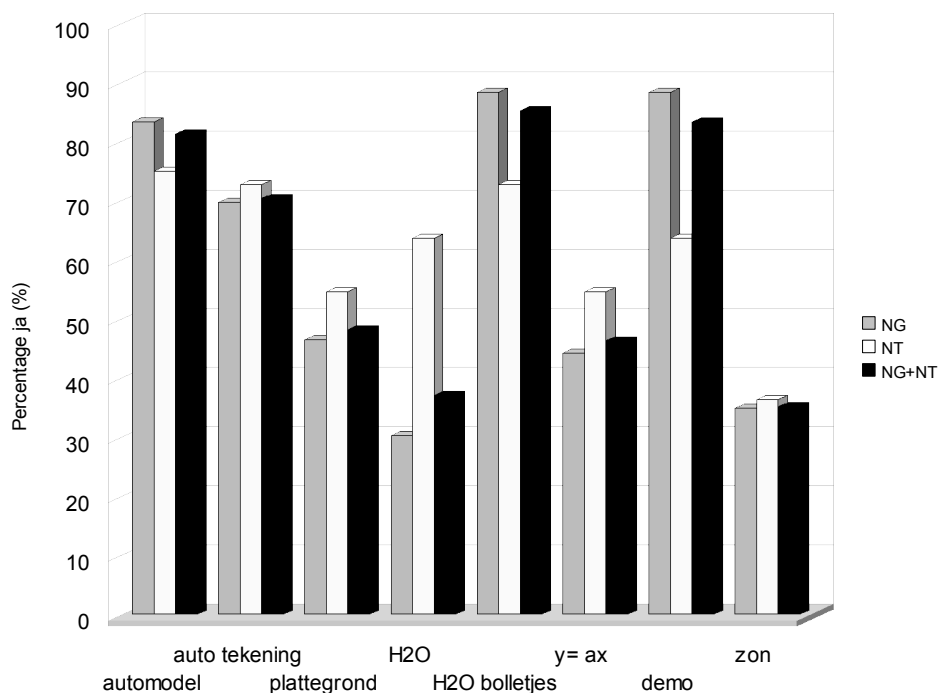
		NG	NT	NG+NT
Havo	Cluster 1	12/12	4/3	16/15
	Cluster 4	19/19	2/2	21/21
	Cluster 5	12/15	5/4	17/19
	Havo totaal	43/36	11/9	54/55
Vwo	Cluster 5	13/-	7/-	20/-
	Cluster 9	18/13	3/3	21/16
	Vwo totaal	31/13	10/3	41/16

4.2.1 Invloed van profiel (NG/NT) en cluster.

Vraag 1 stelt de vraag of leerlingen het gegeven een model vinden ja of nee. Figuur 4.1 geeft het percentage leerlingen havo dat deze vraag bij de start van de module met met ja beantwoordt, uitgesplitst naar profiel NG, NT en totaal NG+NT. Er is vrijwel geen verschil te zien tussen NG profiel en het gemiddelde van alle leerlingen (NG+NT), waarschijnlijk omdat het aantal leerlingen met NT-profiel verhoudingsgewijs klein is. NG en NT-antwoorden liggen in de meeste gevallen vrij dicht bij elkaar. Toch is bij twee vragen duidelijk verschil tussen NG en NT, bijvoorbeeld over de geschreven formule H_2O dat door de NT-ers vaker als model wordt gezien, en de demonstratie van de zonsverduistering met bollen die juist minder vaak als model wordt betiteld. Een t-toets op de hele serie antwoorden geeft aan dat de verschillen tussen de antwoorden niet significant zijn.

Bij vwo liggen NG en NG+NT ook zeer dicht bij elkaar. NT-leerlingen wijken bij vwo af bij de vragen over de beschrijving 'de zon staat in het middelpunt van ons zonnestelsel' (NT vindt dit vaker een model) en bij de geschreven formule H_2O (NT-ers vinden dit minder vaak een model). Dit laatste resultaat is bij havo precies andersom.

Het blijkt dat er ook na afloop van de module (vragenlijst 2) bij zowel havo als vwo weinig verschil is tussen NG en NT antwoorden. Bij havo springen de vragen over legomodel, plattegrond en atoom eruit, waar NT-ers minder vaak vinden dat dit een model is. Bij vwo zijn weinig leerlingen ondervraagd (16 waarvan 3 NT). De NT-resultaten wijken af van de NG+NT, maar dit kan zeer goed te maken hebben met de kleine aantallen.



Figuur 4.1: Vragenlijst 1, havo alle clusters, vraag 1: Invloed NG en NG+NT.

In Bijlage 11, de scores bij aanvang van de module, is te zien dat er per cluster verschillen in de beantwoording van de vragen zijn. Met name havo-cluster 5 wijkt af van het gemiddelde. Bij vwo is weinig verschil tussen de clusters (de vraag over de zon uitgezonderd).

Omdat er over de hele linie weinig verschil is tussen NG en NT leerlingen worden in het vervolg van de studie de resultaten van de leerlingen NG+NT bekeken. Ook worden de havo-clusters samengevoegd en de vwo-clusters gecombineerd en als totaal vergeleken.

4.2.2 Vragenlijsten 1 en 2 vergeleken: hoe is het modelinzicht van havo en vwo veranderd na afloop van de module ?

De antwoorden op de vragen worden gecategoriseerd naar niveau van modelvorming (Grosslight, 1991):

- Niveau I: modellen worden gezien als als een voorwerp, tekening, of als kopieën van de werkelijkheid.
- Niveau II: modellen zijn gemaakt met een bepaald doel voor ogen, met name gericht op de *relatie* tussen model en werkelijkheid (maar het het besef dat het model niet een kopie van de werkelijkheid is)
- Niveau III kent drie voorwaarden: (1) besef dat een model gecreëerd is om ideeën te testen, en niet als kopie van de werkelijkheid; (2) het besef dat de modelmaker een actieve rol heeft in het maken van het model voor een bepaald doel; (3) dat een model *dynamisch* is en verder aangepast en ontwikkeld kan worden op basis van testresultaten.

De antwoorden van vraag 2 (open vraag) werden naar niveau van modelvorming gecategoriseerd door gebruik te maken van de functie-indeling van Justi (Justi, 2003). Per niveau werden de volgende categorieën gebruikt, met voorbeelden uit de vragenlijsten tussen haakjes:

- Niveau I: vrouw ('model op de catwalk'), schaalfiguur ('een ruimtelijk iets, 3D, ontwerp, tekening'), voorbeeld ('voorbeeld, hoe iets in elkaar zit, voorstelling, beeld van iets'), gebeurtenis/proces ('beschrijft hoe iets gebeurt, gebeurtenis'),
- Niveau II: verduidelijking ('om iets te verduidelijken, uit te leggen, te laten begrijpen'), (representatie van) de werkelijkheid ('om werkelijkheid uit te beelden'),
- Niveau III: voorspelling (kwam niet voor in de antwoorden)

Vraag 1

Figuur 4.2 en Bijlage 13 geven weer hoe de beantwoording van vraag 1 verandert tussen de start (voor) en het einde van (na) de module. Bij havo (55 leerlingen) zat hier circa 4 weken en module deel 1 + 2 tussen, bij vwo (41 leerlingen bij lijst 1, 16 bij lijst 2) circa 1 week en alleen module deel 1.

Op basis van Figuur 4.2 kan voorzichtig gesteld worden dat vwo-leerlingen bij de start van de module iets vaker in niveau II van modelontwikkeling zitten dan havo-leerlingen, en minder vaak in niveau I (vergelijk de witte en donkergrijze kolommen 1 en 3 in Figuur 4.2). Havo-ers vinden vaker een automodel, auto-tekening en plattegrond een model, terwijl vwo-ers iets vaker de zon/atoom, en de demonstratie van de zonsverduistering een model vinden.

Na afloop van de module verandert dit beeld niet ingrijpend. Zowel havo-ers als vwo-ers vinden na afloop van de module minder vaak dat een automodel een model is, en vaker dat zon/atoom een model is. Echter, de demonstratie van de zonsverduistering (een verduidelijkend model) wordt zowel door havo als vwo na afloop van de module minder vaak als model gezien. Bij de tekening, H_2O/CO_2 (geschreven en bolletjes) veranderen havo-ers en vwo-ers tegengesteld van mening over wat een model is.

Er kan voorzichtig gesteld worden dat vwo-leerlingen vanaf de start van de module meer richting niveau II van modelontwikkeling gaan dan havo-leerlingen. Analyse met een t-toets geeft aan dat de verschillen na afloop van de module tussen havo en vwo zijn bij vraag 1 niet significant zijn. De conclusie is dat er geen verschuiving wordt waargenomen in inzicht van modelontwikkeling.

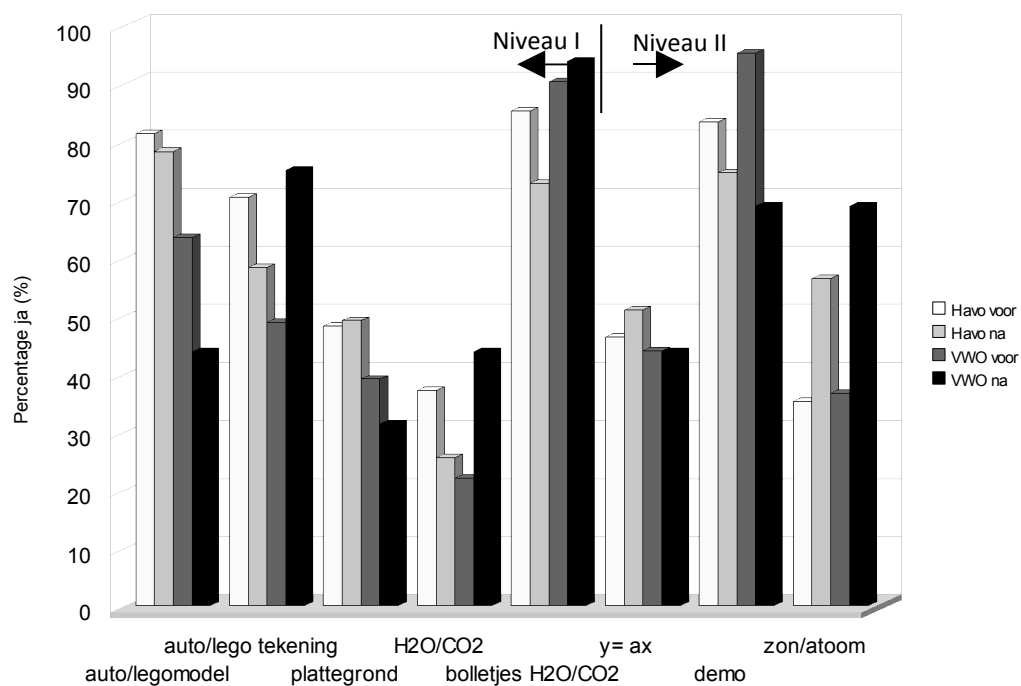
Vraag 2:

De tweede vraag van beide vragenlijsten was een open vraag waarin leerlingen zelf moesten aangeven wat zij onder een model verstonden. Uit figuur 4.3 en Bijlage 13 blijkt dat de tweede vragenlijst serieuzer werd ingevuld dan de eerste. Het aantal leerlingen (havo en vwo) dat als model een vrouw invult nam af. Het aantal blanco's bij vwo na de module is hoog, dit zal te maken hebben met het feit dat de vragenlijst werd afgenomen op het allerlaatste lesuur.

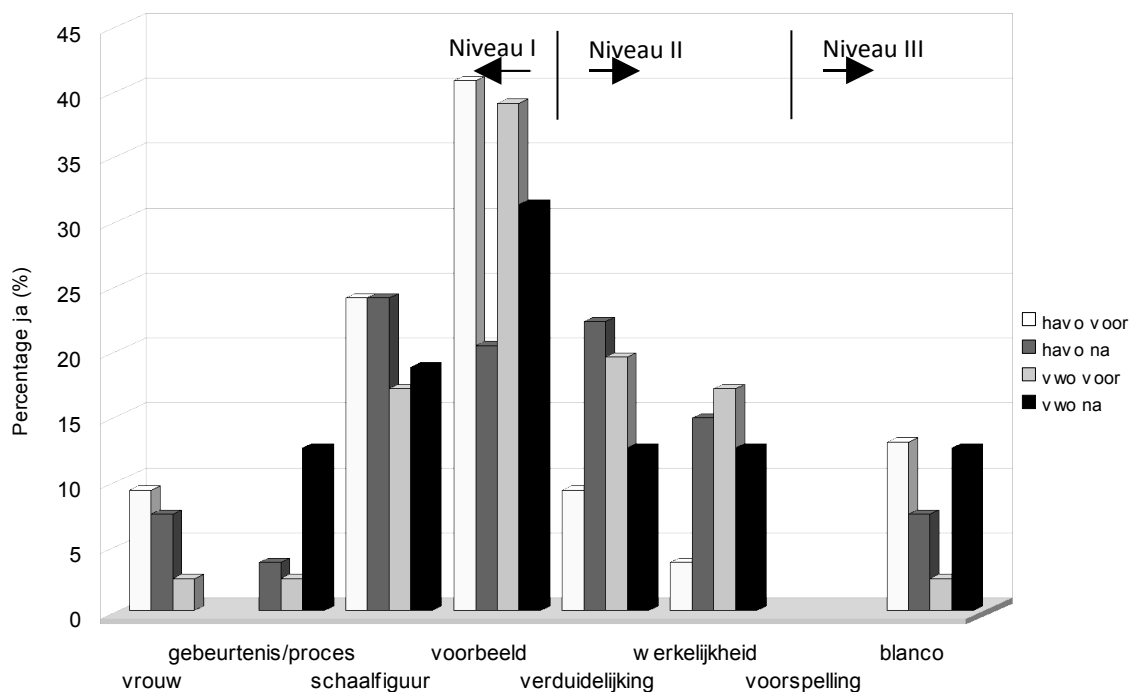
Bij aanvang van de module, vinden meer havo-ers dan vwo-ers een voorbeeld een model. Meer vwo-ers vinden een verduidelijking en een afspiegeling van de werkelijkheid een model. Dit wijst op meer vwo-ers in niveau II van modelontwikkeling, vergelijkbaar met de resultaten van vraag 1.

Na afloop van de module is er een afname in havo-ers die een voorbeeld een model vinden, en een toename in de verduidelijking of de representatie van de werkelijkheid als model. Bij de overige vragen is geen verschil te zien. Dit wijst op een zeer lichte verschuiving naar niveau II bij de havo-ers (een t-toets geeft echter aan dat de verschillen niet significant zijn).

Na de module geven bij vwo meer leerlingen aan een beschrijving van een gebeurtenis/proces en een voorbeeld een model te vinden. Ze lijken hierin iets terug te vallen naar niveau I. Mogelijk heeft dit te maken met het kleine aantal vwo-ers voor de tweede vragenlijst (16), en het feit dat deze leerlingen niet de gehele module hebben gedaan. Geen enkele leerling ziet een model als voorspellend (Niveau III).



Figuur 4.2: Vraag 1, vragenlijsten 1 (voor module) en 2 (na module).
Invloed van havo of vwo (NG+NT).



Figuur 4.3: Vraag 2, vragenlijsten 1 (voor module) en 2 (na module).
Invloed van havo of vwo (NG+NT).

Wanneer de scores van individuele havo-leerlingen bekeken worden is ook zichtbaar dat het merendeel van de leerlingen gelijk blijft in hun opvatting van wat een model is, en dat een aantal leerlingen licht in niveau stijgt (zie Bijlage 14, bij 9 van de 39 leerlingen is een stijging te zien). Bij vwo is vrijwel geen stijging te zien, wat logisch is omdat er slechts één week zat tussen lijsten 1 en 2.

In conclusie kan gezegd worden dat er een zeer kleine verschuiving plaatsvindt naar niveau II bij de havo-ers. Als het grote aantal blanco's bij vwo bij vragenlijst 2 in aanmerking wordt genomen is de uitslag van vraag 2 bij vwo voor en na de module vrijwel exact hetzelfde (geen verschuiving).

Vraag 3

De laatste vraag in de lijsten was een Likert-type vraag met 7 stellingen waarvan de leerlingen moesten aangeven in hoeverre zij het met de stelling eens/oneens waren (5-puntsschaal). De omwerking om lijst 2 goed te kunnen vergelijken met lijst 1 staat in Bijlage 10, de meetgegevens staan in bijlagen 11 en 12. Bijlage 13 geeft een overzicht van verschillen tussen de vragenlijsten bij havo en vwo. In de tabel is met gearceerde gebieden aangegeven waar een verandering optreedt van meer dan 15%, waarbij licht gearceerd de startwaarde en donkergearceerd de eindwaarde is.

Alle leerlingen (havo en vwo) zijn en blijven het ermee eens dat je met een model moeilijke verschijnselen kunt verduidelijken (is en blijft Niveau II). Na afloop van de module zijn havo- en vwo-leerlingen het er vaker mee oneens dat een model precies op de werkelijkheid lijkt. Ze zijn het er wel meer mee eens dat een model een versimpeling is van de werkelijkheid. Er treedt een verschuiving op van een model als *precies* de werkelijkheid, naar een *versimpeling van* de werkelijkheid (van niveau I naar II). Deze verschuiving is zowel duidelijk uit de collectieve gegevens als uit gegevens van de individuele leerlingen (circa 30% van de leerlingen maakt deze verschuiving door).

Leerlingen blijven het ermee oneens dat een wetenschapper een model nooit aanpast. Dit impliceert dat zij zich realiseren dat een model dynamisch is. Veel leerlingen vinden dat verschillende modellen best hetzelfde verschijnsel kunnen verklaren en zijn het ermee oneens dat modellen alleen in natuurwetenschappen voorkomen. Echter, na afloop van de module lijken modellen wel meer geassocieerd te worden met natuurwetenschap dan vóór de module. Tenslotte vinden ze modellen wel geschikt om de uitkomst van een experiment mee te voorspellen, al zijn vwo-ers het minder met deze stelling eens dan havo-ers. Overigens bleek uit open vraag 2 niet dat leerlingen een model als voorspellend zien (zie ook Figuur 4.3).

Nadere analyse van de gegevens laat zien dat er vrijwel geen verschil is in de beantwoording van NG en NT bij vraag 3. De hoogste score van deze vraag zit in 70% van de gevallen bij dezelfde Likert-schaal, en in vrijwel alle andere gevallen 1 schaal verschillend. Er is één uitzondering: vwo NT-ers vinden ook bij de start van de module al dat een model een versimpeling van de werkelijkheid is (en niet pas na afloop van de module).

Er blijken maar zeer kleine verschillen te zijn tussen de beantwoording van vraag 3 door havo en vwo. De verschuivingen zijn ook zeer vergelijkbaar. De meest opvallende verschuiving is die van een model als *precies* de werkelijkheid, naar een *versimpeling van* de werkelijkheid.

Op basis van vragen 1 en 2 lijkt er een lichte verschuiving op te treden van niveau I naar niveau II, maar het merendeel (70%) van de leerlingen blijft in niveau I (was 90%). Vraag 3 richt zich meer op het besef dat een model dynamisch en voorspellend is. Verrassend genoeg blijken veel leerlingen (rond 60%) een model voorspellend te vinden, vindt 80% dat een model moeilijke verschijnselen verduidelijkt, en vindt minimaal 50% dat een model aangepast kan worden. Dit wijst op een hoger niveau (ergens tussen II en III) dan uit vragen 1 en 2 blijkt.

4.3 Logboek en lesobservaties

Een beperkt aantal leerlingen van havo (2 clusters) heeft het logboek consequent ingevuld. De leerlingen noteerden keurig wat er gedaan had moeten zijn, en wat de planning voor de les was. De samenwerking verliep in alle gevallen goed. Er werd onderling afgesproken wie wat zou doen, en dat bleek de volgende les ook werkelijk te zijn uitgevoerd. Er werden geen onduidelijkheden in de module aangewezen, er waren wel vragen over de lesstof, bijvoorbeeld over wat precies een alfa-deeltje is, en over het rekenen met protonen en elektronen. Men had ook graag de antwoorden op de vragen erbij gehad (maar dit was bewust niet gedaan). In één geval werd de opgeschreven vraag in schrift beantwoord door een mede-leerling op het logboek (en dat was precies waar het voor bedoeld was). Bij vwo is geen logboek ingevuld, omdat er slechts twee lessen voor deel 1 waren (waarvan 1 presentatieles) en deel 2 niet is uitgevoerd.

De lesobservaties bevestigden dat de samenwerking tussen de leerlingen goed verliep. Er werden aan het begin van de les afspraken gemaakt over wie wat zou doen in de les. Aan het eind van de les werd tijd vrijgemaakt om af te spreken wie welk huiswerk zou maken. Leerlingen gingen ook zelfstandig aan het werk, zonder de docent te hoeven vragen wat de bedoeling is. Tijdens de les is geen discussie gehoord over de samenwerking.

Alle presentaties werden door de voltallige groepjes gedaan, ieder kwam aan het woord. Na afloop leefde bij de docenten wel de vraag of de presentaties nu het gevolg waren van echte samenwerking (ieder weet ook wat de ander heeft gedaan), of samenvoeging (ieder deed en kent alleen zijn eigen deel). Het was duidelijk dat dat leerlingen elkaar helpen en met elkaar discussiëren tijdens de les. Wat ook opviel is dat leerlingen sterke voorkeur hebben voor wie wel en niet bij hen in het groepje kan/mag. Het was duidelijk dat in de 4e klas alle leerlingen al ervaring hebben met samenwerking (de auteur heeft ook een project met samenwerking gedaan met tweede klassen, waarbij duidelijk was dat de leerlingen veel beperkter ervaring hadden met samenwerking- met name het afspraken maken en ieder in zijn waarde laten was minder ontwikkeld).

Het logboek geeft het beeld van goede samenwerking en weinig problemen met de module. Lesobservaties ondersteunen dit beeld.

4.4 Interview

Het interview was opgebouwd aan de hand van de onderzoeksdeelvragen, zie ook paragraaf 3.1. De resultaten zullen per onderzoeksdeelvraag worden besproken. Hele interviews staan in Bijlage 15.

Modelinzicht (vragen 1-4): Hoe verandert het inzicht van leerlingen over modelvorming door het werken met de module en wat is de invloed van de structuur van de module ?

Alle docenten hopen en denken dat het modelinzicht bij de leerlingen toeneemt door het doen van de module. Leerlingen hebben geleerd dat een model dynamisch is, ontwikkeld wordt, aangepast wordt naar aanleiding van experimenten die niet verklaard kunnen worden vanuit het eerdere model. Leerlingen kunnen een model gebruiken (bv atoombouw met behulp van het Rutherford model). Eén docent zou het eindniveau nog hoger willen hebben, dat leerlingen ook inzicht hebben in de voorwaarden waaraan een model moet voldoen.

De opzet van de module in twee delen zorgt ervoor dat leerlingen zelf met modellen aan de slag gaan. De vraagstructuur uit deel 2, met vragen over zorgt ervoor dat leerlingen ook zelf met de module aan de slag kunnen, en achtergrondinformatie hebben. Bij havo zouden wel meer tekstuele begeleiding mogen hebben (nog meer aan de hand worden genomen). Het behaalde eindniveau is voldoende voor havo en vwo. Hoe goed alles beklijft zien de docenten volgend jaar bijvoorbeeld bij de behandeling van zouten.

Samenwerking (vraag 5): Hebben de leerlingen voldoende mogelijkheden tot samenwerking (communiceren, samenwerken)?

De module biedt voldoende mogelijkheid tot samenwerking, maar leerlingen hebben erg de neiging om vrienden in hun groep te kiezen en elk hun eigen deel te doen. De vraag is of zij hun onderdelen samenvoegen of echt samenwerken. Docenten zien wel dat leerlingen elkaar helpen en met elkaar discussiëren tijdens de les.

Vakkennis (vragen 6-10): Halen de leerlingen het beoogde kennisniveau en zijn zij na afloop in staat te werken met concepten als massagetal, atoomnummer etc. ?

De docenten vinden dat het eindniveau dat de leerlingen halen met betrekking tot de behandelde concepten goed is voor havo en vwo (ligt op of boven eindexamenniveau). Het niveau ligt niet anders dan het voorgaande jaar, ze kunnen de oefen-eindexamenopgaven maken. Eén havo-docent zou ook graag Bohr behandelen bij de havo. Bij vwo worden elektronenformules behandeld, die zijn in de Nieuwe Scheikunde geen eindexamenstof meer.

