

# Navorsings- en oorsigartikels

## Modelle in die onderrig van fisika

J.J.A. Smit

Departement Fisika, Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys, Potchefstroom, 2520

Ontvang 11 Desember 1997; goedgekeur 14 September 1998

### UITTREKSEL

*Die rol van modelle in die onderrig van fisika is sedert die vroeë tagtigerjare erken. In die onderrig word die aksent op die kwantitatiewe aspekte van die vak geplaas, terwyl die kwalitatiewe aspekte min aandag kry. Die gevolg is dat hoërskoolleerlinge, universiteitstudente en selfs onderwysers probleme ondervind. In hierdie artikel word ingegaan op die kwalitatiewe aspekte wat in die verstaan van fisika belangrik is. In die eerste deel word die rol en funksies van fisikamodelle bespreek. In die tweede deel word 'n oorsig gegee van die bevindinge van drie ondersoeke wat in die RSA gedoen is oor aspekte van modelle wat van belang is vir die onderrig van fisika. Daar is bevind dat op hoërskool en universiteit ontoereikend aandag aan modelle gegee word.*

### ABSTRACT

#### *Models in the teaching of physics*

*The role of models in the teaching of physics has been recognised since the early eighties. At present the emphasis in teaching is on the quantitative aspects of physics. Insufficient attention is paid to the qualitative aspects. The consequence is that high school pupils, university students and even teachers have problems to understand physics. In this article qualitative aspects of physics, of importance for the understanding of physics, are discussed. In the first part the role and functions of physics models are discussed. The second part gives an overview of the most important findings of three studies conducted in the RSA on models in the teaching of physics. A conclusion is that insufficient attention is given at high school and at university to models in physics.*

### INLEIDING

Die sentrale doelstelling waarom alle fisika-onderrig wentel, is die verstaan van die vak. Die ervaring van dosente en onderwysers is egter dat, nie-teenstaande eerlike onderriginsette en toegewydheid aan studentekant, hierdie doelstelling selde bereik word. Universiteitstudente en hoërskoolleerlinge het ook die algemeen probleme met die verstaan van fisika.

In ondersoeke na faktore wat die verstaan van fisika in die weg staan, het twee sedert die vroeë tagtigerjare sterk na vore gekom. Die een is in die konteks van die onderrig van die vak. Tradisioneel word fisika volgens die sogenaamde *transmissie-model* onderrig. Die dosent of onderwyser is in die onderrig-situasie die aktiewe rolspeler en die leerder die ontvanger van die kennis. Hierdie onderrigmodel word as verouderd beskou en het plek gemaak vir die *konstruktivistiese beskouing* van leer. Volgens die konstruktivistiese beskouing is die leerder self verantwoordelik vir die skepping van sy/haar kennisstrukture. Leer is 'n interne proses waarin reeds bestaande kennis 'n belangrike rol speel.

Die ander faktor wat die effektiewe leer van fisika in die weg staan, hou verband met die epistemologie van die vak. Sekere sleutelkennisinhoud van fisika ontbreek in sillabusse en handboeke of word verkeerd voorgestel. Die gevolg is dat leerders en teenstrydighede in die kennisstrukture van leerders ontstaan en effektiewe leer nie plaasvind nie. Een belangrike inhoudstipe waaraan tans min of geen aandag gegee word nie, is modelle. Navorsing toon dat hierdie tekortkoming 'n belangrike rede is waarom leerders probleme het met die verstaan van fisika.

In die eerste deel van die artikel word 'n teoretiese agtergrond van fisikamodelle gegee, en in die tweede deel word die opvattinge wat Suid-Afrikaanse studente, leerlinge en onderwysers van modelle het, behandel.

### DEEL 1: TEORETIESE AGTERGROND VAN MODELLE IN FISIKA

Vanweë die omvang van die literatuur wat oor modelle handel, is 'n volledige oorsig van die onderwerp buite die streekwyde van hierdie artikel. Ten einde die leser te oriënteer, sal kort besprekings gegee word van die definisie van 'n model, klassifikasies van modelle en van die aard, ontstaan en funksies van fisikamodelle.

#### Definisie van 'n model

Vanweë die groot verskeidenheid modelle wat in fisika voorkom, is dit uiters moeilik, indien nie onmoontlik nie, om 'n omvattende definisie van 'n fisikamodel te gee.<sup>1</sup> 'n Definisie wat probeer om alle modelsoorte in fisika in te sluit, word so wyd en algemeen dat dit niksseggend word. 'n Goeie voorbeeld is die definisie van Apostel, aangehaal deur Bertels en Nauta:<sup>2</sup>

*Any subject using a system A that is neither directly or indirectly interacting with a system B, to obtain information about the system B, is using A as a model for B.*

Die alternatief tot pogings om die modelbegrip te definieer, is om die begrip te ontwikkel deur die verskillende modelsoorte, hulle aard en funksies te bespreek en om te verduidelik hoe modelle in fisika ontstaan.

Ons bespreek eers die verskillende modelsoorte in fisika aan die hand van enkele klassifikasies van modelle wat in die literatuur aangetref word.

#### Klassifikasies van modelle

Vir die doel van hierdie bespreking word gefokus op die klassifikasies van modelle deur Santema<sup>3</sup> en Harré.<sup>4,5</sup> Elk van die

klassifikasies bring belangrike eienskappe van modelle na vore. Santema<sup>3</sup> onderskei eerstens tussen *maakmodelle* en *kenmodelle*.

Maakmodelle is die modelle wat deur die mens gebruik word om iets in die praktyk te skep. Die ingenieur maak byvoorbeeld eers 'n model van 'n vliegtuig en toets dit in 'n windtonnel, voordat die werklike vliegtuig gebou word. Dit is belangrik om daarop te let dat die idee vir die model in die brein van die ingenieur ontstaan en die resultaat iets in die werklikheid is.

Kenmodelle is volgens Klaus<sup>6</sup> en Hesse<sup>7</sup> die wetenskaplike modelle. Dit is modelle wat die mens in staat stel om die natuur te ken of om kennis van die werklikheid te kry. Die onderskeid tussen maak- en kenmodelle berus op die rigting van die proses waarin die modelle gebruik word. Maakmodelle is van die mens af gerig op die vormgewing van tegniese voorwerpe en prosesse. Kenmodelle se funksie is na die mens se denke gerig. Dit help die mens om kennis van die werklikheid te kry. Werklikheid is in die konteks die geskape natuur. Harré<sup>4</sup> gaan verder as Klaus<sup>6</sup> en onderskei in sy bekende taksonomie tussen verskillende soorte kenmodelle op grond van die bron van die model. Modelle waar die objek wat modelleer word die bron van die model is, word *homeomorfe* genoem. 'n Voorbeeld van 'n homeomorf is die model wat van die aarde gevorm word. Die aarde is die bron van die model. As die bron van 'n model nie die objek is wat gemodelleer word nie, staan die model as 'n *paramorf* bekend. 'n Voorbeeld van 'n paramorf is die planetêre model van die atoom. Die objek van modellering in dié geval is die atoom, maar die bron van die model is die planetêre stelsel. By paramorfe is daar altyd sprake van 'n analogie.

'n