Ervaring met de module (vraag 11-15): Hoe hebben de leerlingen en docenten de module ervaren? Wat zijn sterke en zwakke kanten van de module na herontwerp?

De module liep beter dan vorig jaar, dat heeft te maken met de ervaring die al was opgedaan met de module, maar ook structuur van de module heeft er ook toe bijgedragen. De chronologie was duidelijker.

De splitsing van de module in een deel met opzoekwerk naar modellen en wetenschappers, en later een inhoudelijk deel wordt als sterk gezien. Dat leerlingen gezamenlijk de modellen in chronologisch en historisch perspectief zetten (deel 1) is heel leerzaam voor ze. De inhoudelijke tekst werd goed bevonden. De vraag is nog hoeveel begrip van modelontwikkeling blijft hangen. Mogelijk zijn extra vragen als 'beantwoord ook waarom het vorige model niet meer voldoet' een goede aanvulling. De keerzijde is dat de module een vraag-en-antwoord spelletje wordt, waarbij ieder leerling één neemt en het overzicht weg is. Havo-leerlingen hadden moeite met het vinden van de juiste informatie over modellen op internet. Ondanks de URL's in de moduletekst hadden zij moeite om tussen de bomen het bos te zien. Bij vwo is het gedeelte over Schrödinger (orbitalen) hoog gegrepen omdat de leerlingen de achterliggende natuurkunde missen (bv 'waarschijnlijkheid'). Die orbitalen zijn niet nodig om met valenties en elektronenformules te kunnen werken. Het voordeel van is dat leerlingen in ieder geval een keer van orbitalen hebben gehoord. De differentiatie naar havo en vwo heeft goed uitpakkt. De gewenste verschillen in diepgang zijn gerealiseerd.

De docenten geven een aantal mogelijke veranderingen aan voor volgend jaar: bij atoombouw bij havo explicieter aangeven wat leerlingen precies moeten weten (kennen en kunnen kaart). Normeringsmodel presentaties bij vwo aanpassen. Mogelijk extra vragen in deel 2 zoals 'beantwoord ook waarom het vorige model niet meer voldoet'. In ieder geval geen uitwerkingen van de vragen op Teletop. Overigens worden de modules uiteindelijk volgend jaar onveranderd opnieuw gebruikt.

Kortom

Samengevat biedt de module inzicht in de ontwikkeling van het atoommodel aan de leerlingen, de vraag nog is hoever dit inzicht beklijft. Dat modellen regelmatig worden aangepast lijkt duidelijk. De module heeft de gewenste diepgang voor havo en vwo, en biedt voldoende mogelijkheden tot samenwerking. De concepten over atoombouw worden voldoende behandeld, en de leerlingen konden na afloop de oefen-eindexamenopgaven maken. Welk niveau de leerlingen blijvend gehaald hebben zal volgend cursusjaar blijken, bij de behandeling van gerelateerde onderwerpen. De docenten hebben de module als goed ervaren, er zijn wat tips voor aanpassing, maar volgend cursusjaar zijn de modules niet aangepast.

5 Conclusies

Het doel van het onderzoek was het herontwerpen van de bestaande versie van de module Nobelprijs zodanig dat de doelstellingen van de module beter worden gehaald, gevolgd door de implementatie en evaluatie van de module.

De bestaande module is hiertoe herontworpen en gedifferentieerd naar een havo- en een vwo-versie. Deel 1 van de leerlingtekst is vrijwel gelijk gebleven. Leerlingen zoeken in groepjes informatie over één atoommodel met bijbehorende wetenschapper(s), en niet meer naar een wetenschapper. Dit had tot gevolg dat enkele aanpassingen zijn gedaan aan welke wetenschappers worden onderzocht: Empedocles is vervangen door Democritus, Bequerel is geschrapt. De modellen zijn van Democritus/Dalton, Thomson, Rutherford/Chadwick, Bohr en Schrödinger (voor vwo). Deel 2 van de module is een inhoudelijke tekst waarin de atoommodellen in historisch perspectief worden behandeld. Ten opzichte van de oude versie werden de modellen en wetenschappers iets anders ingedeeld, en werden opdrachten in de tekst opgenomen die leerlingen laten nadenken over de ontwikkeling van de modellen. De vwo-versie bevat meer opgaven en opdrachten, met grotere diepgang.

De module werd geëvalueerd aan de hand van de vier onderzoeksdeelvragen.

Hoe verandert het inzicht van leerlingen over modelvorming door het werken met de module?

Aan het begin van de modules lijken vwo-leerlingen gemiddeld iets vaker in niveau II van modelontwikkeling te zitten dan havo-ers. Havo-ers vinden vaker een voorbeeld of schaalfiguur een model, vwo-ers vinden een model vaker ter verduidelijking of een visualisatie van de werkelijkheid (maar geen kopie). Er werd geen verschil gevonden tussen NT en NG leerlingen (er waren erg weinig NT-leerlingen).

Op basis van vragen 1 en 2 lijkt er een lichte verschuiving op te treden van niveau I naar niveau II, maar het merendeel (> 70%) van de leerlingen blijft in niveau I. De verhoging blijkt niet statistisch significant te zijn. Vraag 3 richt zich meer op het besef dat een model dynamisch en voorspellend is. Rond 60% van de leerlingen geeft aan een model voorspellend te vinden, 80% vindt dat een model moeilijke verschijnselen verduidelijkt, en minimaal de helft vindt dat een model aangepast kan worden. Dit wijst op een hoger niveau (ergens tussen II en III) dan uit vragen 1 en 2 blijkt.

Een duidelijke uitkomst is dat zowel havo-ers als vwo-ers eerst een model zien als *precies* de werkelijkheid, en na afloop van de module vaker een *versimpeling* van de werkelijkheid vinden.

De docenten gaven aan de mate van modelontwikkeling voldoende te vinden. Dat modellen regelmatig worden aangepast lijkt de leerlingen duidelijk, maar in hoeverre het inzicht beklijft merken ze volgend cursusjaar, bij de verdere toepassing van de lesstof.

Hoe hebben de leerlingen samengewerkt en hoe hebben zij dit ervaren?

Zowel leerlingen als docenten vinden dat de module voldoende mogelijkheid tot samenwerking biedt. Logboek en lesobservaties geven een beeld van goede samenwerking, en samenwerkend leren bij deel 2 van de module.

Halen de leerlingen het beoogde kennisniveau van en kunnen zij werken met atoommodellen?

Het beoogde kennisniveau van atoommodellen is volgens de docenten bij havo gehaald (vwo-leerlingen krijgen deel 2 van de module pas na de zomervakantie). Na afloop van de module waren havo-leerlingen goed in staat de eindexamen-oefenopgaven te maken. Docenten zijn tevreden over het behaalde niveau, dat zeker niet lager is dan het voorgaande jaar. De vwo-versie bevat stof die

verder gaat dan de eindexameneis (elektronenformules). De module heeft de gewenste diepgang voor havo en vwo.

Hoe hebben de leerlingen en docenten de module ervaren? Wat zijn sterke en zwakke kanten van de module na herontwerp?

Op basis van de gehouden interviews blijken de ervaringen van docenten met de module positief. De logboeken en lesobservaties geven aan dat ook leerlingen goed met de module overweg kunnen. De module liep beter dan vorig jaar, dat heeft te maken met de ervaring die al was opgedaan met de module, maar de verwachting is dat ook de structuur van de module er toe heeft bijgedragen. De splitsing van de module in een opzoekdeel en een inhoudelijk deel wordt als zeer sterk ervaren: leerlingen gaan zelf aan de slag met de atoommodellen en presenteren die aan de klas. Hierdoor bouwen zij hun eigen conceptuele raamwerk, waardoor de stof beter beklijft. De differentiatie naar havo en vwo heeft goed uitgepakt. De gewenste verschillen in diepgang zijn gerealiseerd.

De docenten geven een aantal mogelijke veranderingen aan voor volgend jaar, zoals een 'kennen en kunnen kaart', een ander normeringsmodel voor de vwo-presentaties en mogelijk extra vragen in deel 2 om nog meer inzicht in de modellen te kweken. In praktijk worden de modules volgend jaar in deze vorm opnieuw gebruikt.

Samengevat biedt de module inzicht in de ontwikkeling van het atoommodel aan de leerlingen. Het gemiddelde niveau van inzicht in modellen stijgt licht van 10% leerlingen in niveau II naar 30% in niveau II. Leerlingen zien een model niet meer als *precies* de werkelijkheid, maar vaker als een *versimpeling van* de werkelijkheid. De module heeft de gewenste diepgang voor havo en vwo, en biedt voldoende mogelijkheden tot samenwerking. De concepten over atoombouw worden voldoende behandeld, en de leerlingen konden na afloop de oefen-eindexamenopgaven maken. Welk niveau de leerlingen blijvend gehaald hebben zal volgend cursusjaar blijken, bij de behandeling van gerelateerde onderwerpen. De docenten hebben de module als goed ervaren, er zijn wat tips voor aanpassing, maar volgend cursusjaar zijn de modules niet aangepast.

6 Discussie en aanbevelingen

De module Nobelprijs is gedifferentieerd naar havo en vwo, en haalt het beoogde niveau van kennis en samenwerking. Het blijkt dat de module het modelinzicht van met name havo-leerlingen enigszins verhoogt, en docenten zijn tevreden over de module zoals die er nu ligt. Er zijn nog wel wat opmerkingen te maken naar aanleiding van het onderzoek, gevolgd door aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Het onderzoek naar verandering van modelinzicht bij de leerlingen is uitgevoerd met behulp van vragenlijsten voor de start en na afloop van de module. De vragenlijsten waren niet tevoren getest op leerlingen of voorgelegd aan experts (dat is een aanbeveling voor een volgende keer). De havo-klassen hebben beide delen van de module uitgevoerd, en de lijsten zijn door circa 55 leerlingen op een zinvolle manier ingevuld. Er zat ongeveer 4 weken tussen start en einde van de module.

Vragen 1 en 2 waren gericht de niveaus van modelinzicht van leerlingen op basis van de aspecten van modellen (model als voorwerp/werkelijkheid/verduidelijking). Er lijkt een lichte verschuiving op te treden van niveau I naar niveau II, maar het merendeel (> 70%) van de leerlingen blijft in niveau I. Na een t-toets blijkt de verhoging niet significant te zijn. Vraag 1 geeft veel variatie in de antwoorden en soms tegenstrijdige resultaten en lijkt een minder geschikte vraag te zijn. Open vraag 2 geeft een duidelijker verschuiving in niveau als de antwoorden van individuele leerlingen worden vergeleken, hoewel een t-toets een lage significantie geeft. Vraag 3 richt zich meer op het besef dat een model dynamisch en voorspellend is. Verrassend genoeg blijken veel leerlingen (rond 60%) een model voorspellend te vinden, vindt 80% dat een model moeilijke verschijnselen verduidelijkt, en vindt minimaal 50% dat een model aangepast kan worden. Dit wijst op een hoger niveau (ergens tussen II en III) dan uit vragen 1 en 2 blijkt. Dit kan goed het gevolg zijn van de vraagstructuur: de stellingen gingen over modelniveau II en III, en niet over I.

In een nieuw onderzoek moet goed gekeken worden naar de gebruikte vragen. Vragen van het type 2 en 3 geven de meeste informatie, maar de hieruit verkregen niveaus zijn sterk verschillend. Mogelijk is het zinvol om ook (open) vragen te stellen over het doel van modellen, en wanneer ze gebruikt worden. Er zou een betere verdeling moeten komen van de modelniveaus over de vragen, dus aspecten van niveau III in een type vraag zoals 1, en niveau I stellingen in vraag 3.

De uitslagen van NG en NT-leerlingen blijken erg weinig te verschillen, zij het dat NT-vwo-ers een iets hoger startniveau van modelinzicht lieten zien dan NT-havo-ers. Het percentage NT-leerlingen is relatief laag (circa 15-20%), waardoor bij de behandeling van de resultaten alleen gekeken is naar het totale leerlingenaantal NG+NT. De vraag is wanneer grotere aantallen leerlingen ondervraagd worden, er wel een significant verschil is tussen NG en NT-leerlingen. In een vervolgonderzoek zou het goed zijn om meer leerlingen te betrekken.

De vwo-klassen hebben alleen deel 1 van de module gedaan. Beide klassen hebben de startvragenlijst ingevuld, één vwo-klas heeft (in de allerlaatste les van het jaar) de tweede vragenlijst ingevuld. Tussen de eerste en tweede vragenlijst zat 1 week, 16 leerlingen vulden vragenlijst 2 in. Dit kleine aantal leerlingen en het tijdstip van ondervraging zou een reden kunnen zijn waarom de beantwoording van vragen 1 en 2 vrijwel gelijk is voor en na de module. Het zou interessant zijn om vragenlijst 2 nogmaals aan vwo uit te delen na afloop van module deel 2 (circa 4 maanden na vragenlijst 1) en te kijken wat er is blijven hangen van de (ontwikkeling in) atoommodellen die ze drie maanden eerder hebben bestudeerd.

Wegens praktische omstandigheden is het interview met docenten wel gedaan, maar met leerlingen niet. De ervaring die leerlingen met de module hebben komt nu vanuit het interview met de docent, en lesobservaties/logboek, maar niet uit de eerste hand van de leerlingen zelf.

De combinatie van vragenlijst, interview en lesobservatie/logboek heeft de antwoorden geleverd op alle onderzoeksdeelvragen. De interviews leveren (subjectieve) informatie over modelinzicht, samenwerking en de ervaring met de module. De vragenlijst geeft een meer objectief beeld van verandering in modelinzicht. Een meer objectief beeld van de opgedane kennis had verkregen kunnen worden door een toets, specifiek op deze module. Deze is echter niet afgenomen, binnen het kwartielpoefwerk is atoombouw kort aan de orde geweest.

Er blijkt een verschuiving op te treden in het modelinzicht, maar waardoor die veroorzaakt wordt is niet direct uit de resultaten op te maken. Dit is wel een interessante vraag: wat is de invloed van de structuur van de module, wat is een goed module-ontwerp dat verandering van modelinzicht bevordert? Een vraagstructuur, waarbij leerlingen bij elk model nadenken over de vraag waarom het model niet meer voldoet, welke experimenten niet meer verklaard kunnen worden, werkt wel. Hoe dwingend moet je zijn in de vraagstructuur, hoeveel laat je de leerling zelf uitzoeken? Is het handig antwoorden ter beschikking te stellen of niet? Laat je leerlingen zelf een of meerdere experimenten nadoen bijvoorbeeld via simulaties? Welk type vragen is het meest geschikt, open of gesloten? Of de module bij de leerlingen heeft geleid tot het gewenste conceptuele model, en niet tot een verzameling concepten staat niet vast. Een doelstelling was dat vwo-leerlingen stapsgewijs modellen moeten zouden moeten kunnen ontwikkelen (met de juiste begeleiding). Dit aspect is in de module niet echt aan de orde geweest.

Ook blijft de vraag of leerlingen na afloop van de module een conceptueel model hebben gemaakt dat atoombouw en elektronenstructuur werkbaar maakt, of dat de verzameling atoommodellen en concepten geleid hebben tot een verzameling p-prims. Wel werkbaar maar geen geïntegreerd geheel. Mogelijk is dat meetbaar door op een later moment een vragenlijst gecombineerd met opgaven af te nemen. Dit meet zowel het modelinzicht, alsook de kennis die tot op dat moment is blijven hangen.

Aanbevelingen in het kort:

- De vragen van de vragenlijst waren niet alle even bruikbaar. Open vragen en Likert-type stellingen geven de meeste informatie, maar de hieruit verkregen niveaus zijn sterk verschillend. Mogelijk is het zinvol om ook (open) vragen te stellen over het doel van modellen, en wanneer ze gebruikt worden, en minder sturend te zijn in de vragen.
- In een vervolgonderzoek zou het goed zijn om meer leerlingen te betrekken, alle interviews uit te voeren en om een toets op te nemen voor en na afloop van de module, om de opgedane kennis tijdens de module te toetsen. Het is aan te raden om grotere leerlingenaantallen te betrekken, waarvan meer met een NT-profiel om meer significante conclusies te kunnen trekken. Het zou interessant zijn om vragenlijst 2 nogmaals aan 4 vwo uit te delen na afloop van module deel 2 (circa 4 maanden na vragenlijst 1).
- Een interessante vraag is wat is een goed module-ontwerp is dat verandering van modelinzicht bevordert? Men kan onderzoek doen naar de variatie van de modulestructuur en type opdrachten op de verandering van modelinzicht.
- Wat voor soort model hebben de leerlingen voor zichzelf geconstrueerd? Een conceptueel model dat klopt met het aangeboden model, p-prims? Mogelijk is dat meetbaar door op een later moment een vragenlijst gecombineerd met opgaven af te nemen.

7 Literatuur

- Acar, B., Tarhan, L. (2008). Effects of cooperative learning on students' understanding of metallic bonding. *Research on Science Education*, 38, 401-420.
- van den Akker, J. (1998). The science curriculum: Between ideals and outcomes. In Fraser, B., & Tobin, K., (Eds.) *International handbook of science education* (pp. 421-447). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Albanese, A., Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model. *Science & Education*, 6, 251-261.
- Apotheker, J. (2005). Infoblad 3 bijeenkomst 4 Viervlakschemie onderwijs. Docentenhandleiding voor viervlakschemie onderwijs of nieuwe scheikunde.
- Bennet, J., Lubben, F. (2006). Context-based chemistry: The Salters' approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 999-1015.
- Blanco, R., Niaz, M. (1998). Baroque Tower on a Gothic Base: A Lakatosian Reconstruction of Students' and Teachers' Understanding of Structure of the Atom. *Science and Education*, 7(4), 327-360.
- Campbell, J., Smith, D., Boulton-Lewis, G., Brownlee, J., Burnett, P., Carrington, S., Purdie, N. (2001). Students' Perceptions of Teaching and Learning: the influence of students' approaches to learning and teachers' approaches to teaching. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 7(2), 173-187.
- Chinn, C.A., Malhotra, B.A. (2002). Children's responses to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded? *Journal of educational psychology*, 94(2), 327-343.
- Cullin, M., Crawford, B.A. (2003). Using technology to support prospective science teachers in learning and teaching about scientific models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 2(4), 409-426.
- Dagher, Z. (1995a). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 259-270.
- Dagher, Z. (1995b). Review of studies of the effectiveness of instructional analogies in science teaching. *Science Education*, 79, 295-312.
- Van Dijken, J., (2009a). Een typische havist. APS.
- Van Dijken, J., (2009b). Een typische vwo-er. APS.
- Van Driel, J.H., de Vos, W., Verloop, N., Dekkers, H., (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 20(4), 379-392.
- Van Driel, J.H., Verloop, N. (1999). Teacher's knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Duit, R., Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671 – 688.
- Ebbens, S. (2005) *Samenwerkend leren*, Noordhoff Uitgevers Bv.
- ELAN (2009). *Onderzoek van Onderwijs (OvO) Handleiding voor dio's*.
- Erduran, S., Scerri, E. (2003). The nature of chemical knowledge and chemical education. Chapter 1 in *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Springer, The Netherlands, 7-27.
- Erduran, S., Duschl, R.A. (2004). Interdisciplinary characterization of models and the nature of chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40, 105-138.
- Ertmer, P.A., Newby, T.J. (1993). Behaviorism, cognitivism, constructivism: comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly*, 6(4), 50-72.

- Gilbert, J.K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gilbert, J.K., Boulter, C. (1998a). Models in explanations, Part 1: Horses for courses?. *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J.K., Boulter, C., Rutherford, M. (1998b). Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, 20(2), 187-203.
- Gilbert, J.K., Watts, M.D. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98.
- Gillies, R.M., Ashmann, A.F., Terwel, J. (2008). The teacher's role in implementing cooperative learning in the classroom, Springer, Hoofdstukken 1 en 6.
- Goedhart, M. (2004). Contexten en concepten: een nadere analyse. SLO.
- Greca, I.M., Moreira, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. and Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Harrison, A.G., Treagust, D.F. (1998). Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education* 80(5), 509-534.
- Harrison, A.G., Treagust, D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education* 84(3), 352-381.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31, 401-435.
- Henze, I., Van Driel, J.H., Verloop, N. (2008). Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. *Int. J. Sci. Ed.*, 30 (10), 1321-1342.
- Hewson, P.W., Thorley, N.R. (1989). Conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), 541 - 553.
- Hofstein, A., Kesner, M. (2006). Industrial Chemistry and School Chemistry: Making chemistry studies more relevant. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1017-1039.
- Hoogeveen, P., Winkels, J. (2008). *Het didactische werkvormenboek*. Uitgeverij van Gorcum.
- De Jong, O., van Driel, J.H., Verloop, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical knowledge content of using particle models in teaching chemistry. *Journal of research in science teaching*, 42(8), 947-964.
- Justi, R. Gilbert, J. K. (1999). History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science and Education*, 8, 287-307.
- Justi, R. Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models. Some challenges in the case of the atom. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1000.
- Justi, R. Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- Justi, R., Gilbert, J.K. (2003). Teacher's view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R., van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- King, D., Bellochi, A., Ritchie, S.M. (2008). Making Connections: Learning and Teaching Chemistry in Context. *Research in Science Education*, 38, 365-384.
- van Koten, Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en Vwo. (2003). *Chemie tussen context en concept*.

- Mathison, S. (1988). Why Triangulate? Educational Researcher, 17(2), 13-17.
- Meijer, P.C., Verloop, N., Beijaard, D. (2002). Multi-Method Triangulation in a Qualitative Study on Teachers' Practical Knowledge: An Attempt to Increase Internal Validity. Quality & Quantity ,36, 145–167.
- Miri, B., David, B-C., Uri, Z. (2007). Purposely teaching for the promotion of higher order thinking skills: a case of critical thinking. Res. Sci. Educ. (37), 353-369.
- Nakhleh, M.B. (2001). Theories or fragments The debate over learners' naïve ideas about science. Journal of Chemical Education,78(8), 1107.
- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. Science Education, 82, 527-552.
- Niaz, M. (2005). How to facilitate students' conceptual understanding of chemistry? – a history and philosophy of science perspective. Chemical Education International, 6(1).
- Novak, J. D. (1998). Learning, Creating, and Using Knowledge. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Nurrenbern S.C. (2001). Piaget's Theory of Intellectual Development Revisited. Journal of Chemical Education. 78(8), 1107-1110.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B. (2006). Chemie im Kontext: A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. International Journal of Science Education, 28(9), 1041–1062.
- Park E.J., Light, G. (2008). Identifying Atomic Structure as a Threshold Concept: Student mental models and troublesomeness. International Journal of Science Education, 31(2), 233 – 258.
- Pilot, A., Bulte, A.M.W. (2006a). Why do you "Need-to-know"? Context-based education. International Journal of Science Education, 28 (9), 953-956.
- Pilot, A., Bulte, A.M.W. (2006b). The Use of "Contexts" as a Challenge for the Chemistry Curriculum: Its successes and the need for further development and understanding. International Journal of Science Education, 28 (9), 1087-1112.
- Prins, G.T., Bulte, A.M. W., van Driel, J.H., Pilot, A. (2008). Selection of Authentic Modelling Practices as Contexts for Chemistry Education. International Journal of Science Education, 30(14), 1867-1890.
- Schwartz, A.T. (2006). Contextualized Chemistry Education: The American experience. International Journal of Science Education, 28 (9), 977–998.
- Seale, C. (1999). Quality in Qualitative Research. Qualitative Inquiry, 5(4), 465-478.
- Slavin, R.E. (1996). Research for the future: research on cooperative learning and achievement: What we know, what we need to know. Contemporary Educational Psychology, 21, 43-69.
- Stuurgroep Nieuwe Scheikunde (2006). Ontwerp van een leerlijn en toetslijn nieuwe scheikunde. Leerjaar 3 havo en vwo. SLO.
- Taber, K.S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. International Journal of Science Education, 20(5), 597-608.
- Taber, K.S. (2008). Conceptual Resources for Learning Science: Issues of transience and grainsize in cognition and cognitive structure. International Journal of Science Education, 30(8), 1027 – 1053.
- Van Toor, J.A. (2008). Geschiedenis van de scheikunde. Van veen Magazines, Nederland.
- de Vos, W., van Berkel, B., Verdonk, A. (1994). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. Journal of Chemical Education, 71(9), 743-746.
- de Vos, W., Van der Valk, T. (1999). Modellen in wetenschap, modellen in onderwijs. NVOX 25(7).
- Wikipedia www.en.wikipedia.org.

MODULE NOBELPRIJS

herontwerp voor havo en vwo,
implementatie en evaluatie

Leontine de Graaf
Onderzoek van Onderwijs
augustus 2009

Deel 2: Bijlagen



B

Module No



DEN NORSKE
NOBELKOMITEE
*The Norwegian
Nobel Committee*

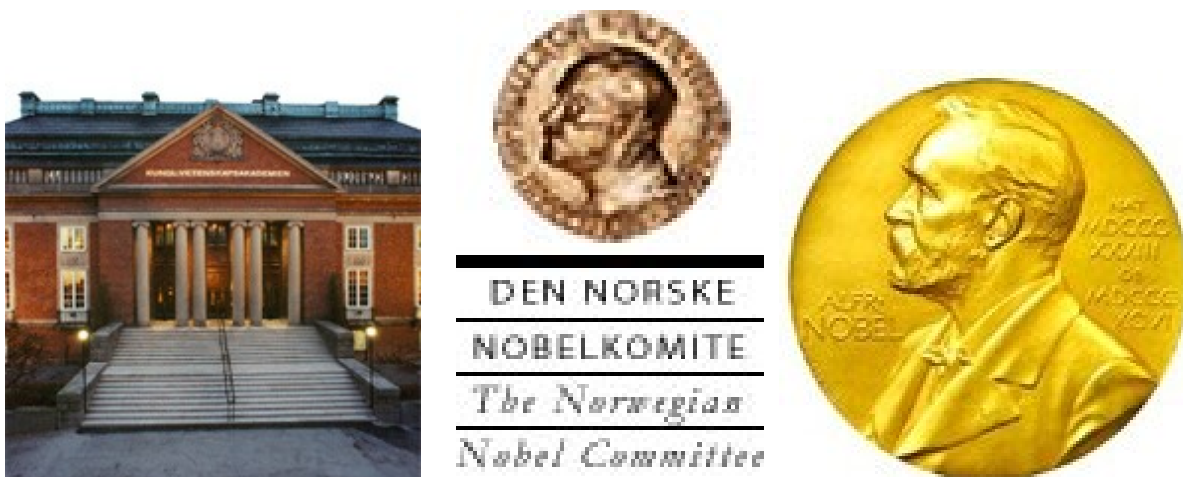
Deel 1 - lee



BIJLAGE 1: Module Nobelprijs Havo deel 1 - leerlingentekst

NOBELPRIJS SCHEIKUNDE

Wie wint de Nobelprijs voor zijn bijdrage aan de kennis van het atoommodel?



Prize Awarder for the Nobel Prize in Chemistry

The Royal Swedish Academy of Sciences is responsible for the selection of the

Nobel Laureates in Chemistry. The Academy has 350 Swedish and 164 foreign members. Membership in the Academy constitutes exclusive recognition of successful research achievements. The Academy appoints members of the Nobel Committee, the working body, for a three-year term.

Module NOBELPRIJS 1^e deel leerlingentekst HAVO

Het Nobelprijs comité kent prijzen toe aan mensen die een belangrijke bijdrage aan de wetenschap hebben geleverd. Dat gebeurt door de Zweedse Koninklijke academie van wetenschappen. Hierin zitten mensen met een enorme reputatie op het gebied van wetenschappelijk onderzoek. Behalve voor scheikunde worden ook Nobelprijzen uitgereikt voor natuurkunde, economie, geneeskunde, literatuur en vrede.

Deel 1: Wie verdient een Nobelprijs naar aanleiding van het atoommodel?

Al in de Griekse oudheid werd nagedacht over de bouw van de materie. Bekende namen uit die tijd zijn Empedocles en Democritus. Zij hadden tegengestelde denkbeelden over de bouw van de materie. Pas in de 18^e eeuw levert Dalton een verdere bijdrage aan de bouw van de materie met de introductie van zijn atoommodel dat je in klas 3 al bent tegengekomen. Hij beschouwde atomen als ondeelbare harde bolletjes. Daarna wordt de opbouw van een atoom steeds verder ontrafeld. Mensen die daar een belangrijke bijdrage aan geleverd hebben zijn in willekeurige volgorde Rutherford, Chadwick, Bohr en Thomson. Hun modellen zijn weer verder ontwikkeld door meerdere mensen, zoals De Broglie, Heisenberg en Schrödinger. Van velen van hen is het belang van hun bijdrage niet altijd even duidelijk omdat de ontwikkeling van het atoommodel steeds in hele kleine stapjes is gegaan. Daarnaast heeft men over en weer gebruik gemaakt van elkaars conclusies.

Alhoewel het atoommodel een basis vormt voor zowel de hedendaagse scheikunde en natuurkunde, is er nog geen Nobelprijs uitgereikt voor het atoommodel. Dit heeft er zeker mee te maken dat de voorstelling van de bouw een atoom, in de loop van de jaren sterk is aangepast. Verschillende geleerden uit verschillende tijden hebben een bijdrage geleverd aan het atoommodel.

Opdracht

Jullie opdracht voor deze module is de volgende:

Je mag per groep een 1^e en 2^e keus aangeven uit onderstaande wetenschappers. Vervolgens krijg je per groep krijg je een wetenschapper of duo van wetenschappers toegewezen. Schrijf een voordracht voor het Nobelprijs comité, waarin je één van de genoemde (duo's van) wetenschappers aanbeveelt voor de Nobelprijs voor de chemie. De wetenschapper moeten de prijs krijgen voor hun bijdrage aan de kennis over het atoommodel.

- Democritus/ Dalton
- Thomson
- Rutherford/Chadwick
- Bohr
- Schrödinger

Je moet in ieder geval de volgende aspecten opzoeken:

- Levensloop (kort)
- Beschrijving van het atoommodel
- Wat was hun voorkennis
- Wat was het vernieuwende aan of welke verbeteringen zitten in het ontwikkelde atoommodel
- Met wie hebben ze samengewerkt

Op basis van de bovenstaande aspecten schrijf je een pleidooi voor het Nobelprijscomit , waarin je aangeeft waarom juist jullie wetenschapper/duo de Nobelprijs moet krijgen. Je maakt bovendien een poster waarin het werk van jullie kandidaat wordt toegelicht.

Er wordt een Nobelprijscomit  samengesteld. Het comité bestaat uit de docent, de TOA en voor elke wetenschapper een leerling uit elk van de andere groepjes.

Elke groep krijgt 5 minuten (dit is all in) om hun kandidaat aan te prijzen aan de hand van poster die is gemaakt. Vervolgens wordt de Nobelprijswinnaar gekozen door het comité. Nadat je je aanprijzing hebt gehad, deel je je pleidooi uit aan je medeleerlingen zodat deze nog eens kunnen nalezen welke belangrijke zaken deze wetenschapper/duo voor het voetlicht heeft gebracht.. De digitale versies van de pleidooien worden verzameld op Teletop.

Beoordeling: poster 30% en pleidooi: 30%

Bronnen

Informatie over de wetenschappers kun je onder andere vinden in:

- Wikipedia, <http://nl.wikipedia.org/wiki> of <http://en.wikipedia.org/wiki>
- <http://proto5.thinkquest.nl/~lle0111/dutch/Wetenschappers/Bekende-theorie%C3%ABn/Atoomtheorie> (o.a. Rutherford, Thomson)
- http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/

Algemeen over atoommodellen

- <http://www.refdag.nl/oud/weet/001024weet03.html?PHPSESSID=a6a0ef0eece25e5938aad3b67829b9fa> (gaat in op ontwikkeling atoommodel, en op wetenschappers)
- http://home.tiscali.nl/jnldejong/Bestanden_4_vwo/Thomson.htm (historisch overzicht ontwikkeling atoommodellen)

Rutherford:

- <http://www.christophedejaegher.be/studenten/fysica/rutherford.pdf>
- <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/rutherford/index.html> (doe zijn experiment zelf)

Opdrachten voor ieder groepje, plaats de antwoorden in de werkplaats van je groep in de map Nobelprijs:

- 5) Op grond waarvan kon Mendeleev zijn periodiek systeem indelen?
- 6) Hoe heten de elementen in groep 1, 2, 16, 17 en 18?

Kies in overleg met de docent, één van de volgende groepen van het periodiek systeem: 1, 2, 16, 17 of 18.

- 7) Beschrijf de elementen in jullie groep. Neem daarbij de volgende aspecten op in jullie beschrijving: aggregatietoestand bij kamertemperatuur, soort reacties, geleidbaarheid, elektronenverdeling, etc.

Beoordeling: Beantwoording vragen 1 t/m 3 30%

De lesplanning voor deze module is als volgt:

Les	In les	huiswerk
1. introductie + planning	Introductie, koppels per wetenschapper	Opzoeken wetenschapper
2. verwerking	Opzoeken wetenschapper Poster/handout maken	
3. verwerking	Poster/handout afmaken per wetenschapper (4 personen) Groepen rond dezelfde wetenschapper komen samen en maken een poster + pleidooi Samenstellen Nobelprijscomit�	Toelichting maken bij het werk van de wetenschapper. De poster moet er goed uitzien voor een goede score!! Hard werken dus.
4.pleidooien	Elke groep houdt zijn pleidooi aan de hand van de poster. Pleidooien, worden aan de medeleerlingen uitgedeeld	
5. verdieping	Deel 2 stencil wordt uitgereikt Atoommodel van Dalton Atoommodel van Rutherford	Vragen maken
6. verdieping	Atoommodel van Bohr Periodiek systeem Atoombinding, covalentie	Maken opgaven.
7. verdieping		Oefenen oude eindexamenopgaven 5HAVO

(Optioneel)

- 8) Behalve een beschrijving op schrift is het ook de bedoeling is dat jullie je groep presenteren in de vorm van een dans, een liedje of rap.

Op <http://www.sing-smart.com/LyricsDetails.asp?SongCategoryID=6> staan voorbeelden die je kunt gebruiken.

Als kostuum draag je kettingen.

5. Groep 1 en 2 maken een ketting waaruit duidelijk wordt dat ze metalen voorstellen. Ze hebben 1 of twee bollen van Al folie, die elektronen voorstellen.
6. Groep 16 en 17 maken een ketting waaruit duidelijk wordt dat ze niet-metalen voorstellen.
7. Groep 18 maakt een ketting waaruit blijkt dat ze edelgassen zijn.

Beoordeling: Uitvoering 10%

(Deel van de tekst van een van de liedjes)

**There are metals and nonmetals
In the periodic table,
But the metals make the great majority.
There's a staircase that descends
From up left down to the right,
With metals below, nonmetals above,
Because, you see, that's right!**

Chorus

**Oh, how I love the elements!
They fill my soul with joy.
The patterns that I find within
Can keep me in employ.
I mix and match them endlessly
To make what I desire,
Then revel in the patterns that I see....**

Zie <http://www.sing-smart.com/LyricsDetails.asp?SongCategoryID=6>

BIJLAGE 2: Module Nobelprijs Havo deel 2 – atoommodellen

NOBELPRIJS SCHEIKUNDE

Atoommodellen



Module NOBELPRIJS 2^e deel leerlingentekst HAVO

1. Atoommodel van Democritus en Dalton: atomen als ondeelbare deeltjes

In het oude Griekenland speculeerden filosofen al over atomen. Eén van de grootste vragen was of materie eindeloos deelbaar was in kleinere deeltjes of niet. Bekende filosofen als Plato dachten van wel, Democritus was het daar niet mee eens.

Democritus stelde dat er oneindig veel atomen zijn die verschillen in eigenschappen zoals grootte, vorm en massa. Atomen in materie hadden verschillende vormen en posities, waardoor de grote verscheidenheid van materie in de natuur verklaard kon worden. Atomen konden niet vernietigd worden. De naam atoom die door Democritus is bedacht komt van het Griekse *atomos*, dat ondeelbaar betekent.

Vanaf de 17^e eeuw begon de wetenschap zich te ontwikkelen. Men werd van alles onderzocht, men begon verklaringen te bedenken, men zag.

Rond 1800 waren er in Engeland nogal wat mensen die graag uitvoerden. Voor de spullen die ze nodig hadden konden ze tot chemie-enthousiast.

Veel van Daltons klanten waren niet precies. Ze kochten alles wat ze hoopten dat er iets leuks zou gebeuren. Maar anderen wisten wat stoffen in vaste massaverhoudingen met elkaar reageerden. Ze kregen heel nauwkeurige boodschappenlijstjes waarop ze precies aangegeven was wat stof nodig hadden. Dalton moest dan alles precies afwegen en berekenen.

Daarom brak Dalton zich het hoofd over een handiger systeem om te stellen wat er zou gebeuren als je alle maatschepjes steeds halverde. Hoeveelheid stof in elke maatschep steeds weer opnieuw zou halveren, waar zou je dan eindigen? Volgens Dalton zou in die steeds kleinere maatschepjes tenslotte nog maar één klein deeltje zitten dat niet meer gedeeld kan worden. Hij noemde dat een atoom, afgeleid van het Griekse woord *a-tomos* dat niet-snijdbaar betekent. Elk element zou volgens Dalton zijn eigen type atoom hebben. De atoomtheorie was geboren.



De erfenis van Dalton is nog veel groter. Dalton dacht veel na over de boodschappenlijstjes en vroeg zich af waarom de verhouding tussen de aantallen maatschepjes van de ene en die van de andere stof altijd erg eenvoudig was. Vaak 1 op 1 (de verhouding die Dalton het liefst zag) of 2 op 1, of soms 2 op 3, maar altijd waren het mooie eenvoudige getallen. Daar moest iets eenvoudigs achter zitten!

John Dalton stelde dat er verschillende soorten stoffen zijn. Sommige stoffen bestaan uit één atoom (die noemen we nu atomaire stoffen). Andere stoffen bestaan uit meerdere atomen van hetzelfde soort (bv N_2 of O_2). En er zijn stoffen die bestaan uit meerdere aan elkaar gebonden atomen van verschillende atoomsoorten (bv SO_2 of C_2H_5OH).

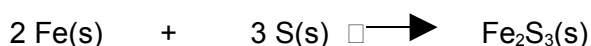
Stoffen die bestaan uit minimaal 2 atomen die aan elkaar vastzitten zijn noemen we moleculen. Zoals boven beschreven had Dalton al gevonden dat de verhouding van verschillende atomen binnen moleculen altijd mooie eenvoudige getallen waren: 1 op 1, of 1 op 2, of 2 op 3.

De bijdrage van John Dalton aan de wetenschap is zijn molecuultheorie. Hij veronderstelde dat moleculen uit nog kleinere deeltjes bestaan: de atomen. Er zijn ongeveer 100 soorten atomen. De atoomtheorie van Dalton heb je in klas 3 geleerd:

5. Een molecuul is opgebouwd uit nog kleinere deeltjes: de atomen
6. Atomen zijn onvernietigbaar
7. Alle atomen van één soort zijn altijd helemaal aan elkaar gelijk
8. Atomen van verschillende atoomsoorten kunnen met elkaar gecombineerd worden tot moleculen.
9. Een chemische reactie is een hergroepering van atomen tot nieuwe moleculen.

Dankzij de atoomtheorie van Dalton werden formules aan stoffen toegekend en heb je in klas 3 geleerd dat je een chemische reactie kunt voorstellen met een kloppende reactievergelijking. Immers, een chemische reactie is een hergroepering van atomen tot nieuwe moleculen en atomen zijn niet te vernietigen.

Met Daltons theorie kun je beschrijven wat er gebeurt wanneer grijs ijzerpoeder met geel zwavelpoeder verandert tot een andere zwarte vaste stof. We geven de reactie tussen ijzerpoeder en zwavelpoeder als volgt weer (let op de vaste atoomverhoudingen):



ELEMENTS			
	Hydrogen		Strontian
	Azote		Barytes
	Carbon		Iron
	Oxygen		Zinc
	Phosphorus		Copper
	Sulphur		Lead
	Magnesia		Silver
	Lime		Gold
	Soda		Platina
	Potash		Mercury

Een andere verdienste van Dalton was dat hij een tabel heeft opgesteld met de massa van elk atoom ten opzichte van het waterstofatoom. Na een tijdje experimenteren kwam hij op het verstandige idee om uit te gaan van het lichtste element en daarbij een maatschap te nemen die precies één gram waterstof kon scheppen.

De figuur hiernaast laat de lijst zien die Dalton in 1803 opstelde. Waterstof (Hydrogen in het Engels) is het lichtste element kreeg dus een maatschap van 1 gram. Dalton gebruikte nog geen letters voor de elementen zoals wij gewend zijn (H voor waterstof, N voor stikstof) maar cirkelsymbolen. Als je de getallen vergelijkt met die van de atoommassa's uit Binas dan zul je zien dat de nauwkeurigheid van de tabel van Dalton beter kan.

Opdracht 1:

6. Wat is een element in de scheikunde?
7. Wat is het verschil tussen een ontleedbare en een niet-ontleedbare stof?
8. Leg uit waarom we volgens Dalton een reactievergelijking kloppend moeten maken.

Opdracht 2:

Rond 1860 werd ontdekt dat als materie wordt verhit in hoog vacuüm, deze materie straling van negatief geladen deeltjes uitzendt. Dit is de zogenaamde kathodestraling. Kun je met het atoommodel van Dalton verklaren dat materie straling uit kan zenden? Waarom wel/niet?

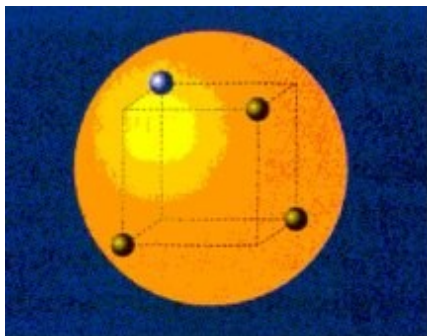
2. Atoommodel van Thomson

Rond 1860 werd ontdekt dat als materie wordt verhit in hoog vacuüm, deze materie straling uitzendt (zie opdracht 2). Dit is de zogenaamde kathodestraling. Sir J.J. Thomson wilde weten of deze straling bestond uit golven zoals licht, of dat het bestond uit deeltjes.

Hij deed experimenten en ontdekte dat kathodestraling bestond uit zeer kleine negatief geladen deeltjes. Hij vond bij elk experiment dezelfde deeltjes (dus bij het verhitten van elk metaal, en bij elk gas in de vacuümbuis). Daarom concludeerde hij dat deze negatief geladen deeltjes wel onderdeel moesten zijn van elk atoom. Het negatief geladen deeltje werd elektron genoemd.

Omdat het atoom als geheel elektrisch neutraal is, moet er op één of andere manier ook wel positieve lading aanwezig zijn. Volgens Thomson was deze positieve lading egaal verdeeld over het gehele atoom. Hierbij zijn elektronen dusdanig geordend, dat ze zover mogelijk van elkaar verwijderd zijn. Waardoor de positieve lading werd veroorzaakt wist Thomson overigens nog niet, dus zijn hypothese was erg gewaagd.

Zie Figuur 1 voor het atoommodel van Thomson. Zijn model wordt ook wel het krentenbolmodel of plumpuddingmodel genoemd. Deze naam geven ze er aan omdat de elektronen 'als krenten in de pudding' aanwezig zijn. Dit atoommodel stelt dat de elektronen verdeeld zijn in een 'zee' van positieve lading. Het is een ruimtevullend model.



Figuur 1. Het krentenbolmodel, de elektronen zijn als zwarte bolletjes weergegeven, de positieve tegenlading als gele bol. In de (tetraëdrische) rangschikking zoals in het model beschreven. Op die manier zijn de elektronen zover mogelijk van elkaar verwijderd!

Opdracht 3:

- Leg uit waarom in het krentenbolmodel van Thomson de elektronen zover mogelijk van elkaar verwijderd zijn.
- Thomson koppelde negatieve lading aan deeltjes (de elektronen). Is in zijn model de positieve lading ook gekoppeld aan deeltjes?
- Hoe is in het model van Thomson de positieve lading over het atoom verdeeld?

3. Atoommodel van Rutherford/Chadwick

Ondertussen waren stoffen ontdekt die geheimzinnige straling afgaven. Straling die in staat was nog ingepakte fotografische platen te belichten. Deze straling, later radioactiviteit genoemd, wekte de interesse van Rutherford. Hij schoot alfa-deeltjes op allerlei vaste stoffen, zoals metaalfolie, om erachter te komen wat alfa-deeltjes voor structuur hadden. In 1909 kwamen Ernest Rutherford en Thomas Royds tot de ontdekking dat alfadeeltjes eigenlijk heliumkernen zijn. Uit andere experimenten bleek dat alfa-deeltjes positief geladen waren, en veel zwaarder waren dan de elektronen die door Thomson ontdekt waren.

Rutherford liet door een spleet α -deeltjes op een dun folie van goud vallen, zie Figuur 2. Hij plaatste een fluorescerend scherm rondom het folie om te bepalen waar de α -deeltjes terecht kwamen, en om vast te stellen hoe de alfa-deeltjes verstrooid werden.

Hoewel de meeste deeltjes in een rechte lijn door het folie gaan, werden enkele deeltjes afgebogen of kwamen zelfs helemaal terug. Rutherford was hierover zeer verbaasd: *'It was quite the most incredible event that has ever happened to me in my life. It was almost as incredible as if you fired a fifteen-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you.'*

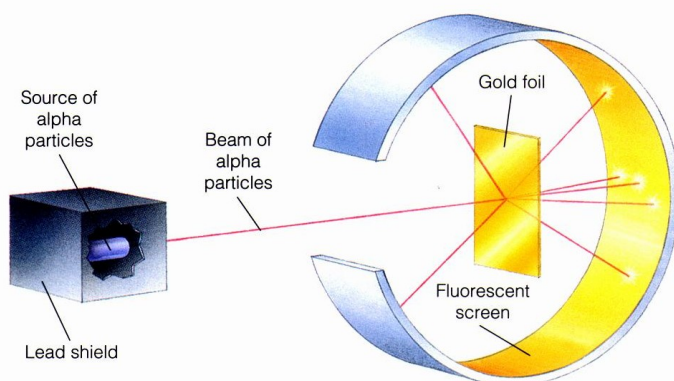
Opdracht 4:

Volgens het krentenbolmodel van Thomson hadden de α -deeltjes gewoon rechtdoor moeten gaan. Leg uit aan de hand van het model van Thomson waarom het onverwacht is dat α -deeltjes worden *afgebogen* wanneer zij door metaalfolie heen gaan.

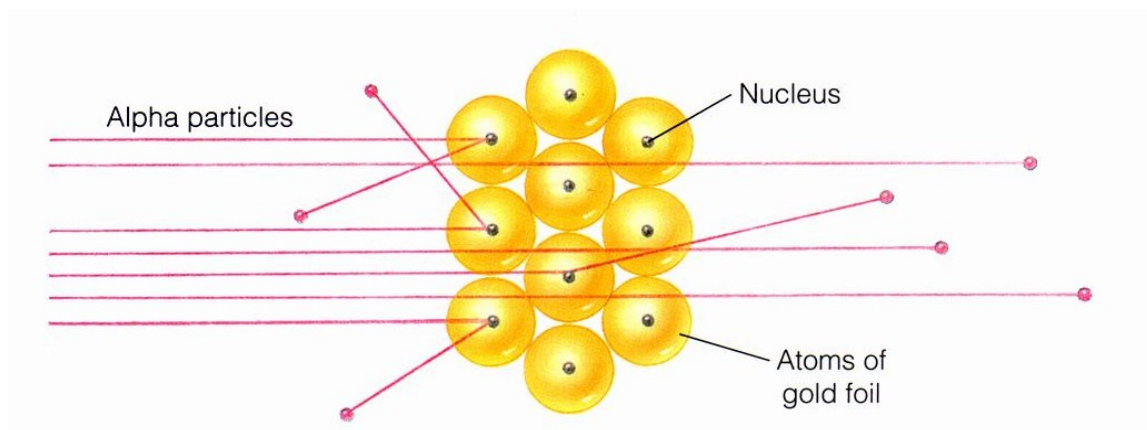
Opdracht 5:

We bekijken klassikaal de animatie van het experiment van Rutherford. Schrijf in eigen woorden op waarom de meeste alfa-deeltjes recht door het goud-folie gaan, en enkele worden afgebogen of zelfs geheel terugkomen.

Rutherford vroeg zich vervolgens af of alfa-deeltjes worden teruggekaatst door iets massiefs (vergelijk de botsing van twee biljartballen), of dat de deeltjes werden afgebogen door elektrostatische afstoting. Dat bleek afbuiging te zijn. Hij nam daarbij aan dat de elektronen zo klein zijn dat die geen invloed hebben op de afbuiging van de alfa-deeltjes.



Figuur 2: Rutherford's experiment waarbij hij alfa-deeltjes afschoot op goudfolie en bekeek waar de deeltjes terecht kwamen



Figuur 3: Verstrooiing van alfa-deeltjes door goudfolie.

Naar aanleiding van zijn experimenten concludeerde Rutherford dat:

- het atoom voor het grootste deel bestaat uit lege ruimte
- het atoom een hele kleine massieve kern bevat
- die kern positief geladen is

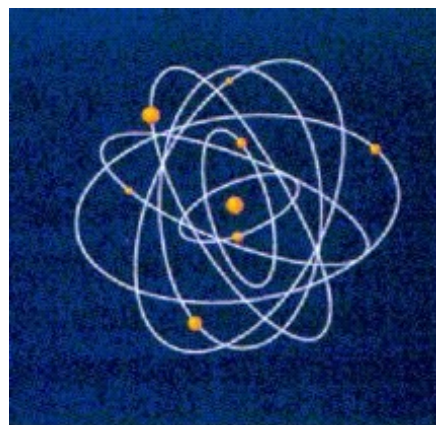
Zijn atoommodel ziet er als volgt uit: Een atoom bestaat uit een kleine massieve kern die alle positieve lading bevat en een negatief geladen elektronenwolk op grote afstand van de kern. Elektronen cirkelen in banen rond de kern. Men gebruikt hiervoor wel de volgende vergelijking: de kern als een knikker, dan zit de elektronenwolk de hoogte van Eiffeltoren verderop (300 meter!). Thomson noemde de deeltjes in de kern met positieve lading: *protonen*. Protonen zijn veel zwaarder dan elektronen.

Een aantal jaren later ontdekte James Chadwick het *neutron*: een ongeladen deeltje in de kern, dat ongeveer even zwaar is als een proton. Hiermee was de opbouw van de atoomkern ontrafeld: een atoomkern bestaat uit protonen én neutronen.

Opdracht 6

Rutherford trok drie conclusies naar aanleiding van zijn experiment. (zie boven). Leg deze drie conclusies uit met behulp van de animatie van het experiment dat je hebt bekeken.

:



Figuur 4: 3-dimensionaal atoommodel van Rutherford.

Bij het atoommodel van Rutherford/Chadwick moet je de volgende begrippen kennen:

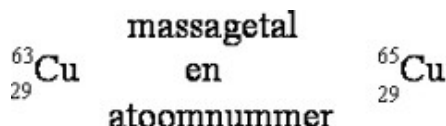
- Het atoomnummer (Z) geeft het aantal protonen aan in een atoom. Z is ook gelijk aan het aantal elektronen van het atoom.
- Het atoomnummer Z bepaalt over welk element je het hebt.
- Het aantal neutronen in de kern is N. De verhouding N:Z neemt langzaam toe met oplopend atoomnummer Z.
- De massa van het atoom wordt bepaald door de kern (protonen en neutronen)
- Het massagetal is de som van het aantal neutronen en protonen = N + Z.
(de elektronen hebben zo'n kleine massa, die mogen we verwaarlozen)
- Protonen en neutronen mogen wij als even zwaar beschouwen
- Protonen hebben een lading van 1+
- Neutronen zijn ongeladen
- Elektronen hebben een lading van 1-
- Sommige atomen hebben hetzelfde massagetal, maar een verschillend aantal neutronen. Dergelijke atomen worden isotopen genoemd.

Notatie

De atoomsoort chloor wordt ook wel als volgt weergegeven: $^{35}_{17}\text{Cl}$. Het getal linksboven is het massagetal, het getal linksonder het atoomnummer.

Isotopen

Een mooi voorbeeld van een isotoop is koper. Het symbool van het atoom koper is Cu. Van dit atoom komen in de natuur 2 isotopen voor, te weten:



Linksboven het symbool staat het massagetal en linksonder van het symbool staat het atoomnummer. In Binas tabel 25 kun je de exacte atoommassa van de betreffende isotopen vinden. Als je goed kijkt in Binas tabel 25, dan zul je zien dat het linker isotoop 69,1% voorkomt in de natuur en het rechter isotoop 30,9%. Voor de goede orde, als eenheid gebruiken ze in deze tabel de atomaire massa-eenheid (u) i.p.v. de kilogram (kg). De atomaire massa-eenheid is ook te vinden in Binas tabel 7.

Echter, als je in Binas tabel 99 kijkt, dan vind je voor de atoommassa van Cu 63,55 u, waardoor is de atoommassa niet een geheel getal?

Stel je hebt 1000 koperatomen. Dan zijn er 691 met een massa van 62,93 u en 309 met een massa van 64,93 u. Opgeteld levert dat een massa van $4348,46 + 2006,34 = 6355$ u. Gemiddeld is dat dus, inderdaad, 63,55 u. We noemen deze atoommassa de **relatieve atoommassa's** weergegeven.

Opgave 1

- Beschrijf de bouw van een chlooratoom met massa 37
- Beschrijf de bouw van het Sb-121 atoom.
- Beschrijf de bouw van het $^{88}_{38}\text{Sr}$

Opgave 2

Wat veroorzaakt het verschil in atoombouw tussen de volgende twee isotopen: Ir-191 en Ir-193 ?

Opgave 3

- Hoeveel protonen komen voor in een chloor molecuul?
- Hoeveel elektronen komen voor in een chloor molecuul?

4. Atoommodel van Bohr

De Deense natuurkundige Niels Bohr bestudeerde zogenaamde emissiespectra van atomen. Hij gaf atomen een flinke energie-injectie. De elektronen in het atoom komen daardoor verder van de kern af te zitten. Verder van de kern is echter geen stabiele situatie: de elektronen vallen weer terug naar hun oude plek. Als ze weer terug gaan naar hun oorspronkelijke plek, geven ze hun overvloedige energie af in de vorm van licht van een bepaalde golflengte. Elk atoomsoort bleek maar een beperkt aantal golflengtes uit te zenden.

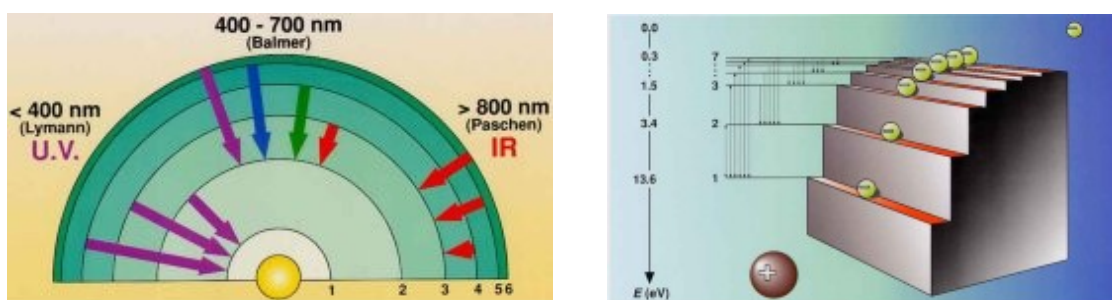
Op basis van het model van Rutherford verwachtte Bohr dat de negatief geladen elektronen zouden worden aangetrokken door de positieve kern, en langzaam naar de kern toe zouden cirkelen. Daarbij zou dan energie vrij moeten komen in de vorm van straling. Echter, die straling moest een heel spectrum van golflengtes hebben, en dat was nog nooit gemeten: straling uit materie kwam alleen voor in specifieke golflengten, zie ook figuur 5.

Bohr concludeerde dat elektronen niet zomaar overal om de kern heen kunnen cirkelen. Zijn atoommodel stelt dat elektronen bewegen in cirkelvormige schillen op bepaalde afstand van de kern. Het betreffen echter wel speciale schillen. Deze schillen worden gekarakteriseerd met een waarde n . Hierbij geldt dat $n = 1, 2, 3, \dots$. De schil met $n = 1$ is de schil die het dichtst bij de kern is. Afhankelijk van de straal van de schil, heeft iedere schil een speciale hoeveelheid energie E .

Het model van Bohr wordt ondersteund door atoomemissiespectra van waterstof die in de jaren voor Bohr waren gemeten (maar waar Bohr toen niet vanaf wist). Atomen laten namelijk een lijnspectrum zien, waarbij uit kan worden opgemerkt dat atomen slechts licht uitzenden bij bepaalde frequenties! Zie figuur 5 voor een mooi voorbeeld.

Met het atoommodel van Bohr doet de kwantummechanica zijn intrede in de natuurwetenschap. Energie in de vorm van pakketjes met een bepaalde inhoud. Elke schil kan een maximum aantal elektronen bevatten, dat wordt weergegeven door de formule:

$$\text{Aantal elektronen} = 2n^2. \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$$



Figuur 5: Links, de getallen op de x-as stellen de waardes voor n voor. Kijk goed naar welke schil een elektron terugvalt. Bij het terugvallen wordt licht uitgezonden met een bepaalde frequentie. Er wordt geen licht uitgezonden dat alle frequenties heeft!. Rechts, voor een aantal schillen wordt de absolute energie weergegeven.

5. Electrovalentie

Het atoommodel van Bohr zegt dat elektronen in schillen rond de kern cirkelen. Elke schil kan een maximaal aantal elektronen bevatten, namelijk $2n^2$ met n het nummer van de schil gerekend vanaf de atoomkern ($n = 1, 2, 3, \dots$). Zo bevat de eerste schil maximaal 2 elektronen, de tweede schil maximaal 8, de derde schil maximaal 18, enzovoort. Hoe verder de schil van de kern ligt, hoe meer elektronen deze kan bevatten (dat is logisch want het oppervlak van de schil is groter).

De elektronen in de buitenste schil worden de **valentie-elektronen** genoemd. De valentie-elektronen bepalen vooral de eigenschappen van een element. Het blijkt dat als een atoom **8 elektronen in zijn buitenste schil** heeft, dit de meest stabiele elektronenverdeling oplevert. Een dergelijke elektronenverdeling heet **edelgasconfiguratie of octetregel**.

Als je het periodiek systeem bekijkt (Binas tabel 99), kun je voor elk element vinden hoeveel elektronen dit element in zijn schillen heeft. Dit is de serie getallen rechtsonder in elk vakje. Bijvoorbeeld bij Li 2,1 bij Mg 2,8,2 en bij F 2,7. We gaan hier verder niet in op het waarom van die opbouw, maar het laatste getal in het vakje van het element geeft het aantal elektronen aan in de buitenste schil van dat atoom. Bij lithium is dat dus 1, bij magnesium 2 en bij fluor 7. De tabel hieronder geeft het aantal elektronen in de buitenste schil van een aantal elementen weer.

Het element lithium heeft dus slechts 1 valentie-elektron, het element magnesium heeft 2 valentie-elektronen en fluor heeft 7 valentie-elektronen. In het periodiek systeem van de elementen staat lithium in groep 1, magnesium in groep 2 en fluor in groep 17. Je ziet in de tabel dat binnen een groep, van boven naar onder, het aantal elektronen in de buitenste schil gelijk is! Van links naar rechts in het periodiek systeem neemt het aantal elektronen in de buitenste schil toe. De edelgassen hebben 8 elektronen in hun buitenste schil en hebben daardoor de meest stabiele elektronenverdeling bereikt. Het kost zeer veel energie om een elektron te verwijderen of toe te voegen aan een edelgas, en daarom gebeurt dat niet spontaan. Dit is de reden dat edelgassen inert zijn. (Overigens: Helium heeft twee elektronen in de buitenste schil. Dit is de schil met $n=1$, en die kan maar twee elektronen bevatten, dus die zit vol bij He. He heeft ook een edelgasconfiguratie).

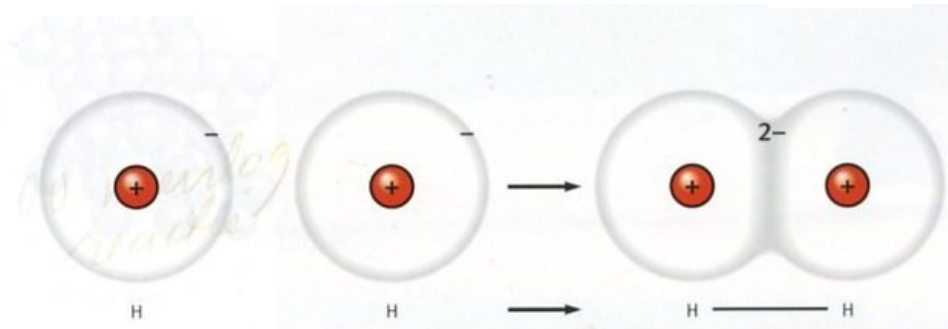
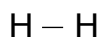
Tabel 1: Aantal elektronen in buitenste schil van een aantal elementen van het periodiek systeem voor groep 1 t/m 18.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
H 1																		He
Li 1	Be 2												B 3	C 4	N 5	O 6	F 7	Ne 8
Na 1	Mg 2												Al 3	Si 4	P 5	S 6	Cl 7	Ar 8r
K 1	Ca 2	Sc 2		Ti 2	V 2	Cr 2	Mn 2	Fe 2	Co 2	Ni 2	Cu 2	Zn 2	Ga 3	Ge 4	As 5	Se 6	Br 7	Kr 8r
Rb 1	Sr 2	Y 2		Zr 2	Nb 2	Mo 2	Tc 2	Ru 2	Rh 2	Pd 2	Ag 2	Cd 2	In 3	Sn 4	Sb 5	Te 6	I 7	Xe 8
Cs 1	Ba 2	La 2		Hf 2	Ta 2	W 2	Re 2	Os 2	Ir 2	Pt 2	Au 2	Hg 2	Tl 3	Pb 4	Bi 5	Po 6	At 7	Rn 8
Fr 1	Ra 2	Ac 2		Rf 2	Db 2	Sg 2	Bh 2	Hs 2	Mt 2	Ds 2	Rg 2							

Met behulp van edelgasconfiguratie kunnen we de elektrovalentie van veel elementen begrijpen. Elementen in groep 1, zoals Na en K hebben 1 elektron in hun buitenste schil. Om edelgasconfiguratie te krijgen, hebben ze twee mogelijkheden: 1 elektron afstaan, of 7 elektronen opnemen. De laatste optie is energetisch veel ongunstiger dan het afstaan van een elektron. Na en K zullen daarom een elektron willen afstaan. Hierdoor wordt hun ionlading $1+$. Zo heeft het natriumion de edelgasconfiguratie van neon, het K-ion dat van Argon. Aan de andere kant van het periodiek systeem, in groep 17 staat bijvoorbeeld Cl. Cl heeft 7 elektronen in zijn buitenste schil. Om de edelgasconfiguratie van Argon te krijgen kan Cl één elektron opnemen, of er 7 afstaan. Ook hiervoor geldt: het afstaan van 7 elektronen is energetisch veel ongunstiger dan er één opnemen. Daarom neemt Cl 1 elektron op en vormt hiermee het Cl^- -ion. Hiermee kunnen we ook begrijpen dat natrium geen Na^{2+} ionen zal vormen en chloor geen Cl^{2-} ionen.

6. Covalentie

Maar hoe zit het met moleculaire stoffen. Als voorbeeld nemen we het eenvoudigste molecuul dat we kennen: waterstof. Het bestaat uit 2 atomen die elk slechts 1 elektron bezitten. Hieronder staat de structuurformule van waterstof. Het bindingstreepje — stelt een gemeenschappelijk elektronenpaar voor. Het gemeenschappelijk elektronenpaar wordt ook wel met twee stippen voorgesteld (: in rechter structuurformule).



Twee atomen waterstof vormen een gemeenschappelijk elektronenpaar dat zich voornamelijk tussen de positief geladen atoomkernen bevindt. Elke waterstofkern heeft op deze wijze 2 elektronen om zich heen en heeft daarmee de edelgasconfiguratie van helium verworven.

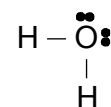
Onthoud:

- een atoombinding is de aantrekkingskracht tussen het gemeenschappelijk elektronenpaar en de positieve atoomkernen.
- **covalentie** is het getal dat aangeeft **hoeveel atoombindingen** een atoom kan vormen.

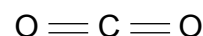
Het element zuurstof heeft 6 valentie-elektronen. Door twee gemeenschappelijke elektronenparen te vormen bereikt ook zuurstof weer edelgasconfiguratie. Vandaar dat zuurstof covalentie 2 heeft. Hiernaast is de structuurformule van water getekend.



Sommige chemici tekenen alle elektronen in de buitenste schil en dan krijg je een structuurformule zoals rechtsonder is afgebeeld: er zijn 2 vrije elektronenparen bij getekend.



Koolstof heeft covalentie 4 en zuurstof heeft covalentie 2. Daarom heeft koolstofdioxide nevenstaande structuurformule: beide zuurstofatomen hebben 2 atoombindingen en het C-atoom heeft 4 atoombindingen!



Opdracht 7:

Kun je met het model van Thomson verklaren *waarom* atomen in een bepaalde verhouding met elkaar reageren? (bijvoorbeeld Fe staat tot S = 2 : 3, of H:O = 2: 1 in H₂O). En met het model van Bohr?

Opdracht 8:

Leg het verschil uit tussen elektrovalentie en covalentie.

Opgave 4:

Schrijf van alle atomen in de volgende moleculen en ionen hun covalentie op. Teken vervolgens de structuurformules van de moleculen en ionen (gebruik - voor een atoombinding).

(3) SO₂

(4) CH₄

(5) HCN

(6) C₂H₆

(7) C₂H₄

7. Radioactiviteit

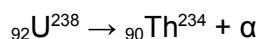
Radioactiviteit is een proces waarbij een instabiele atoomkern energie afstaat in de vorm van straling en/of deeltjes. Dit proces noemen we radioactief verval. Het kan een spontaan proces zijn, dan noemen we het natuurlijke radioactiviteit. Maar radioactief verval kan ook het gevolg zijn van de beschieting van een atoomkern met andere deeltjes, bijvoorbeeld een neutron of een atoomkern.

Bij radioactief verval treedt verandering op van de atoomkern van een element. Zo kan bijvoorbeeld een proton uiteenvallen in een neutron en een elektron. Zoals je al weet wordt het atoomnummer (Z) van een element bepaald door het aantal protonen in de atoomkern van het element, bijvoorbeeld 77 bij Iridium. Als een proton door radioactief verval uiteenvalt in een neutron en een elektron, heeft de nieuwe atoomkern dus één proton minder. In het geval van Iridium betekent het dat Iridium vervalt naar Osmium met 76 protonen in de kern. Radioactief verval is dus essentieel anders dan een chemische reactie, waarbij de atoomkernen niet veranderen maar de atomen anders worden gerangschikt in de moleculen!

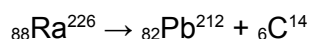
Er zijn heel veel verschillende vervalprocessen waarbij verschillende deeltjes en straling kunnen vrijkomen. Bekende voorbeelden zijn:

- α -deeltjes (He^{2+} kernen), dat wil zeggen een kern met twee protonen en twee neutronen.
- β -deeltjes (elektronen)
- γ straling (hoog-energetische straling)

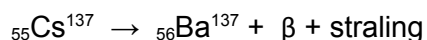
Een voorbeeld van spontaan verval is de splijting van uranium238 in thorium234, onder afstaan van een α -deeltje.



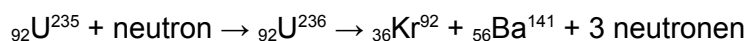
In een aantal gevallen wordt een groter atoom afgesplitst, bijvoorbeeld bij het verval van radon226 tot lood212.



En dan zijn er ook vervalprocessen waarbij elektronen en/of straling vrijkomt:



Kernreactoren maken vaak gebruik van verrijkt uranium waarbij U^{235} wordt beschoten met een neutron:



De vrijgekomen neutronen veroorzaken een kettingreactie, waardoor erg veel energie vrijkomt die gebruikt wordt voor de opwekking van energie.

Opgave 5 Laser zet radioactief afval om

- 1 Onderzoekers van het Rutherford Appleton Laboratory (Engeland) zijn erin
- 2 geslaagd om met een grote laser ongeveer een miljoen atomen van Jood-129 om te
- 3 zetten in jood-128. Jood-129 is een van de radioactieve atoomsoorten die ontstaan
- 4 bij het verbranden van uranium in een kernreactor.
- 5 Het voordeel van de omzetting van jood-129 in jood-128 is de veel kortere
- 6 halveringstijd van jood-128: al na 25 minuten heeft de helft van de jood-128 atomen
- 7 z'n radioactiviteit verloren, terwijl dit bij jood-129 maar liefst 15,7 miljoen jaar duurt.

naar: Technisch Weekblad

- 2p 1 ☐ Hoeveel protonen en hoeveel elektronen bevat een atoom jood-129? Noteer je antwoord als volgt: aantal protonen: ... aantal elektronen: ...

De onderzoekers zijn erin geslaagd om met een laser één soort deeltjes uit jood-129 atomen te verwijderen.

- 2p 2 ☐ Leg uit welk soort deeltjes werd verwijderd.

Volgens de regels 3 en 4 ontstaat jood-129 bij het „verbranden van uranium”.

- 1p 3 ☐ Leg uit dat jood-129 geen verbrandingsproduct van uranium kan zijn.

Opgave 6 Element 115

Levensteken van superzware kernen

Russische en Amerikaanse onderzoekers denken het bestaan aangetoond te hebben van twee nog onbekende superzware kunstmatige elementen met de atoomnummers 113 en 115. Met een cyclotron in het Russische kernfysicacentrum JINR schoten Joeri Oganessian en zijn collega's kernen van calcium met massagetal 48 op americium (Am) met massagetal 243. Tijdens een maand intensief kernenschieten deden ze welgeteld drie keer een waarneming die wees op het ontstaan van kernen van het (nieuwe) element 115 met 173 neutronen in de kern. De gevormde kernen vielen al na enkele tientallen microseconden uit elkaar onder uitzending van een alfadeeltje (heliumkern). Daarbij ontstond steeds een kern van een ander nieuw element: element 113. Element 113 bleef maar liefst 1,2 seconde stabiel alvorens verder te vervallen.

naar: de Volkskrant

Uit tekstfragment I kan worden afgeleid dat bij de beschreven vorming van kernen van het element 115 geen protonen maar wel neutronen vrijkomen.

- 2p 1 ☐ Leid af dat een kern van het gebruikte calcium en een kern van het gebruikte americium samen 115 protonen bevatten.
- 2p 2 ☐ Leid af hoeveel neutronen vrijkomen bij de beschreven vorming van één atoomkern van element 115.
- 1p 3 ☐ Geef de lading van een alfadeeltje (heliumkern).

BIJLAGE 3: Module Nobelprijs VWO deel 1 - leerlingentekst

NOBELPRIJS SCHEIKUNDE

Wie wint de Nobelprijs voor zijn bijdrage aan de kennis van het atoommodel?



DEN NORSKE
NOBELKOMITE
*The Norwegian
Nobel Committee*



Prize Awarder for the Nobel Prize in Chemistry

The Royal Swedish Academy of Sciences is responsible for the selection of the Nobel Laureates in Chemistry. The Academy has 350 Swedish and 164 foreign members. Membership in the Academy constitutes exclusive recognition of successful research achievements. The Academy appoints members of the Nobel Committee, the working body, for a three-year term.

Module NOBELPRIJS 1^e deel leerlingentekst VWO

Leerlingtekst

Het Nobelprijs comité kent prijzen toe aan mensen die een belangrijke bijdrage aan de wetenschap hebben geleverd. Dat gebeurt door de Zweedse Koninklijke academie van wetenschappen. Hierin zitten mensen met een enorme reputatie op het gebied van wetenschappelijk onderzoek. Behalve voor scheikunde worden ook Nobelprijzen uitgereikt voor natuurkunde, economie, geneeskunde, literatuur en vrede.

Deel 1: Wie verdient een Nobelprijs naar aanleiding van het atoommodel?

Al in de Griekse oudheid werd nagedacht over de bouw van de materie. Bekende namen uit die tijd zijn Empedocles en Democritus. Zij hadden tegengestelde denkbeelden over de bouw van de materie. Pas in de 18^e eeuw levert Dalton een verdere bijdrage aan de bouw van de materie met de introductie van zijn atoommodel dat je in klas 3 al bent tegengekomen. Hij beschouwde atomen als ondeelbare harde bolletjes. Daarna wordt de opbouw van een atoom steeds verder ontrafeld. Mensen die daar een belangrijke bijdrage aan geleverd hebben zijn in willekeurige volgorde Rutherford, Chadwick, Bohr en Thomson. Richting de huidige quantummechanische opbouw zijn er ook weer meerdere mensen, zoals De Broglie, Heisenberg en Schrödinger die een bijdrage geleverd hebben. Van velen van hen is het belang van hun bijdrage niet altijd even duidelijk omdat de ontwikkeling van het atoommodel steeds in hele kleine stapjes is gegaan. Daarnaast heeft men over en weer gebruik gemaakt van elkaars conclusies.

Alhoewel het atoommodel een basis vormt voor zowel de hedendaagse scheikunde en natuurkunde, is er nog geen Nobelprijs uitgereikt voor het atoommodel. Dit heeft er zeker mee te maken dat de voorstelling van de bouw een atoom, in de loop van de jaren sterk is aangepast. Verschillende geleerden uit verschillende tijden hebben een bijdrage geleverd aan het atoommodel.

Opdracht

Jullie opdracht voor deze module is de volgende:

Je mag per groep een 1^e en 2^e keus aangeven uit onderstaande wetenschappers. Vervolgens krijg je per groep krijg je een wetenschapper of duo van wetenschappers toegewezen. Schrijf een voordracht voor het Nobelprijs comité, waarin je één van de genoemde (duo's van) wetenschappers aanbeveelt voor de Nobelprijs voor de chemie. De wetenschapper moeten de prijs krijgen voor hun bijdrage aan de kennis over het atoommodel.

Democritus/ Dalton

- Thomson
- Rutherford/Chadwick
- Bohr
- Schrödinger

Je moet in ieder geval de volgende aspecten opzoeken:

- Levensloop (kort)
- Wat was hun voorkennis
- Wat was hun bijdrage aan de kennis over het atoommodel (belangrijkste punt)
- Wat was het moment van hun bijdrage
- Met wie hebben ze samengewerkt
- Wat is het verband met de anderen
- Wat is naar hem vernoemd? (eenheden en elementen)

Op basis van de bovenstaande aspecten schrijf je een pleidooi voor het Nobelprijsc comité, waarin je aangeeft waarom juist jullie wetenschapper/duo de Nobelprijs moet krijgen. Je maakt bovendien een poster waarin je jullie kandidaat aanbeveelt.

Er wordt een Nobelprijsc comité samengesteld. Het comité bestaat uit de docent, de TOA en voor elke wetenschapper een leerling uit elk van de andere groepjes.

Elke groep krijgt 5 minuten (dit is all in) om hun kandidaat aan te prijzen aan de hand van poster die is gemaakt. Vervolgens wordt de Nobelprijswinnaar gekozen door het comité. Nadat je je aanprijzing hebt gehad, deel je je pleidooi uit aan je medeleerlingen zodat deze nog eens kunnen nalezen welke belangrijke zaken deze wetenschapper/duo voor het voetlicht heeft gebracht. Verder reik je het pleidooi op papier uit aan je medeleerlingen. De pleidooien worden verzameld.

Beoordeling: poster 30% en pleidooi: 30%

Bronnen

Informatie over de wetenschappers kun je onder andere vinden in:

- Wikipedia, <http://nl.wikipedia.org/wiki> of <http://en.wikipedia.org/wiki>
- <http://proto5.thinkquest.nl/~lle0111/dutch/Wetenschappers/Bekende-theorie%C3%ABn/Atoomtheorie> (o.a. Rutherford, Thomson)
- http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/

Algemeen over atoommodellen

- <http://www.refdag.nl/oud/weet/001024weet03.html?PHPSESSID=a6a0ef0eece25e5938aad3b67829b9fa> (gaat in op ontwikkeling atoommodel, en op wetenschappers)
- http://home.tiscali.nl/jnldejong/Bestanden_4_vwo/Thomson.htm (historisch overzicht ontwikkeling atoommodellen)

Rutherford:

- <http://www.christophedejaegher.be/studenten/fysica/rutherford.pdf>
- <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/rutherford/index.html> (doe zijn experiment zelf)

Deel 2 Henry Moseley

Henry Moseley was een Engelse wetenschapper. Hij werkte onder andere in het laboratorium van Rutherford in Manchester. In 1914 zou hij vertrekken naar Oxford, om daar zelf een laboratorium op te zetten. In plaats daarvan nam hij dienst in het leger en werd in 1915 in Italië op 27 jarige leeftijd door een sluipschutter gedood. Sinds die tijd schijnt de Engelse regering briljante wetenschappers niet meer in actieve dienst in te zetten. Moseley heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van het atoommodel.

Zoals jullie inmiddels weten bestaat een atoom uit een kern, met daaromheen elektronen die gerangschikt zijn in schillen, de K, L, M schil enz. Moseley heeft experimenten gedaan, waarbij hij röntgenstraling liet vallen op elementen. Door de energie van de röntgenstraling kunnen onder andere elektronen uit de K-schil verwijderd worden. Doordat er een gat ontstaat, vallen nu elektronen uit de hoger gelegen schillen (bijvoorbeeld de L-schil) naar de K-schil terug. Hierbij zenden ze weer röntgenstraling uit. Moseley heeft de frequentie van deze straling gemeten. Deze bleek evenredig te zijn met een geheel getal, specifiek voor het element. Dit getal werd het atoomnummer genoemd en was specifiek voor het element. Al gauw werd duidelijk dat dit getal met de lading van de kern geassocieerd kon worden. Het was gelijk aan het aantal protonen in de kern.

Op basis van deze theorie kon Moseley voorspellen dat er in het periodiek systeem nog gaten waren. Zo voorspelde hij de elementen technetium en prometium. Ook de elementen met atoomnummer 72 en 75, hafnium en rhenium waren nog niet bekend. Doordat nu aan de elementen atoomnummers konden worden toegekend werd ook het periodiek systeem van Mendeleev beter aanvaard. Eigenlijk had Moseley de Nobelprijs moeten krijgen. Dat leek ook te gaan gebeuren, maar de Nobelprijs wordt alleen aan levende personen uitgereikt.

Deze opdracht gaat verder over het periodiek systeem van Mendeleev.

Je krijgt een aantal vragen over het periodiek systeem, die beantwoord moeten worden. Daarvoor kun je verschillende bronnen gebruiken, zoals: je boek, het internet (Wikipedia), Encarta of het filmpje 'The Periodic Table' van Science Topics. (in het engels op <http://www.youtube.com/watch?v=VkJOEer3Too> (deel 1) en <http://www.youtube.com/watch?v=TSI25nSECHA> (deel 2).)

Opdrachten voor ieder groepje, plaats de antwoorden weer in de werkplaats van je groep in de map Nobelprijs:

- 9) Op grond waarvan kon Mendeleev zijn periodiek systeem indelen?
- 10) Hoe heten de elementen in groep 1, 2, 16, 17 en 18?

Kies in overleg met de docent, één van de volgende groepen van het periodiek systeem: 1, 2, 16, 17 of 18.

- 11) Beschrijf de elementen in jullie groep. Neem daarbij de volgende aspecten op in jullie beschrijving: aggregatietoestand bij kamertemperatuur, soort reacties, geleidbaarheid, elektronenverdeling, etc.

Beoordeling: Beantwoording vragen 1 t/m 3 30%,

De lesplanning voor deze module is als volgt:

Les	In les	huiswerk
1. introductie + planning	Introductie, koppels per wetenschapper	Opzoeken wetenschapper
2 . verwerking	Poster/handout afmaken per wetenschapper (4 personen) Groepen rond dezelfde wetenschapper komen samen en maken een poster + pleidooi Samenstellen Nobelprijscomit�	Toelichting maken bij het werk van de wetenschapper. De poster moet er goed uitzien voor een goede score!! Hard werken dus.
3.pleidooien	Elke groep houdt zijn pleidooi aan de hand van de poster. Pleidooien, worden aan de medeleerlingen uitgedeeld	
4. verdieping	Deel 2 stencil wordt uitgereikt Atoommodel van Dalton Atoommodel van Rutherford	Vragen maken
5. verdieping	Atoommodel van Bohr Atoommodel van Schr�dinger	Maken opgaven.
6. verdieping	Atoombinding, covalentie, elektronenformules	Maken opgaven.
7. verdieping		Oefenen oude eindexamenopgaven

BIJLAGE 4: Module Nobelprijs VWO deel 2 – atoommodellen

NOBELPRIJS SCHEIKUNDE

Atoommodellen



Module NOBELPRIJS 2^e deel leerlingentekst VWO

1. Atoommodel van Democritus en Dalton: atomen als ondeelbare deeltjes

In het oude Griekenland speculeerden filosofen al over atomen. Eén van de grootste vragen was of materie eindeloos deelbaar was in kleinere deeltjes of niet. Bekende filosofen als Plato dachten van wel, Democritus was het daar niet mee eens.

Democritus stelde dat er oneindig veel atomen zijn die verschillen in eigenschappen zoals grootte, vorm en massa. Atomen in materie hadden verschillende vormen en posities, waardoor de grote verscheidenheid van materie in de natuur verklaard kon worden. Atomen konden niet vernietigd worden. De naam atoom die door Democritus is bedacht komt van het Griekse *atomos*, dat ondeelbaar betekent.

Vanaf de 17^e eeuw begon de wetenschap zich te ontwikkelen van alchemie naar chemie. Er werd van alles onderzocht, men begon verklaringen te bedenken voor de verschijnselen die men zag.

Rond 1800 waren er in Engeland nogal wat mensen die graag scheikundeproefjes uitvoerden. Voor de spullen die ze nodig hadden konden ze terecht bij John Dalton, zelf ook chemie-enthousiast.

Veel van Daltons klanten waren niet precies. Ze kochten allerlei spullen, mengden die en hoopten dan dat er iets leuks zou gebeuren. Maar anderen waren zorgvuldiger. Zij wisten dat stoffen in vaste massaverhoudingen met elkaar reageerden. Zij kwamen bij Dalton aan met heel nauwkeurige boodschappenlijstjes waarop ze precies aangaven hoeveel ze van elke stof nodig hadden. Dalton moest dan alles precies afwegen en dat kostte hem veel tijd.



Daarom brak Dalton zich het hoofd over een handiger systeem. Hij probeerde zich voor te stellen wat er zou gebeuren als je alle maatschepjes steeds kleiner zou maken. Als je de hoeveelheid stof in elke maatschep steeds weer opnieuw zou halveren, waar zou je dan eindigen? Volgens Dalton zou in die steeds kleinere maatschepjes tenslotte nog maar één klein deeltje zitten dat niet meer gedeeld kan worden. Hij noemde dat een atoom, afgeleid van het Griekse woord *a-tomos* dat niet-snijdbaar betekent. Elk element zou volgens Dalton zijn eigen type atoom hebben. De atoomtheorie was geboren.

De erfenis van Dalton is nog veel groter. Dalton dacht veel na over de boodschappenlijstjes en vroeg zich met name af waarom de verhouding tussen de aantallen maatschepjes van de ene en die van de andere stof altijd erg eenvoudig was. Vaak 1 op 1 (de verhouding die Dalton het liefst zag) of 2 op 1, of soms 2 op 3, maar altijd waren het mooie eenvoudige getallen. Daar moest iets eenvoudigs achter zitten!

John Dalton stelde dat er verschillende soorten stoffen zijn. Sommige stoffen bestaan uit één atoom (die noemen we nu *atomaire stoffen*). Andere stoffen bestaan uit meerdere atomen van hetzelfde soort (bv N_2 of O_2). En er zijn stoffen die bestaan uit meerdere aan elkaar gebonden atomen van verschillende atoomsoorten (bv SO_2 of C_2H_5OH).

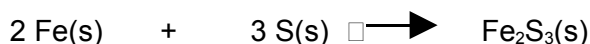
Stoffen die bestaan uit minimaal 2 atomen die aan elkaar vastzitten zijn noemen we moleculen. Zoals boven beschreven had Dalton al gevonden dat de verhouding van verschillende atomen binnen moleculen altijd mooie eenvoudige getallen waren: 1 op 1, of 1 op 2, of 2 op 3.

De bijdrage van John Dalton aan de wetenschap is zijn molecuultheorie. Hij veronderstelde dat moleculen uit nog kleinere deeltjes bestaan: de atomen. Er zijn ongeveer 100 soorten atomen. De atoomtheorie van Dalton heb je in klas 3 geleerd:

8. Een molecuul is opgebouwd uit nog kleinere deeltjes: de atomen
9. Atomen zijn onvernietigbaar
10. Alle atomen van één soort zijn altijd helemaal aan elkaar gelijk
11. Atomen van verschillende atoomsoorten kunnen met elkaar gecombineerd worden tot moleculen.
12. Een chemische reactie is een hergroepering van atomen tot nieuwe moleculen.

Dankzij de atoomtheorie van Dalton werden formules aan stoffen toegekend en heb je in klas 3 geleerd dat je een chemische reactie kunt voorstellen met een kloppende reactievergelijking. Immers, een chemische reactie is een hergroepering van atomen tot nieuwe moleculen en atomen zijn niet te vernietigen.

Met Daltons theorie kun je beschrijven wat er gebeurt wanneer grijs ijzerpoeder met geel zwavelpoeder verandert tot een andere zwarte vaste stof. We geven de reactie tussen ijzerpoeder en zwavelpoeder als volgt weer (let op de vaste atoomverhoudingen):



ELEMENTS					
	Hydrogen	1		Strontian	46
	Azote	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	50
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	20		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

Een andere verdienste van Dalton was dat hij een tabel heeft opgesteld met de massa van elk atoom ten opzichte van het waterstofatoom. Na een tijdje experimenteren kwam hij op het verstandige idee om uit te gaan van het lichtste element en daarbij een maatschap te nemen die precies één gram waterstof kon scheppen.

De figuur hiernaast laat de lijst zien die Dalton in 1803 opstelde. Waterstof (Hydrogen in het Engels) is het lichtste element kreeg dus een maatschap van 1 gram. Dalton gebruikte nog geen letters voor de elementen zoals wij gewend zijn (H voor waterstof, N voor stikstof) maar cirkelsymbolen. Als je de getallen vergelijkt met die van de atoommassa's uit Binas dan zul je zien dat de nauwkeurigheid van de tabel van Dalton beter kan.

Opdracht 1:

- Wat is een element in de scheikunde?
- Wat is het verschil tussen een ontleedbare en een niet-ontleedbare stof?
- Leg uit waarom we volgens Dalton een reactievergelijking kloppend moeten maken.

Opdracht 2:

Rond 1860 werd ontdekt dat als materie wordt verhit in hoog vacuüm, deze materie straling van negatief geladen deeltjes uitzendt. Dit is de zogenaamde kathodestraling. Kun je met het atoommodel van Dalton verklaren dat materie straling uit kan zenden? Waarom wel/niet?

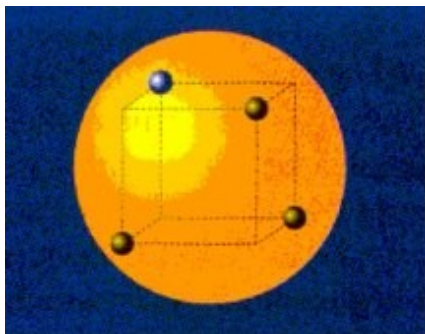
2. Atoommodel van Thomson

Rond 1860 werd ontdekt dat als materie wordt verhit in hoog vacuüm, deze materie straling uitzendt (zie opdracht 2). Dit is de zogenaamde kathodestraling. Sir J.J. Thomson wilde weten of deze straling bestond uit golven zoals licht, of dat het bestond uit deeltjes.

Hij deed experimenten en ontdekte dat kathodestraling bestond uit zeer kleine negatief geladen deeltjes. Hij vond bij elk experiment dezelfde deeltjes (dus bij het verhitten van elk metaal, en bij elk gas in de vacuümbuis). Daarom concludeerde hij dat deze negatief geladen deeltjes wel onderdeel moesten zijn van elk atoom. Het negatief geladen deeltje werd elektron genoemd.

Omdat het atoom als geheel elektrisch neutraal is, moet er op één of andere manier ook wel positieve lading aanwezig zijn. Volgens Thomson was deze positieve lading egaal verdeeld over het gehele atoom. Hierbij zijn elektronen dusdanig geordend, dat ze zover mogelijk van elkaar verwijderd zijn. Waardoor de positieve lading werd veroorzaakt wist Thomson overigens nog niet, dus zijn hypothese was erg gewaagd.

Zie Figuur 1 voor het atoommodel van Thomson. Zijn model wordt ook wel het krentenbolmodel of plumpuddingmodel genoemd. Deze naam geven ze er aan omdat de elektronen 'als krenten in de pudding' aanwezig zijn. Dit atoommodel stelt dat de elektronen verdeeld zijn in een 'zee' van positieve lading. Het is een ruimtevullend model.



Figuur 1. Het krentenbolmodel, de elektronen zijn als zwarte bolletjes weergegeven, de positieve tegenlading als gele bol. In de (tetraëdrische) rangschikking zoals in het model beschreven. Op die manier zijn de elektronen zover mogelijk van elkaar verwijderd!

Opdracht 3:

- Leg uit waarom in het krentenbolmodel van Thomson de elektronen zover mogelijk van elkaar verwijderd zijn.
- Thomson koppelde negatieve lading aan deeltjes (de elektronen). Is in zijn model de positieve lading ook gekoppeld aan deeltjes?
- Hoe is in het model van Thomson de positieve lading over het atoom verdeeld?

3. Atoommodel van Rutherford/Chadwick

Ondertussen waren stoffen ontdekt die geheimzinnige straling afgaven. Straling die in staat was nog ingepakte fotografische platen te belichten. Deze straling, later radioactiviteit genoemd, wekte de interesse van Rutherford. Hij schoot alfa-deeltjes op allerlei vaste stoffen, zoals metaalfolie, om erachter te komen wat alfa-deeltjes voor structuur hadden. In 1909 kwamen Ernest Rutherford en Thomas Royds tot de ontdekking dat alfadeeltjes eigenlijk heliumkernen zijn. Uit andere experimenten bleek dat alfa-deeltjes positief geladen waren, en veel zwaarder waren dan de elektronen die door Thomson ontdekt waren.

Rutherford liet door een spleet α -deeltjes op een dun folie van goud vallen, zie Figuur 2. Hij plaatste een fluorescerend scherm rondom het folie om te bepalen waar de α -deeltjes terecht kwamen, en om vast te stellen hoe de alfa-deeltjes verstrooid werden.

Hoewel de meeste deeltjes in een rechte lijn door het folie gaan, werden enkele deeltjes afgebogen of kwamen zelfs helemaal terug. Rutherford was hierover zeer verbaasd: *'It was quite the most incredible event that has ever happened to me in my life. It was almost as incredible as if you fired a fifteen-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you.'*

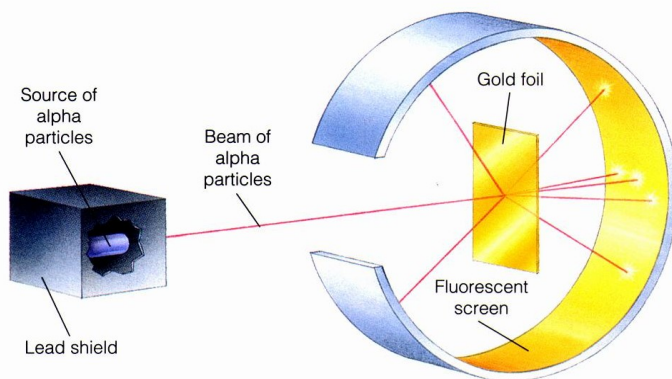
Opdracht 4:

Volgens het krentenbolmodel van Thomson hadden de α -deeltjes gewoon rechtdoor moeten gaan. Leg uit aan de hand van het model van Thomson waarom het onverwacht is dat α -deeltjes worden *afgebogen* wanneer zij door metaalfolie heen gaan.

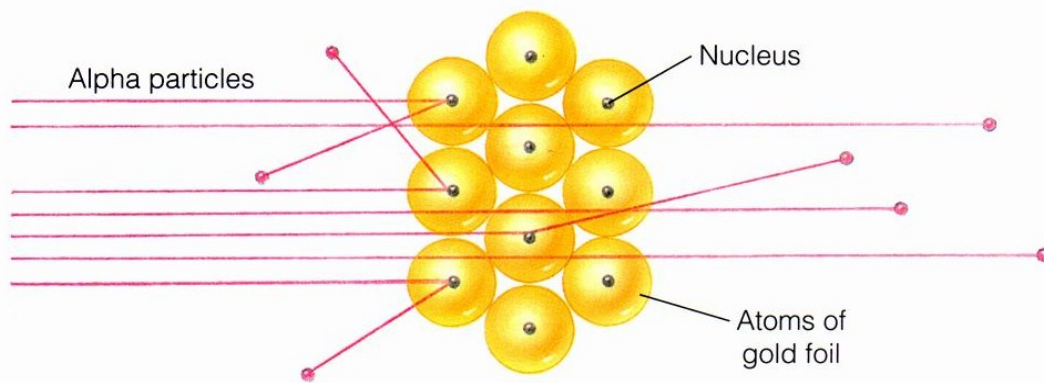
Opdracht 5:

We bekijken klassikaal de animatie van het experiment van Rutherford. Schrijf in eigen woorden op waarom de meeste alfa-deeltjes recht door het goud-folie gaan, en enkele worden afgebogen of zelfs geheel terugkomen.

Rutherford vroeg zich vervolgens af of alfa-deeltjes worden teruggekaatst door iets massiefs (vergelijk de botsing van twee biljartballen), of dat de deeltjes werden afgebogen door elektrostatische afstoting. Dat bleek afbuiging te zijn. Hij nam daarbij aan dat de elektronen zo klein zijn dat die geen invloed hebben op de afbuiging van de alfa-deeltjes.



Figuur 2: Rutherford's experiment waarbij hij alfa-deeltjes afschoot op goudfolie en bekeek waar de deeltjes terecht kwamen



Figuur 3: Verstrooiing van alfa-deeltjes door goudfolie.

Naar aanleiding van zijn experimenten concludeerde Rutherford dat:

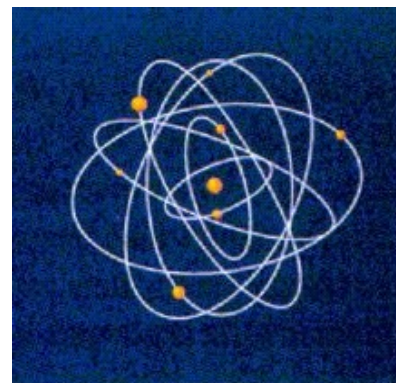
- het atoom voor het grootste deel bestaat uit lege ruimte
- het atoom een hele kleine massieve kern bevat
- die kern positief geladen is

Zijn atoommodel ziet er als volgt uit: Een atoom bestaat uit een kleine massieve kern die alle positieve lading bevat en een negatief geladen elektronenwolk op grote afstand van de kern. Elektronen cirkelen in banen rond de kern. Men gebruikt hiervoor wel de volgende vergelijking: de kern als een knikker, dan zit de elektronenwolk de hoogte van Eiffeltoren verderop (300 meter!). Thomson noemde de deeltjes in de kern met positieve lading: *protonen*. Protonen zijn veel zwaarder dan elektronen.

Een aantal jaren later ontdekte James Chadwick het *neutron*: een ongeladen deeltje in de kern, dat ongeveer even zwaar is als een proton. Hiermee was de opbouw van de atoomkern ontrafeld: een atoomkern bestaat uit protonen én neutronen.

Bij het atoommodel van Rutherford/Chadwick moet je de volgende begrippen kennen:

- Het atoomnummer (Z) geeft het aantal protonen aan in een atoom. Z is ook gelijk aan het aantal elektronen van het atoom.
- Het atoomnummer Z bepaalt over welk element je het hebt.
- Het aantal neutronen in de kern is N. De verhouding N:Z neemt langzaam toe met oplopend atoomnummer Z.
- De massa van het atoom wordt bepaald door de kern (protonen en neutronen)
- Het massagetal is de som van het aantal neutronen en protonen = $N + Z$. (de elektronen hebben zo'n kleine massa, die mogen we verwaarlozen)
- Protonen en neutronen mogen wij als even zwaar beschouwen
- Protonen hebben een lading van $1+$
- Neutronen zijn ongeladen
- Elektronen hebben een lading van $1-$
- Sommige atomen hebben hetzelfde massagetal, maar een verschillend aantal neutronen. Dergelijke atomen worden isotopen genoemd.



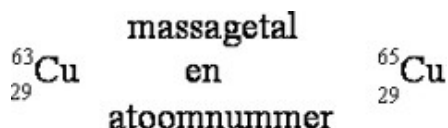
Figuur 4: 3-dimensionaal atoommodel van Rutherford.

Notatie

De atoomsoort chloor wordt ook wel als volgt weergegeven: $^{35}_{17}\text{Cl}$. Het getal linksboven is het massagetal, het getal linksonder het atoomnummer.

Isotopen

Een mooi voorbeeld van een isotoop is koper. Het symbool van het atoom koper is Cu. Van dit atoom komen in de natuur 2 isotopen voor, te weten:



Linksboven het symbool staat het massagetal en linksonder van het symbool staat het atoomnummer. In Binas tabel 25 kun je de exacte atoommassa van de betreffende isotopen vinden. Als je goed kijkt in Binas tabel 25, dan zul je zien dat het linker isotoop 69,1% voorkomt in de natuur en het rechter isotoop 30,9%. Voor de goede orde, als eenheid gebruiken ze in deze tabel de atomaire massa-eenheid (u) i.p.v. de kilogram (kg). De atomaire massa-eenheid is ook te vinden in Binas tabel 7.

Echter, als je in Binas tabel 99 kijkt, dan vind je voor de atoommassa van Cu 63,55 u, waardoor is de atoommassa niet een geheel getal?

Stel je hebt 1000 koperatomen. Dan zijn er 691 met een massa van 62,93 u en 309 met een massa van 64,93 u. Opgeteld levert dat een massa van $4348,46 + 2006,34 = 6355$ u. Gemiddeld is dat dus, inderdaad, 63,55 u. We noemen deze atoommassa de relatieve atoommassa. In Binas tabel 99 worden de zogenaamde **relatieve gemiddelde atoommassa's** weergegeven.

Opgave 1

- Beschrijf de bouw van een chlooratoom met massa 37
- Beschrijf de bouw van het Sb-121 atoom.
- Beschrijf de bouw van het $^{88}_{38}\text{Sr}$

Opgave 2

Wat veroorzaakt het verschil in atoombouw tussen de volgende twee isotopen: Ir-191 en Ir-193?

Opgave 3

- Hoeveel protonen komen voor in een chloor molecuul?
- Hoeveel elektronen komen voor in een chloor molecuul?

Opgave 4

Bereken het aantal elektronen in een ammoniumion: NH_4^+

4. Atoommodel van Bohr

De Deense natuurkundige Niels Bohr bestudeerde zogenaamde emissiespectra van atomen. Hij gaf atomen een flinke energie-injectie. De elektronen in het atoom komen daardoor verder van de kern af te zitten. Verder van de kern is echter geen stabiele situatie: de elektronen vallen weer terug naar hun oude plek. Als ze weer terug gaan naar hun oorspronkelijke plek, geven ze hun overtollige energie af in de vorm van licht van een bepaalde golflengte. Elk atoomsoort bleek maar een beperkt aantal golflengtes uit te zenden.

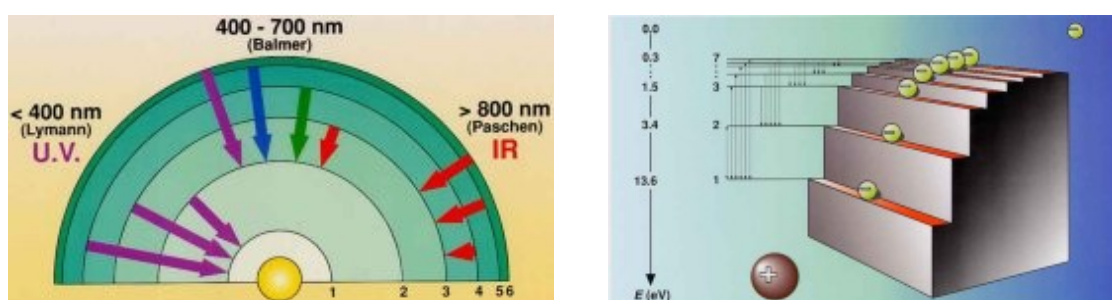
Op basis van het model van Rutherford verwachtte Bohr dat de negatief geladen elektronen zouden worden aangetrokken door de positieve kern, en langzaam naar de kern toe zouden cirkelen. Daarbij zou dan energie vrij moeten komen in de vorm van straling. Echter, die straling moest een heel spectrum van golflengtes hebben, en dat was nog nooit gemeten: straling uit materie kwam alleen voor in specifieke golflengten, zie ook figuur 5.

Bohr concludeerde dat elektronen niet zomaar overal om de kern heen kunnen cirkelen. Zijn atoommodel stelt dat elektronen bewegen in cirkelvormige schillen op bepaalde afstand van de kern. Het betreffen echter wel speciale schillen. Deze schillen worden gekarakteriseerd met een waarde n . Hierbij geldt dat $n = 1, 2, 3, \dots$. De schil met $n = 1$ is de schil die het dichtst bij de kern is. Afhankelijk van de straal van de schil, heeft iedere schil een speciale hoeveelheid energie E .

Het model van Bohr wordt ondersteund door atoomemissiespectra van waterstof die in de jaren voor Bohr waren gemeten (maar waar Bohr toen niet vanaf wist). Atomen laten namelijk een lijnenspectrum zien, waarbij uit kan worden opgemerkt dat atomen slechts licht uitzenden bij bepaalde frequenties! Zie figuur 5 voor een mooi voorbeeld.

Met het atoommodel van Bohr doet de kwantummechanica zijn intrede in de natuurwetenschap. Energie in de vorm van pakketjes met een bepaalde inhoud. Elke schil kan een maximum aantal elektronen bevatten, dat wordt weergegeven door de formule:

$$\text{Aantal elektronen} = 2n^2. \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$$



Figuur 5: Links, de getallen op de x-as stellen de waarden voor n voor. Kijk goed naar welke schil een elektron terugvalt. Bij het terugvallen wordt licht uitgezonden met een bepaalde frequentie. Er wordt geen licht uitgezonden dat alle frequenties heeft!. Rechts, voor een aantal schillen wordt de absolute energie weergegeven.

5. Atoommodel van Erwin Schrödinger

Ook het model van Bohr was niet perfect. Het bleek dat alleen de lijnspectra van waterstof door zijn model beschreven konden worden, bij grotere atomen lukte dat niet goed. Hedendaags wordt er in de wetenschap gewerkt met een ander atoommodel. Het betreft het model van de Oostenrijker Erwin Schrödinger (1887-1961).

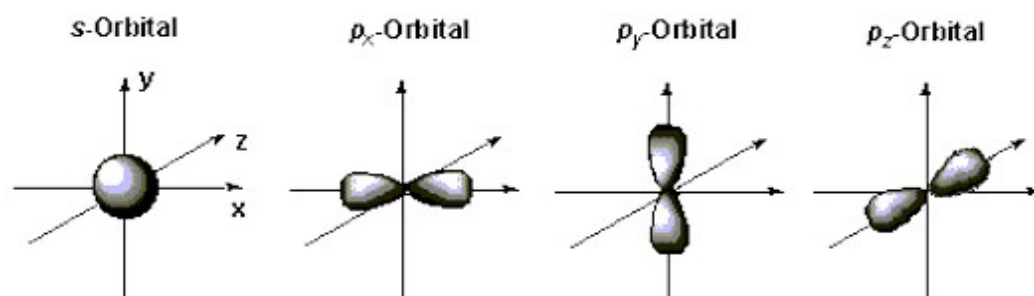
In zijn model bewegen elektronen niet in cirkelvormige banen om een kern, maar Schrödinger spreekt van gebieden waar elektronen om de kern met een bepaalde waarschijnlijkheid voorkomen. Deze waarschijnlijkheidsgebieden heten orbitalen en worden mathematisch beschreven met de Schrödinger-vergelijking. Hieronder worden enkele orbitalen afgebeeld, dit hoef je niet te leren en is puur bedoeld ter informatie.



Enkele voorbeelden van orbitalen worden in Figuur 6 weergegeven. Belangrijk is echter dat er naast schillen ook subshellen bestaan. Deze subshellen zijn feitelijk de s, p, d en f orbitalen. Per schil komen 1 of meer orbitalen voor. Tevens krijgt elke schil ook een getal. Dat getal is het nummer van de periode (= rij) in het periodiek systeem van de elementen. Zie onderstaande tabel voor een overzichtelijke weergave.

In elke subshell (orbitaal) kunnen zich maximaal 2 elektronen bevinden. Waarom bevinden zich in een p-orbitaal dan 6 elektronen? Een p-orbitaal is weer onderverdeeld in 3 aparte orbitalen (x, y en z), zoals weergegeven in Figuur 6.

Schil / n	Orbitalen	Totaal aantal elektronen
K / 1	s	2
L / 2	s + p	2 + 6 = 8
M / 3	s + p + d	2 + 6 + 10 = 18
N / 4	s + p + d + f	2 + 6 + 10 + 14 = 32

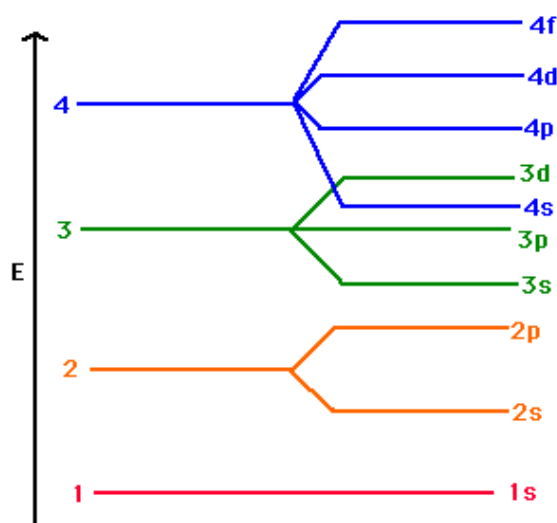


Figuur 6. Ruimtelijke voorstelling van verschillende orbitalen

Hoe worden de orbitalen opgevuld?

De opvulling van de orbitalen geschiedt op basis van het Aufbau-principe. Dit principe zal hier niet helemaal worden uitgelegd. Het betekent echter wel, dat er bij de opvulling van orbitalen met elektronen wordt uitgegaan van het principe van minimale energie. Zie Figuur 7 voor een overzichtelijke weergave hiervan. Voor de goede orde, met 2s wordt bedoeld het s-orbitaal van de L-schil ($n=2$), 3p is de p-orbitaal van de M-schil ($n=3$). Een s-orbitaal kan 2 elektronen bevatten, een p-orbitaal 6, en een d-orbitaal 10. Elke schil bevat in totaal $2n^2$ elektronen (met n = het nummer van de schil).

Schillen worden van onder naar boven ingevuld. Dat wil zeggen dat de 4s schil wordt gevuld vóór de 3d schil. Dit heeft te maken met de energieniveaus van de schillen, we zullen hier verder niet op in gaan.



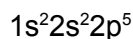
Figuur
van de opvulling van orbitalen

7. Schematische weergave

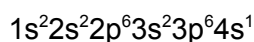
Nu bekend is hoe de orbitalen in een atoom moeten worden opgevuld, kunnen we dat voor bijvoorbeeld een fluoratoom, een kalium-atoom en (zoals beloofd) een α -deeltje uitvoeren. Men noemt dit ook wel het opstellen van de elektronenconfiguratie of elektronenstructuur of elektronenverdeling.

Voorbeeld:

- F heeft atoomnummer 9. Het heeft dus 9 elektronen om zijn kern heen. De elektronenconfiguratie ziet er dan als volgt uit:



- K heeft atoomnummer 19. Het heeft dus 19 elektronen om zijn kern heen. In tabel 99 Binas zie je dat Kalium in de 4^e periode staat en dus in 4 schillen elektronen heeft. Links in de rij staat 2,8, hetgeen betekent dat kalium de 1^e en de 2^e schil geheel gevuld heeft, dus $1s^2$, $2s^2 2p^6$. In het vierkantje van Kalium staat nog 8,1. Dat betekent dat kalium in de 3^e schil 8 elektronen heeft en in de 4^e schil slechts 1. De elektronenconfiguratie van kalium ziet er dan als volgt uit:



- Een α -deeltje is een helium-ion met als lading $2+$ en massagetal 4 (He^{2+}). Zijn atoomnummer is 2, in een heliumatoom bevinden zich dus 2 elektronen. Echter, een α -deeltje heeft als lading $2+$, het is dus feitelijk een heliumatoom dat 2 elektronen heeft afgestaan. $2 - 2 = 0$ elektronen. Er valt dus geen elektronenconfiguratie voor een α -deeltje op te stellen.

Opdracht 6:

Geef in je eigen woorden weer waarin het atoommodel van Schrödinger een verfijning is van dat van Bohr

Opgave 5

Geef de elektronenverdeling over de schillen en subschillen van:

- a) Neon
- b) Argon
- c) Xenon
- d) Vanadium
- e) Actinium
- f) Jood
- g) Uranium

Opgave 6

Geef de elektronenverdeling over de schillen en subschillen van:

- a) Chloor
- b) Het chloride-ion Cl^-
- c) zwavel
- d) het sulfide ion S^{2-}
- e) natrium
- f) het natriumion Na^+
- g) calcium
- h) het calciumion
- i) het vanadium(II)ion V^{2+}

6. Electrovalentie

De **elektronen in de buitenste schil** worden de **valentie-elektronen** genoemd. De valentie-elektronen bepalen vooral de eigenschappen van een element.

Het element fluor (zie bladzijde 9) heeft dus 7 valentie-elektronen, het element kalium heeft slechts 1 valentie-elektron. In het periodiek systeem van de elementen staat kalium in groep 1 en fluor in groep 17. Je kunt in het periodiek systeem aflezen in welke subschil het element zijn extra elektron (ten opzichte van het element met atoomnummer 1) heeft geplaatst:

groep	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	s																	s*
2	s	s											p	p	p	p	p	p
3	s	s											p	p	p	p	p	p
4	s	s	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p
5	s	s	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p
6	s	s□	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p
7	s	s△	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p

Bij □ en △ wordt een f subniveau opgevuld.
s* als je let op de elektronenverdeling over de energieniveaus zou helium eigenlijk in groep 2 moeten staan. Omdat het een edelgas is staat hij toch in groep 18.

In opgave 5a, b, c heb je de elektronenverdeling van 3 edelgassen opgeschreven. Als je de elektronenverdeling van die 3 edelgassen vergelijkt, dan zie je dat ze allen als valentie-elektronen s^2p^6 hebben. Een dergelijke elektronenverdeling heet **edelgasconfiguratie of octetregel**. Acht elektronen in de buitenste schil is blijkbaar een zeer stabiele elektronenverdeling.

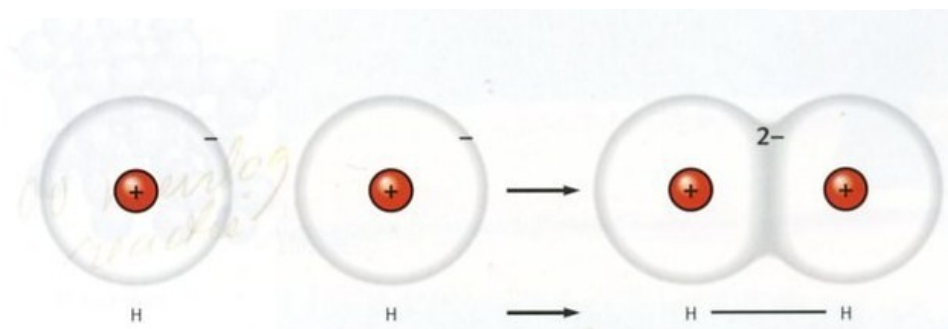
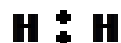
Met behulp van edelgasconfiguratie kunnen we de elektrovalentie van veel elementen begrijpen. Elementen in groep 1, zoals Na en K hebben 1 elektron in hun s-schil. Om edelgasconfiguratie te krijgen, zullen zij dit elektron willen afstaan. Hierdoor wordt hun ionlading $1+$. Zo heeft het natriumion de edelgasconfiguratie van neon, het K-ion dat van Argon. Aan de andere kant van het periodiek systeem, in groep 17 staat bijvoorbeeld Cl. Cl heeft 7 elektronen in zijn buitenste schil. Om de edelgasconfiguratie van Argon te krijgen neemt Cl 1 elektron op en vormt hiermee het Cl^- -ion. Hiermee kunnen we ook begrijpen dat natrium geen Na^{2+} ionen zal vormen en chloor geen Cl^{2-} ionen.

Onthoud:

- **Electrovalentie** is de **ionlading** die het atoom kan aannemen door elektronen op te nemen of af te staan

7. Covalentie

Maar hoe zit het met moleculaire stoffen. Als voorbeeld nemen we het eenvoudigste molecuul dat we kennen: waterstof. Het bestaat uit 2 atomen die elk slechts 1 elektron bezitten. Hieronder staat de structuurformule van waterstof. Het bindingstreepje — stelt een gemeenschappelijk elektronenpaar voor. Het gemeenschappelijk elektronenpaar wordt ook wel met twee stippen voorgesteld (: in rechter structuurformule).



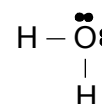
Twee atomen waterstof vormen een gemeenschappelijk elektronenpaar dat zich voornamelijk tussen de positief geladen atoomkernen bevindt. Elke waterstofkern heeft op deze wijze 2 elektronen om zich heen en heeft daarmee de edelgasconfiguratie van helium verworven.

Onthoud:

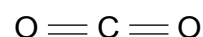
- een atoombinding is de aantrekkingskracht tussen het gemeenschappelijk elektronenpaar en de positieve atoomkernen.
- **covalentie** is het getal dat aangeeft **hoeveel atoombindingen** een atoom kan vormen.

Het element zuurstof heeft 6 valentie-elektronen. Door twee gemeenschappelijke elektronenparen te vormen bereikt ook zuurstof weer edelgasconfiguratie. Vandaar dat zuurstof covalentie 2 heeft. Hiernaast is de structuurformule van water getekend.

Sommige chemici tekenen alle elektronen in de buitenste schil en dan krijg je een structuurformule zoals rechtsonder is afgebeeld: er zijn 2 vrije elektronenparen bij getekend.



Koolstof heeft covalentie 4 en zuurstof heeft covalentie 2. Daarom heeft koolstofdioxide nevenstaande structuurformule: beide zuurstofatomen hebben 2 atoombindingen en het C-atoom heeft 4 atoombindingen!



Opdracht 7:

Leg aan de hand van het atoommodel van Bohr uit dat zwavel een sulfide-ion kan vormen S^{2-} , terwijl zijn covalentie 6 is. Schrijf hiervoor eerst de elektronenconfiguratie van S op.

Opdracht 8:

Kun je met het model van Thomson verklaren *waarom* atomen in een bepaalde verhouding met elkaar reageren? (bijvoorbeeld Fe staat tot S = 2 : 3, of H:O = 2: 1 in H_2O). En met het model van Bohr?

Opdracht 9:

Bij een covalente atoombinding wordt een elektronenpaar gedeeld door twee atomen. Leg uit aan de hand van het atoommodel van Schrödinger hoe een atoombinding tot stand komt. Gebruik hierbij de begrippen orbitaal en overlap.

Opgave 7:

Schrijf van alle atomen in de volgende moleculen en ionen hun covalentie op. Teken vervolgens de structuurformules van de moleculen en ionen (gebruik - voor een atoombinding).

- a) SO_2
- b) CH_4
- c) HCN
- d) $B(OH)_3$
- e) C_2H_6
- f) C_2H_4
- g) SO_4^{2-}

8. Elektronenformules

De verdeling van de elektronen over alle schillen wordt de elektronenconfiguratie, elektronen-structuur of elektronenverdeling genoemd. Wanneer we de elektronen van een atoom verdelen over de (sub)schillen dan kunnen we begrijpen wat de covalentie van dat atoomsoort is of wat de elektrovalentie van het atoomsoort is.

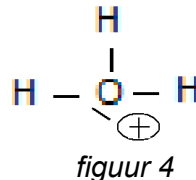
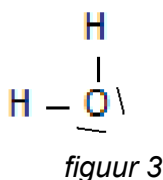
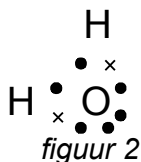
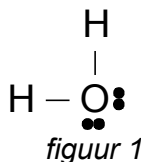
Neem als voorbeeld het edelgas neon: atoomnummer 10: elektronenconfiguratie $1s^2; 2s^2, 2p^6$. Neon is een element uit de 2^e periode, het heeft de buitenste elektronen in de 2^e schil. In de 2^e schil passen totaal $2n^2$ dus 8 elektronen.

Edelgasen reageren nergens mee, daarom heten ze ook edelgas. Blijkbaar is een volle s-subschil en volle p-subschil een stabiele elektronenverdeling. We noemen dit ook wel edelgasconfiguratie. Een andere term die hiervoor gebruikt wordt is de octetregel: 8 elektronen in de buitenste schil.

Wat betekent de octetregel voor andere elementen? Neem als voorbeeld zuurstof: atoomnummer 8: $1s^2; 2s^2, 2p^4$. Het element zuurstof heeft 6 elektronen in de buitenste schil. Deze elektronen noemen we de valentie-elektronen. Het element zuurstof heeft er $8-6 = 2$ tekort om aan de octetregel te voldoen. Daarom valt te begrijpen dat zuurstof 2 atoombindingen, dus 2 gemeenschappelijke elektronenparen, vormt met bijvoorbeeld 2 waterstofatomen.

De **elektronenformule** van een atoom is een vorm van structuurformule waarbij ook de vrije elektronenparen weergegeven zijn. In een elektronenformule heeft elk atoom behalve het waterstofatoom een octet-omringing, d.w.z. vier elektronenparen.

Water is H_2O . Hierin heeft het atoomsoort zuurstof covalentie 2. Van de 6 elektronen in de buitenste schil vormen er 2 een gemeenschappelijk elektronenpaar met de 2 elektronen van de 2 waterstofatomen. De overige elektronen van zuurstof uit de buitenste schil vormen zogenaamde vrije elektronenparen.



In de afbeeldingen hierboven is dit op 3 manieren weergegeven. In figuur 1 zijn de atoombindingen zoals gebruikelijk als streepjes weergegeven en de vrije elektronenparen met 2 stippen. In figuur 2 zijn de elektronen van zuurstof getekend als stippen, terwijl de elektronen afkomstig van waterstof als kruisjes zijn ingetekend. In totaal heeft zuurstof 8 elektronen in zijn buitenste schil, en waterstof 2. Figuur 3 wordt de elektronenformule van water genoemd.

Het watermolecuul heeft dus 2 vrije elektronenparen. Deze zijn belangrijk voor de eigenschappen van het molecuul en dus de stof water. Ze bepalen vooral hoe polair een watermolecuul is. In figuur 4 is het H_3O^+ ion weergegeven in de elektronenformule.

Opgave 8:

Raadpleeg BINAS tabel 99 en teken vervolgens de elektronenstructuur van:

a. CO_2

b. $HCOOH$

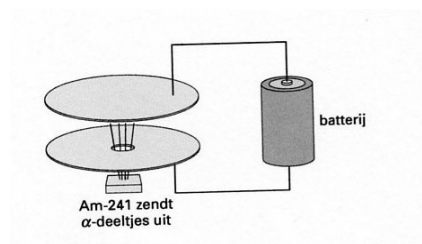
c. NH_3

d. HCl

e. OH^-

Opgave 9 Rookmelder

- 1 Een bepaald type rookmelder bestaat uit
- 2 twee geladen platen en een kleine
- 3 hoeveelheid (0,20 mg) van de
- 4 atoomsoort Am-241 (Am = americium).
- 5 Het Am-241 is aanwezig in de vorm van
- 6 AmO_2 . Am-241 is radioactief: de
- 7 atoomkernen vallen uit elkaar. Daarbij
- 8 ontstaan α -deeltjes (een α -deeltje bestaat
- 9 uit twee protonen en twee neutronen). Deze
- 10 α -deeltjes gaan door een gat in de onderste
- 11 plaat (zie tekening) naar een ruimte. In deze
- 12 ruimte botsen ze met voldoende kracht tegen stikstofmoleculen en
- 13 zuurstof moleculen in de aanwezige lucht om elektronen uit deze moleculen te
- 14 stoten. Deze elektronen bewegen naar de ene plaat, de gevormde ionen bewegen
- 15 naar de andere plaat. Daardoor ontstaat een kleine elektrische stroom tussen de
- 16 twee platen. Wanneer rookdeeltjes - die altijd sterk geladen zijn - in de ruimte
- 17 komen, binden ze met de aanwezige ionen waardoor deze neutraal worden. De
- 18 elektrische stroom tussen de platen stopt daardoor: het alarm gaat af.



Am-241 zendt α -deeltjes uit

naar: *Education in Chemistry*

Bij het uiteenvallen van de kern van een atoom Am-241 (de regels 6 tot en met 9) ontstaat behalve een α -deeltje ook de kern van een atoom van het element X.

- 2p 1 ☐ Hoeveel protonen en hoeveel neutronen komen voor in de kern van een atoom van dit element X en wat is de naam van dit element X? Noteer je antwoord als volgt; aantal protonen: ... aantal neutronen: ... naam van element X: ...
- 2p 2 ☐ Leg uit of de gevormde ionen (regel 14) positief of negatief geladen zijn.

Opgave 10 Laser zet radioactief afval om

- 1 Onderzoekers van het Rutherford Appleton Laboratory (Engeland) zijn erin
- 2 geslaagd om met een grote laser ongeveer een miljoen atomen van Jood-129 om te
- 3 zetten in jood-128. Jood-129 is een van de radioactieve atoomsoorten die ontstaan
- 4 bij het verbranden van uranium in een kernreactor.
- 5 Het voordeel van de omzetting van jood-129 in jood-128 is de veel kortere
- 6 halveringstijd van jood-128: al na 25 minuten heeft de helft van de jood-128 atomen
- 7 z'n radioactiviteit verloren, terwijl dit bij jood-129 maar liefst 15,7 miljoen jaar duurt.

naar: *Technisch Weekblad*

- 2p 1 ☐ Hoeveel protonen en hoeveel elektronen bevat een atoom jood-129? Noteer je antwoord als volgt: aantal protonen: ... aantal elektronen: ...

De onderzoekers zijn erin geslaagd om met een laser één soort deeltjes uit jood-129 atomen te verwijderen.

- 2p 2 ☐ Leg uit welk soort deeltjes werd verwijderd.

Volgens de regels 3 en 4 ontstaat jood-129 bij het „verbranden van uranium“.

- 1p 3 ☐ Leg uit dat jood-129 geen verbrandingsproduct van uranium kan zijn.

Opgave 11 Element 115

Levensteken van superzware kernen

Russische en Amerikaanse onderzoekers denken het bestaan aangetoond te hebben van twee nog onbekende superzware kunstmatige elementen met de atoomnummers 113 en 115. Met een cyclotron in het Russische kernfysicacentrum JINR schoten Joeri Oganessian en zijn collega's kernen van calcium met massagetal 48 op americium (Am) met massagetal 243. Tijdens een maand intensief kernenschieten deden ze welgeteld drie keer een waarneming die wees op het ontstaan van kernen van het (nieuwe) element 115 met 173 neutronen in de kern. De gevormde kernen vielen al na enkele tientallen microseconden uit elkaar onder uitzending van een alfadeeltje (heliumkern). Daarbij ontstond steeds een kern van een ander nieuw element: element 113. Element 113 bleef maar liefst 1,2 seconde stabiel alvorens verder te vervallen.

naar: de Volkskrant

Uit tekstfragment I kan worden afgeleid dat bij de beschreven vorming van kernen van het element 115 geen protonen maar wel neutronen vrijkomen.

- 2p 1 ☐ Leid af dat een kern van het gebruikte calcium en een kern van het gebruikte americium samen 115 protonen bevatten.
- 2p 2 ☐ Leid af hoeveel neutronen vrijkomen bij de beschreven vorming van één atoomkern van element 115.
- 1p 3 ☐ Geef de lading van een alfadeeltje (heliumkern).

BIJLAGE 5 Presentatiescore-model

Presentatie poster NOBEL				
Onderdeel	Goed 6pt	Ruim voldoende 4pt	Kan beter 3pt	Moet beter 1pt
Modelontwikkeling	-- en is aangegeven hoe het werk zich onderscheidt van andere modellen	De plaats van het model in de wetenschap is duidelijk	Het model wordt goed beschreven. Maar onduidelijk is wat je er wel / niet mee kan	Er is geen duidelijke beschrijving van het onderzochte model
Model beschrijving	-- en het is duidelijk wat de beperkingen zijn	Het is duidelijk uit welke model het is voortgekomen en wat de meerwaarde is	Er is een model beschreven maar het is onvoldoende duidelijk wat je er mee kan	De concrete modelomschrijving ontbreekt. Het zijn losse onsamenhangende uitspraken-kreten
Inhoud voordracht	-- en uit het verhaal blijkt dat men alles ook werkelijk begrijpt	Goed opgebouwd verhaal, maar er is twijfel of men ook alles begrijpt	Men leest een verhaal voor dat duidelijk niet volledig is of niet wordt begrepen	Het is duidelijk dat er fouten in het verhaal zitten en/of men niet begrijpt waar het om gaat
Voordracht houding	Prettig om naar te luisteren boeiend verhaal	Vloeiend verhaal maar niet prettig om naar te luisteren	Rommelige presentatie niet fijn om naar te luisteren	Veel onderbrekingen herhalingen, duidelijk is dat het slecht is voorbereid.
Poster inhoud	en er is een goede balans tussen tekst en afbeeldingen	Inhoud is correct maar er is of te veel tekst of te weinig grafische ondersteuning	Inhoud is onvolledig wat er staat is wel nuttig	Het is duidelijk dat de gewenste informatie bij het onderwerp niet aanwezig is.
Poster vormgeving	Het is in een oogopslag duidelijk waar het om gaat en wat de belangrijkste aspecten op de poster zijn	Alles staat op de poster maar pas als je alles hebt bekeken zie je waar het om gaat	Rommelig geheel, je moet puzzelen om te weten waar het over gaat.	Het is volstrekt onduidelijk waar deze poster bij hoort
Ingaan op vragen	de antwoorden worden zo geformuleerd en in een context geplaatst dat iedereen er wat aan heeft.	de antwoorden op de vragen zijn correct maar men bereikt alleen de vragensteller	de vragen van de toehoorders worden niet of fout beantwoord	er is geen gelegenheid tot het stellen van vragen

BIJLAGE 6 Vragenlijst 1, uitgedeeld voor start module

Vragenlijst behorend bij start module Nobelprijs Havo (2-zijdig)

Leontine de Graaf

Klas:

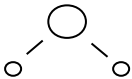
Naam:

Profiel (NG/NT/anders):

(gegevens worden anoniem behandeld)

1. Ja of nee vragen

Ja of nee aankruisen aub

Vind je dit een model?	Ja	Nee
Een lego-auto		
Een tekening van een lego-auto		
Een stadsplattegrond		
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '		
De beschrijving 'de zon staat in het middelpunt van ons zonnestelsel en de planeten draaien in ellipsvormige banen rond de zon'		
De geschreven formule H_2O		
Een watermolecuul: 		
Het demonstreren van een zonsverduistering met een lamp en twee ballen van verschillende grootte.		

2. Open vraag:

Beschrijf in eigen woorden wat jij vindt dat een model is.

.....

Z.O.Z.

3. Mee eens/mee oneens vragen

Eén antwoord aankruisen aub

	Geheel mee <u>oneens</u>	Een beetje mee oneens	Niet mee eens of oneens	Een beetje mee eens	Geheel <u>mee eens</u>
Een model lijkt precies op de werkelijkheid					
Een wetenschapper past een model nooit meer aan					
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid					
Het is niet mogelijk dat verschillende modellen hetzelfde verschijnsel verklaren					
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap (bv natuurkunde, scheikunde of biologie).					
Met een model kun je de uitkomst van een experiment voorspellen					
Een model dient om een moeilijk verschijnsel begrijpelijk te maken					

BIJLAGE 7 Vragenlijst 2, uitgedeeld na eind module

Vragenlijst behorend bij einde module Nobelprijs Havo (2-zijdig)

Leontine de Graaf

Klas:

Naam:

Profiel (NG/NT/anders):

(gegevens worden anoniem behandeld)

1. Ja of nee vragen

Ja of nee aankruisen aub

Vind je dit een model?	Ja	Nee
Een lego-auto		
Een bouwtekening van een lego-auto		
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '		
De plattegrond van een gebouw		
De beschrijving 'een atoom bestaat uit een kern van protonen en neutronen. Op grote afstand van de kern cirkelen elektronen in banen.'		
Het demonstreren van een zonsverduistering met een lamp en twee ballen van verschillende grootte.		
Een kooldioxidemolecuul: 		
De geschreven formule CO_2		

2. Open vraag:

Beschrijf in eigen woorden wat jij vindt dat een wetenschappelijk model is.

.....

3. Mee eens/mee oneens vragen

Eén antwoord aankruisen aub

	Geheel mee <u>oneens</u>	Een beetje mee oneens	Niet mee eens of oneens	Een beetje mee eens	Geheel <u>mee</u> <u>eens</u>
Met een model is niet geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen					
Verschillende modellen kunnen hetzelfde verschijnsel verklaren					
Een wetenschapper past een model vaak aan					
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid					
Een model lijkt precies op de werkelijkheid					
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken					
Modellen komen voor in alle wetenschappen.					

BIJLAGE 8 Logboek

LOGBOEK MODULE NOBELPRIJS

LES:	DATUM:
GROEP :	

Hebben we thuis alles gedaan wat was afgesproken?	ja/nee
Zo nee, wie niet, wat niet en waarom niet?	
Wat gaan we deze les doen?	Tijdsduur

Thuiswerk: Wat moet voor de volgende les worden gedaan?	Door wie?
Wat gaan we de volgende les doen?	

Hoe verliep de samenwerking?
Was er iets dat je onduidelijk vond in de module? Zo ja, wat?
Heb je nog vragen over de lesstof die je beantwoord wilt hebben?

BIJLAGE 9 Interviewschema

Interview behorend bij module Nobelprijs Havo/Vwo

Leontine de Graaf

Docenten:

- Heb je de indruk dat de huidige module Nobelprijs het inzicht over modelvorming bij leerlingen verandert?
- Hoe verandert het *niveau* van inzicht?
- Wat is de bijdrage van de opzet van de module (de vraagstructuur) aan het *proces* van inzihtsverandering?
- Vind je de waargenomen verandering voldoende? Waarom?
- Vind je dat de module samenwerking voldoende tussen de leerlingen stimuleert? Zo ja, hoe?
- Wat vind je van het eindniveau dat de leerlingen behalen?
- Is dit eindniveau hoger/gelijk/lager dan vorige jaren?
- Wat zou je aan het huidige eindniveau willen veranderen?
- Zijn de leerlingen aan het eind van de module voldoende in staat te werken met atoomnummer, massagetal, atoommassa's en isotopen ?
- Vind je dat de module de bovengenoemde concepten voldoende behandelt?
- Hoe vind je de module ten opzichte van de versie van vorig jaar?
- Wat vind je de zwakke punten van de module?
- Wat vind je de sterke punten van de module?
- Wat wil je veranderen voor volgend jaar?
- Wat vind je van de differentiatie van de module naar havo en vwo?

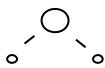
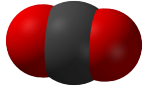
Leerling:

- Wat heb je geleerd in deze module?
- Heb je de indruk dat deze module jouw ideeën over wat een model is en hoe het tot stand komt veranderd heeft?
- Wat vond je van de opbouw van de module?
- Wat vond je van de inhoud van de module?
- Wat vond je moeilijk?
- Wat vond je makkelijk?
- Ben je nu in staat te werken met atoomnummer, massagetal, atoommassa's en isotopen?
- Vind je dat de module samenwerking voldoende tussen de leerlingen stimuleert? Zo ja, hoe?
- Hoe heb je de samenwerking ervaren?
- Wat vind je de zwakke punten van de module?
- Wat vind je de sterke punten van de module?
- Wat vond je het leukst aan de module (bv inhoud, opdrachten, poster, presentatie, filmpje.....)?
- Wat zou je volgend jaar aan de module veranderd willen zien?

BIJLAGE 10 Omwerken vragenlijst 2 naar vragenlijst 1

Vraag 1:

Lijst 1 en 2 bevatten vrijwel dezelfde vragen, echter in een andere volgorde. Onderstaande tabel geeft aan welke vragen in de Resultaten met elkaar vergeleken worden. De volgorde van vragenlijst 1 wordt aangehouden in de verwerking van de resultaten.

Vragen in lijst 1	Vragen in lijst 2
Een lego-auto	Een lego-auto
Een tekening van een lego-auto	Een bouwtekening van een lego-auto
Een stadsplattegrond	De plattegrond van een gebouw
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '	De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '
De beschrijving 'de zon staat in het middelpunt van ons zonnestelsel en de planeten draaien in ellipsvormige banen rond de zon'	De beschrijving 'een atoom bestaat uit een kern van protonen en neutronen. Op grote afstand van de kern cirkelen elektronen in banen.'
De geschreven formule H_2O	De geschreven formule CO_2
Een watermolecuul: 	Een kooldioxidemolecuul: 
Het demonstreren van een zonsverduistering met een lamp en twee ballen van verschillende grootte.	Het demonstreren van een zonsverduistering met een lamp en twee ballen van verschillende grootte.

Vraag 2:

Is in beide vragenlijsten gelijk.

Vraag 3:

Vragen 2, 4, 5 en 6 uit vragenlijst 2 zijn geïnverteerd, wat wil zeggen dat de vraag is omgezet van vaak naar nooit (vraag 2), wel naar niet (vraag 4), alle naar alleen in (vraag 5) en niet naar wel (vraag 6). Vervolgens is de Likertschaal van deze vragen omgekeerd van 'geheel mee oneens' wordt 'geheel mee eens', 'beetje mee oneens' wordt 'beetje eens' en vice versa.

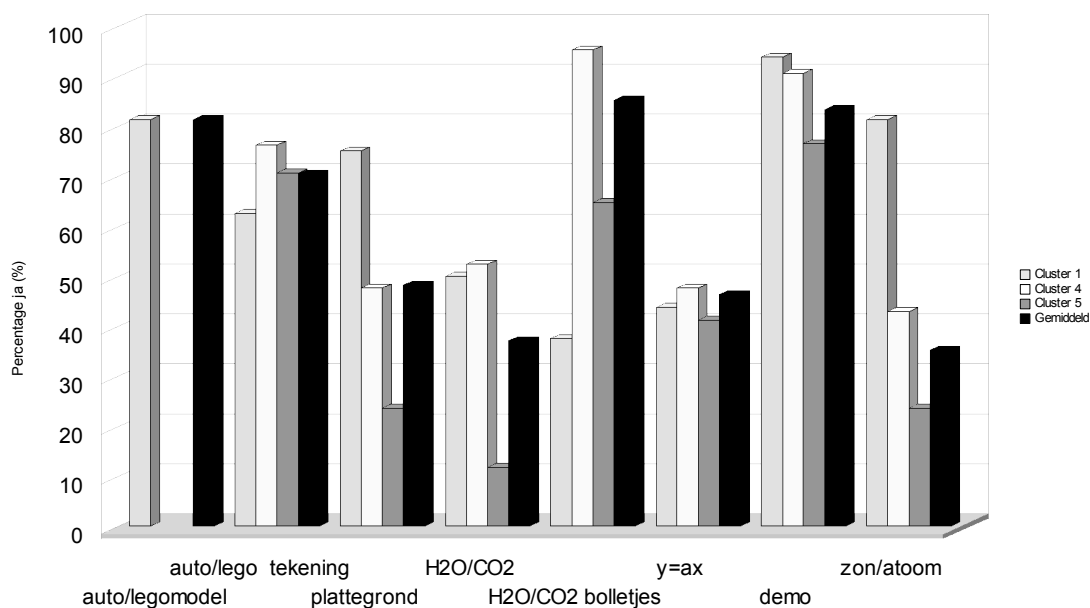
	Vragen in lijst 1	Vragen in lijst 2, in volgorde lijst 1	Vragen in lijst 2, in volgorde lijst 1 en geïnverteerd
1	Een model lijkt precies op de werkelijkheid	Een model lijkt precies op de werkelijkheid	Een model lijkt precies op de werkelijkheid
2	Een wetenschapper past een model nooit aan	Een wetenschapper past een model vaak aan	Een wetenschapper past een model nooit aan
3	Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	Een model is een versimpeling van de werkelijkheid
4	Het is niet mogelijk dat verschillende modellen hetzelfde verschijnsel verklaren	Verschillende modellen kunnen hetzelfde verschijnsel verklaren	Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren
5	Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap (bv natuurkunde, scheikunde of biologie).	Modellen komen voor in alle wetenschappen.	Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap
6	Met een model kun je de uitkomst van een experiment voorspellen	Een model is niet geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen
7	Een model dient om een moeilijk verschijnsel begrijpelijk te maken	Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken

BIJLAGE 11 Score op vragenlijst 1

Vraag 1:

Havo, start module, vraag 1, aantal ja, per cluster, uitgesplitst naar NG, NT en NG+NT.

Havo		Cluster 1			Cluster 4			Cluster 5		
		NG	NT	NG+NT	NG	NT	NG+NT	NG	NT	NG+NT
Totaal NG/NT/NG+NT		12	4	16	19	2	21	12	5	17
	Niveau model-vorming									
Een lego-auto	I	10	3	13	-	-	0	-	-	0
Een tekening van een lego-auto	I	6	4	10	15	1	16	9	3	12
Een stadsplattegrond	I	8	4	12	9	1	10	3	1	4
De geschreven formule H_2O	I	4	3	7	9	2	11	0	2	2
Een watermolecuul: 	I	11	4	15	18	2	20	9	2	11
De wiskundige vergelijking $y = ax + b$	II	6	2	8	9	1	10	4	3	7
Het demonstreren van een zonsverduistering	II	9	4	13	18	1	19	11	2	1
De beschrijving 'de zon staat in het middelpunt	II	3	3	6	8	1	9	4	0	4



Vwo, start module, vraag 1, aantal ja, per cluster, uitgesplitst naar NG, NT en NG+NT.

Vwo		Cluster 5			Cluster 9		
		NG	NT	NG+NT	NG	NT	NG+NT
Totaal NG/NT/NG+NT		13	7	20	18	3	21
	Niveau model- vorming						
Een lego-auto	I	6	6	12	13	1	14
Een tekening van een lego-auto	I	10	3	13	6	1	7
Een stadsplattegrond	I	6	3	9	6	1	7
De geschreven formule H_2O	I	3	1	4	5	0	5
Een watermolecuul: 	I	11	6	17	17	3	20
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '	II	7	3	10	7	1	8
Het demonstreren van een zonsverduistering ...	II	13	6	19	17	3	20
De beschrijving 'de zon staat in het middelpunt ...	II	6	4	10	3	2	5

Havo en Vwo, start module, vraag 1, percentage ja (%) van NG+NT, per cluster en totaal.

	Havo				Vwo		
	Cluster 1	Cluster 4	Cluster 5	Totaal	Cluster 5	Cluster 9	Totaal
Een lego-auto	81	-	-	81	60	67	63
Een tekening van een lego-auto	63	76	71	70	65	33	49
Een stadsplattegrond	75	48	24	48	45	35	39
De geschreven formule H_2O	44	52	12	37	20	24	22
Een watermolecuul: 	94	95	65	85	85	95	90
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '	50	48	41	46	50	38	44
Het demonstreren van een zonsverduistering	81	90	76	83	95	95	95
De beschrijving 'de zon staat in het	38	43	24	35	50	24	37

middelpunt							
------------	--	--	--	--	--	--	--

Vraag 2:

Havo en Vwo, vraag 2, start module, aantal en percentage ja (%), NG+NT

	Havo		Vwo	
	Aantal	Percentage (%)	Aantal	Percentage (%)
Vrouw	5	9	1	2
Schaalfiguur	13	24	7	17
Voorbeeld	22	41	16	39
Gebeurtenis	0	0	1	2
Verduidelijking	5	9	8	20
Werkelijkheid	2	4	7	17
Voorspelling	0	0	0	0
Blanco	7	13	1	2
Totaal	54	100	41	100

Vraag 3:

Havo, vraag 3, start module, aantal en percentage ja (%), NG+NT (54 leerlingen)

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	1	2	12	22	10	19	27	50	4	7
Een wetenschapper past een model nooit aan	32	59	10	19	9	17	2	4	1	2
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	4	7	8	15	13	24	16	30	13	24
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	20	38	14	26	14	26	3	6	2	4
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	34	63	13	24	5	9	2	4	0	0
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	3	6	7	13	13	24	28	52	3	6
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	2	4	4	7	6	11	22	41	20	37

Vwo , vraag 3, start module, aantal en percentage ja (%), NG+NT (40 leerlingen)

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	4	10	11	28	4	10	19	49	1	3
Een wetenschapper past een model nooit aan	26	67	12	31	2	5	0	0	0	0
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	10	26	7	18	7	18	8	21	8	21
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	19	49	11	28	6	15	2	5	1	3
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	33	85	4	10	3	8	0	0	0	0
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	3	8	5	13	8	21	15	38	9	23
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	1	3	0	0	6	15	16	41	17	44

BIJLAGE 12 Score op vragenlijst 2

Vraag 1:

Havo, vraag 1, eind module, aantal ja, per cluster, uitgesplitst naar NG, NT en NG+NT.

Havo		Cluster 1			Cluster 4			Cluster 5		
		NG	NT	NG+NT	NG	NT	NG+NT	NG	NT	NG+NT
Totaal NG/NT/NG+NT		12	3	15	19	2	21	15	4	19
	Niveau model- vorming									
Een lego-auto	I	12	2	14	13	0	13	14	2	16
Een bouwtekening van een lego-auto	I	6	2	8	14	1	15	7	2	9
Een plattegrond van een gebouw	I	2	2	6	14	0	15	7	3	6
De wiskundige vergelijking $y = ax + b$	I	5	1	4	14	1	14	5	1	10
Het demonstreren van een zonsverduistering ..	I	3	0	8	8	0	16	1	2	17
De geschreven formule CO ₂	II	5	3	3	15	1	8	14	3	3
Een kooldioxide-  molecuul:	II	8	2	10	16	1	17	10	3	13
De beschrijving 'een atoom	II	5	1	6	14	1	15	9	1	10

Vwo, vraag 1, eind module, aantal ja, cluster 9, uitgesplitst naar NG, NT en NG+NT.

	Vwo – cluster 9		
	NG	NT	NG+NT
Totaal NG/NT/NG+NT	13	3	16
Een lego-auto	5	2	7
Een bouwtekening van een lego-auto	10	2	12
Een plattegrond van een gebouw	5	0	5
De geschreven formule CO ₂	5	2	7
Een kooldioxide-molecuul: 	12	3	15
De wiskundige vergelijking $y = ax + b$	5	2	7
Het demonstreren van een zonsverduistering ...	9	2	11
De beschrijving 'een atoom	9	2	11

Havo en Vwo, vraag 1, eind module, percentage ja (%), per cluster en totaal, NG+NT.

	Havo percentage ja (%)				Vwo
	Cluster 1	Cluster 4	Cluster 5	Totaal	Cluster 9
Een lego-auto	93	62	84	78	44
Een bouwtekening van een lego-auto	53	71	47	58	75
Een plattegrond van een gebouw	40	71	32	49	31
De geschreven formule CO ₂	20	38	16	25	44
Een kooldioxide-molecuul: 	67	81	68	73	94
De wiskundige vergelijking $y = ax + b$	27	67	53	51	44
De beschrijving 'een atoom	40	71	53	56	69
Het demonstreren van een zonsverduistering ...	53	76	89	75	69

Vraag 2:

Havo en vwo, vraag 2, na module, aantal en percentage ja (%), NG+NT

	Havo		Vwo	
	Aantal	Percentage (%)	Aantal	Percentage (%)
Vrouw	4	7	0	0
Schaalfiguur	13	24	3	19
Voorbeeld	12	22	5	31
Gebeurtenis	2	4	2	13
Verduidelijking	12	22	2	13
Werkelijkheid	8	15	2	13
Voorspelling	0	0	0	0
Blanco	4	7	2	13
Totaal	47	100	16	100

Vraag 3:

Havo, vraag 3, einde module aantal en *percentage ja (%)*, NG+NT (48 leerlingen)

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	10	21	12	25	12	25	9	19	5	10
Een wetenschapper past een model nooit aan	10	21	26	54	3	6	6	13	3	6
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	6	13	5	10	9	19	15	31	13	27
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	15	31	23	48	5	10	2	4	3	6
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	22	46	19	40	6	13	0	0	1	2
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	4	8	5	10	8	17	19	40	12	25
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	3	6	5	10	6	13	24	50	10	21

Wvo , vraag 3, einde module aantal en *percentage ja (%)*, NG+NT (16 leerlingen)

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)	aantal	(%)
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	2	14	6	43	3	21	3	21	0	0
Een wetenschapper past een model nooit aan	3	21	5	36	6	43	0	0	0	0
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	0	0	2	14	4	29	5	36	3	21
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	5	36	2	14	3	21	7	7	3	21
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	7	50	5	36	0	0	7	7	1	7
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	1	7	6	43	1	7	2	14	4	29
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	2	14	1	7	1	7	5	36	5	36

BIJLAGE 13 Vergelijk vragenlijst 1 en 2

Vraag 1:

Havo en vwo, vraag 1, voor en na module, *percentage ja (%)*, NG+NT

	Havo		Vwo	
	Voor	Na	Voor	Na
Een lego-auto	81	78	63	44
Een bouwtekening van een lego-auto	70	58	49	75
Een plattegrond van stad/gebouw	48	49	39	31
De geschreven formule H_2O/CO_2	37	25	22	44
Een water/ kooldioxide molecuul:	85	73	90	94
De wiskundige vergelijking ' $y = ax + b$ '	46	51	44	44
Het demonstreren van een zonsverduistering	83	75	95	69
De beschrijving 'de zon/atoom....	35	56	37	69

Vraag 2:

Havo en vwo, vraag 2, voor en na module, aantal en *percentage ja (%)*, NG+NT

	Havo				Vwo			
	Voor		Na		Voor		Na	
	Aantal	Percentage (%)	Aantal	Percentage (%)	Aantal	Percentage (%)	Aantal	Percentage (%)
Vrouw	5	9	4	7	1	2	0	0
Schaalfiguur	13	24	13	24	7	17	3	19
Voorbeeld	22	41	11	20	16	39	5	31
Gebeurtenis	0	0	2	4	1	2	2	13
Verduidelijking	5	9	12	22	8	20	2	13
Werkelijkheid	2	4	8	15	7	17	2	13
Voorspelling	0	0	0	0	0	0	0	0
Blanco	7	13	4	7	1	2	2	13
Totaal	54	100	55	100	41	100	16	100

Vraag 3:Havo, vraag 3, voor en na module, *percentage ja (%)*, NG+NT

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	2	21	22	25	19	25	50	19	7	10
Een wetenschapper past een model nooit aan	59	21	19	54	17	6	4	13	2	6
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	7	13	15	10	24	19	30	31	24	27
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	38	31	26	48	26	10	6	4	4	6
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	63	46	24	40	9	13	4	0	0	2
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	6	8	13	10	24	17	52	40	6	25
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	4	6	7	10	11	13	41	50	37	21

Gearceerde gebieden: verandering van meer dan 15%. Licht gearceerd is startwaarde, donkergearceerd de eindwaarde .Vwo, vraag 3, voor en na module, *percentage ja (%)*, NG+NT

	Geheel mee <u>oneens</u>		Een beetje mee oneens		Niet mee eens of oneens		Een beetje mee eens		Geheel <u>mee eens</u>	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Een model lijkt precies op de werkelijkheid	10	14	28	43	10	21	49	21	3	0
Een wetenschapper past een model nooit aan	67	21	31	36	5	43	0	0	0	0
Een model is een versimpeling van de werkelijkheid	26	0	18	14	18	29	21	36	21	21
Verschillende modellen kunnen niet hetzelfde verschijnsel verklaren	49	36	28	14	15	21	5	7	3	21
Modellen komen alleen voor in de natuurwetenschap	85	50	10	36	8	0	0	7	0	7
Een model is wel geschikt om de uitkomst van een experiment te voorspellen	8	7	13	43	21	7	38	14	23	29
Met een model kun je moeilijke verschijnselen verduidelijken	3	14	0	7	15	7	41	36	44	36

BIJLAGE 14 Vergelijking antwoorden vraag 2 van individuele leerlingen

Antwoorden van dezelfde leerling op vragenlijst 1 en vragenlijst 2. Vet gedrukt een verandering van niveau van modelvorming (Grosslight).

Havo

Vragenlijst 1		Vragenlijst 2	
Antwoord	Niveau	Antwoord	Niveau
Lijkt op iets dat ze echt gaan maken, maar kleiner	I	Iets met ruimte, beeld van iets	I
Iets dat laat zien hoe iets eruit komt te zien	I	Een verkleind beeld van hoe iets eruit komt te zien	I
Voorbeeld van de werkelijkheid	I	Ruimtelijk voorbeeld van atoom of molecuul	I
vrouw/man	I	Tekening van een atoom	I
Vrouw op catwalk	I	Alles wat een vorm aantoont	I
Een op schaal nagemaakt iets	I	In 3D molecuul nagemaakt	I
3D voorwerp dat in het klein iets voorstelt	I	Een voorbeeld van een stof of voorwerp	I
Ruimtelijk model van iets	I	Beeld van iets	I
Iets ruimtelijks	I	Iets ruimtelijks	I
voorbeeld	I	Iets dat de vorm aantoont	I
Een beschrijving/voorbeeld van iets	I	Een beschrijving van iets	I
Een goed voorbeeld	I	Voorbeeld van de werkelijkheid	II
Iets ingewikkelds duidelijk maken	II	Om dingen duidelijker en begrijpelijker te maken door eenvoudige beelden	II
Voorbeeld van een voorwerp	I	Illustratie van de werkelijkheid	II
vorm	I	voorbeeld	I
Weergave van een beschrijving	I	ontwerp	I
voorbeeld	I	Voorbeeld van de werkelijkheid	II
Tekening waarvan je iets kan maken	I	Iets waarmee je iets kan maken	I
Soort tekening, 3, waar je iets van kunt maken	I	Iets waarmee je iets kunt maken	I
voorbeeld	I	voorbeeld	I
uitleg/weergave	I	ontwerp	
Iets wat zichtbaar is	I	Bijvoorbeeld een atoommodel	I
?	I	Ideën over moleculen die kloppen zoals bijvoorbeeld het model van Rutherford	II
?	I	Iets dat aangeeft hoe iets in elkaar zit	I

–	I	Een voorbeeld van iets dat in werkelijkheid groter of kleiner is	I
Een voorbeeld van hoe iets eruit ziet op schaal	I	Laat een gebeurtenis zien hoe het gebeurt	I
Vrouw, voorbeeld	I	Schematische voorstelling van een wetenschappelijke ontdekking	I
Voorbeeld van iets in het klein	I	Voorbeeld van een idee, iets waarmee je een idee duidelijker kunt maken	II
voorbeeld	I	Precies voorbeeld van een beeld dat je van iets hebt	I
Iets tastbaars wat iets laat zien	I	Verduidelijking van de werkelijkheid	I
Iets wat iets laat zien	I	Een verduidelijking van iets	I
Voorbeeld om te kijken hoe iets in het echt wordt	I	Visualisatie om iets beter en nauwkeuriger weer te geven	I
?	I	Voorbeeld waarin staat hoe moleculen reageren	I
Verduidelijking om duidelijk te maken wat iets is	II	Visualisatie van iets om het te verduidelijken	II
Namaak van het echte ontwerp	I	Visualisatie om iets te verduidelijken	II
Iets met uitleg	II	Iets duidelijk maken	II
Met iets wat uitleggen, voorbeelden	II	Iets duidelijk maken met iets anders	II
vrouw	I	Voorbeeld of beredenering van een mening	I
schaalfiguur	I	Ruimtelijk hoe iets eruit ziet	I

Vwo

Vragenlijst 1		Vragenlijst 2	
Antwoord	Niveau	Antwoord	Niveau
Iets waardoor hetgene wat je duidelijke wilt maken heel duidelijk wordt	II	Een beeldend iets dat iets duidelijk maakt	II
Ruimtelijk iets	I	3D	I
vrouw	I	Omschrijving van proces/iets/ding	I
Voorwerp waarmee je de werkelijkheid wilt uitbeelden	II	Voorbeeld om de werkelijkheid te verduidelijken	II
voorbeeld	I	Tekening die laat zien hoe iets eruit ziet	I
Iets dat in materiaal is gemaakt	I	Voorwerp of in woorden uitgedrukte theorie	I
Tekening van een voorwerp	I	Zegt iets over elektronen en atomen	I
voorbeeld	I	Voorbeeld van een voorwerp	I
Ontwerp waarmee ergens een voorbeeld van wordt gegeven of een verduidelijking	II	Versimpeling van de werkelijkheid waarbij een moeilijk verschijnsel verduidelijkt kan worden	II
Visuele en tastbare (verkleind) voorbeeld van de werkelijkheid	I	Versimpelde versie van de werkelijkheid zodat het makkelijker te begrijpen is	II

BIJLAGE 15 Interviews met docenten

Interview docenten A (4H), B (4H) en C (4V).

1. *Heb je de indruk dat de huidige module Nobelprijs het inzicht over modelvorming bij leerlingen verandert?/ 2. Hoe verandert het niveau van inzicht?*

A. Het inzicht verandert wel, maar A heeft twijfels of het op het niveau komt dat je eigenlijk wilt. Volgens hem hebben leerlingen een startpunt over model van ongeveer nul, heel simpel. Vervolgens hebben ze wel meegekregen dat een model iets dynamisch is dat zich ontwikkelt, en dat nieuwe kennis ervoor zorgt dat een model moet worden aangepast, of dat het een bevestiging is van het oude model. Aan wat voor voorwaarden een model moet voldoen, komen ze niet toe (GRA: maar dat is ook al bijna de derde stap in modelinzicht, namelijk modelvorming). A is blij dat 4H in ieder geval heeft meegekregen dat modellen dynamisch zijn. Hij merkt dat aan het feit dat leerlingen nu wel doorhebben in welke situatie ze een model wel of niet kunnen toepassen , of welke delen van een model nodig zijn. Hij merkte ook tijdens de lessen dat als ze radioactief verval tegenkomen, dat hun interesse wekt, en dat ze gaan nadenken hoe dat past in het bestaande model. Waar ze vroeger overheen lizen, daarbij gaan ze nu nadenken over 'maar wat betekent dat nu'. In dat opzicht heeft het zeker gewerkt, met name het eerste deel. Zelf puzzelen en naar elkaar kijken, en de modellen in chronologisch perspectief plaatsen. Want dan kun je de ontwikkeling meemaken.

(GRA:) Denk je dat het uitmaakt dat ze dit van elkaar leren? Ja, want anders bied je stof aan waarvan ze ervoor kunnen kiezen om alleen het eindpunt te leren (als ik dit kan ben ik voldoende toegerust). Nu hebben ze het zelf door moeten maken.

B. Ze begonnen met een model is 'iemand op de catwalk'. Leerlingen vonden het lastig om informatie over modellen op internet te vinden, en wat er te vinden was was vrij moeilijk omschreven. Het eerste deel was vrij pittig, in deel 2 kwam de uitleg, en toen hadden ze door wat ze hadden moeten doen. Ze hebben wel meegekregen dat een model in de loop der tijd aangepast wordt, maar ze denken er niet heel diep over na. Na de chronologische presentaties hadden ze wel door dat zo'n model er niet in één keer is. Ze zijn er wel vrij serieus mee bezig geweest, maar de docent heeft er niet speciaal op gelet hoe intensief de verschillende groepjes ermee bezig waren. De leerlingen hebben zelfstandig de opdrachten doorgewerkt, en als de docent de indruk had dat ze bij een opgave vastliepen, dan pas ging ze uitleggen.

- C. Vwo heeft alleen deel 1 gedaan, dus een aantal vragen is moeilijk te beantwoorden. Ja, inzicht verandert wel, maar daar moet je wel aan schaven, leerlingen wakker maken. Waar je aan merkt dat ze wat leren, daarvan heeft C niet direct voorbeelden. Hypothese en model, dat is nog steeds moeilijk. Modellen gebruiken leerlingen wel zoals het molekuulmodel, maar ze vinden het moeilijk. C hoopt dat ze door hebben dat een model niet in één keer ontstaat en af is, en dat men waarnemingen gebruikt om een model te ontwerpen, de wetenschappelijke methode. Dat zie je wel terug in de presentaties, maar of ze dat zich realiseren is de vraag. Vorig jaar heeft hij wel de hele module gedaan, en dat ging best aardig maar waren de presentaties niet erg goed. Ze hebben wel posters gemaakt, maar verwerken die niet in hun verhaal. Er is nogal verschil tussen de groepjes.

3. *Wat is de bijdrage van de opzet van de module (de vraagstructuur) aan het proces van inzichtsverandering? (Deze vraag gaat over deel 2 van de module).*

A. Aan de verandering over het idee van modellen weinig. Maar het is bittere noodzaak, want leerlingen moeten ook leren hoe ze over een model bevraagd kunnen worden. Havo is beperkt door tijd, ene groep heeft alleen Rutherford, de andere groep ook Bohr, en daar heb je later (bij zouten, GRA), profijt van. De andere groep heeft Bohr wel gehad bij de modelontwikkeling, maar hebben niet geoefend. Maar je kunt er later wel op terugvallen. Nalezen in de syllabus. In dat

opzicht een tweedelige functie: (a), beschrijf nog eens een keer goed wat de inhoud van elk model is, en (b), de noodzakelijke training moet je ook aanbrengen.

B. De module, de vraagstructuur, draagt zeker bij. Dat het logisch is dat een model er niet zomaar is, maar dat er een achtergrond is. De vragen over waarom een model niet meer voldoet. Dat een model voor die tijd wel voldeed, maar dat er met nieuwe experimenten een nieuw model nodig was.

C. Deel twee is niet gedraaid. Vorig jaar liep de module goed, toen waren presentaties niet erg goed. Opzet module is goed. Je moet leerlingen dwingen om over zaken na te denken, of om na afloop bepaalde vragen te kunnen beantwoorden. Bij de presentaties komt alle informatie wel aan de orde, maar of de leerlingen daar voldoende aan hebben zonder de docent, dat denkt hij niet. Maar het idee van de presentaties is wel aardig. Dat ze zelf informatie moeten zoeken. Maar wat er door heen speelt is de inzet van de leerlingen, ze zijn eigenlijk gewoon lui, en de groepjes moeten niet te groot zijn. En er was te weinig tijd, voor dit deel van de module, ook door al die vrije dagen. Voor deel 1 staat eigenlijk 3 lessen, en nu waren het er maar 2.

4. *Vind je de waargenomen inzichtsverandering in modelvorming voldoende? Waarom?*

A. Voor 4H wel. Aan andere kant, nu je dit gedaan hebt, ga je in andere modules anders met modellen om. Bv in module groene chemie, het opstellen van blokschema's. Voldoende voor atoommodellen. In SE zijn nauwelijks specificaties, atoombouw, Rutherford zit is voldoende. Wenselijk: Met een paar lessen meer Bohr er wel graag bij (2 van de drie groepen hebben Bohr gehad).

B. Kan ze nu niet veel van zeggen. Als ze er serieus aan gewerkt hebben, dan hebben ze voldoende geleerd. Daar komen we pas later achter, bij de toets en in latere modules (het was niet zo'n serieuze groep). Ze konden de vragen aan het eind, over radioactiviteit wel maken. Het was wel moeilijk beschreven, maar na uitleg ging dat wel.

C. Deel 2 niet gedaan, dus nvt.

• *Vind je dat de module samenwerking voldoende tussen de leerlingen stimuleert? Zo ja, hoe?*

A. Hij biedt mogelijkheden, maar samenwerking bij 4H is: ieder doet zijn deel en we gooien het op één hoop. Weinig synergie. en ze kijken ook niet kritisch naar de onderlinge bijdragen. Het eindproduct is er, maar of dat het resultaat is van samenvoeging of samenwerking? Dat merk je als ze verhaal gaan vertellen. Je merkt wie welk stuk poster heeft gemaakt, het is niet de poster/presentatie van de groep. Moeilijk aan te leren. Technasium leerlingen doen dat makkelijker, want ze zijn meer getraind hierop (daar wordt samenwerking afgedwongen). Totaalplaatje voldoet wel aan de verwachtingen. Maar het kost 6 lessen, terwijl als je doceert ben je 2 lessen kwijt. Maar dan is de vraag wat blijft hangen, en is het idee van modelontwikkeling helemaal buiten beeld. Resultaat blijft wel beter hangen, nu zie je in de les dat leerlingen elkaar helpen en beleren. Daar haal je veel winst uit.

B. Ja, maar ze kiezen steeds dezelfde groepjes. Probeert wel groepjes om te gooien, maar dan komen er klachten over bepaalde leerlingen, die vaak ziek zijn, afwezig zijn, niet werken. Dan verandert ze de groepjes maar weer. En dan gaat het wel weer goed. Leerlingen die lui zijn en in een makkelijk groepje zitten, die fietsen er wel doorheen...

C. Ja, ruimte genoeg.

6. *Wat vind je van het eindniveau dat de leerlingen behalen?*

A. Voldoende voor 4H.

B. Goed. Hoeveelheid is goed, niet te moeilijk. Ze zijn slecht op de hoogte van de bouw van het atoom, krijgen ze ook niet meer in de 3e klas.

C. Goed, zeker niet lager, voor zover we het gedaan hebben dit jaar

7. *Is dit eindniveau hoger/gelijk/lager dan vorige jaren?*

- A. Vergelijkbaar qua examen kennis. Nu is Bohr iets prominenter geweest, maar het is duidelijk dat leerlingen bevroegd op het examen worden op Rutherford. Pas als Bohr wordt toegepast later, kan hij zeggen of niveau misschien iets hoger is. Omdat Bohr wel bij de wetenschappers voor de poster zat, hebben de leerlingen in ieder geval het model meegekregen. Hoger niveau qua modelvorming en modelontwikkeling.
- B. nvt, want docent heeft module vorig jaar niet gedraaid.
- C. Zeker niet lager.
8. *Wat zou je aan het huidige eindniveau willen veranderen?*
- A. Wenselijk: Met een paar lessen meer Bohr er wel graag bij. (2 van de drie groepen hebben Bohr gehad)
- B. Hoeveelheid stof is goed, niveau is goed (moeten ze wel kunnen), opvallend is dat ze niet goed weten hoe een atoom in elkaar zit. Het staat wel in de module, maar niet duidelijk genoeg.
- C. Ja, gaat al vrij diep. Elektronenformules zijn al geen eindexamenstof meer. Niets veranderen.
9. *Zijn de leerlingen aan het eind van de module voldoende in staat te werken met atoomnummer, massagetal, atoommassa's en isotopen ?*
- A. Ja zeker. Ze konden de laatste vragen maken(eindexamenopgaven, GRA), dus ze zijn toegerust voor het examen. Het begrip is er, de berekening klopt, maar het loopt vast op hoe je dat chemisch correct toelicht. Hopen dat dat winst heeft opgeleverd.
- B. Ja, mag wel meer. Ze weten nu dat een atoom uit drie dingen bestaat , en ze hebben alle concepten in ieder geval een keer gehad. Maar wat meer aan de hand nemen, en eindexamenopgaven oefenen zou goed zijn.
- C. Nvt.
10. *Vind je dat de module de bovengenoemde concepten voldoende behandelt?*
- A. Concept is atoommodel en subatomaire deeltjes. Hoe diep moet je daarop ingaan, dat is de vraag. Nieuwe Scheikunde is voor deel need-to-know kennis. Je kunt terugwerken vanuit periodiek systeem en het atoommodel afleiden. Die insteek gaat voorbij aan modelontwikkeling, maar laat meer nadenken over aantal protonen en elektronen etc (dus meer over atoomnummer en massagetal). Nu redeneren vanuit modelontwikkeling. Als ze ermee kunnen werken zijn onderwerpen voldoende aan bod geweest. Periodiek systeem is makkelijker te begrijpen vanuit Bohr. Is makkelijk als ze dat gehad hebben (VWO krijgt het wel). Vraag is of Schrodinger erbij moet (in deel 1 staat hij nu).
- B. Liefst duidelijker, explicieter, meer aan de hand genomen.
- C. Ja, maar deel 2 van module niet gedraaid.
11. *Hoe vind je de module ten opzichte van de versie van vorig jaar?*
- A. Hij liep soepeler. Komt voor een deel door ervaring. In de module was de indeling, de chronologie handiger, en daardoor was er meer effect van wat is modelontwikkeling geweest, en daar zit veel winst.
- B. nvt, vorig jaar niet gedraaid
- C. Beter, en wordt in precies deze vorm volgend jaar ook gebruikt. Vorig jaar heeft hij getoetst, en dat werd wel aardig gemaakt.
12. *Wat vind je de zwakke punten van de module?*
- A. Wat blijft nu van modelontwikkeling hangen? Wil je later ergens versterken. Nadenken over waarom gebruik ik dit model. Waarom voldoet het model niet meer en komt er een ander. Nu is de opzet dat het logisch is dat het model verandert, maar het benoemen van het waarom komt er niet helemaal uit. Misschien extra vragen als 'beantwoord ook waarom het vorige model niet meer voldoet'. Maar dan wordt het een vraag en antwoord spelletje, waarbij ieder leerling één neemt en het overzicht weg is.

B. Er is groot verschil in hoeveel informatie er te vinden is over de verschillende wetenschappers, was af en toe moeilijk. Atoom opbouw mag wel explicieter erin.

C. Het gedeelte Schrödinger, met de orbitalen. Dat kunnen ze niet goed vertellen omdat ze de natuurkundige achtergrond missen. Dat elektronen volgens Bohr in banen zitten, en later in orbitalen, waarom valt dat elektron dan niet terug naar de kern? Wat is waarschijnlijkheid? Die orbitalen heb je niet nodig om met valenties en elektronenformules te kunnen werken, dat speelt pas een rol bij dubbele bindingen. Dat is puzzelen, daar kun je leuke dingen mee doen, N₂O, NNO, NON, dat vinden ze leuk. En dan de ladingen erbij, en daar kom je later op terug bij polaire moelkullen. Maar dat er eerst een stuk Schrödinger aan vooraf gaat, is niet erg. Dan hebben ze in ieder geval een keer van gehoord.

13. *Wat vind je de sterke punten van de module?*

A. Tweedeling : eerst focus op modelontwikkeling in deel 1, en daarna wat leerlingen daar vervolgens mee doen.

B. Covalentie staat er goed in, maar vinden ze wel moeilijk.

C. Opzet, eerst deel 1 waar leerlingen zelf aan het werk gaan, dan inhoudelijk stuk deel 2.

14. *Wat wil je veranderen voor volgend jaar?*

A. Schrodinger uit deel 1 halen. Misschien extra vragen als 'beantwoord ook waarom het vorige model niet meer voldoet'. Leerlingen vragen soms of er ook antwoorden zijn? Nu niet, misschien voor later achter de hand.

B. Opbouw van atoom explicieter naar voren brengen, covalentie en wat moeten de leerlingen ervan weten. Kennen en kunnen lijst erbij. Rustiger opbouw, meer aan de hand meenemen.

C. Niets, hij is al gedrukt. Alleen het normeringsmodel presentaties aanpassen (bv 'niet voorlezen').

15. *Wat vind je van de differentiatie van de module naar havo en vwo?*

A. Is heel goed uitgepakt.

B. Leuk dat in de vwo-module ook elektronenstructuur zit, dat puzzelen is leuk.

C. Inhoudelijk goed. Bohr voor havo, elektrovalentie met periodiek systeem. Havo heeft module voorafgaand aan zouten, die heeft vwo al gehad. Vwo doet Schrödinger, elektrovalenties vanuit elektronenformules. De modules zijn goed zo.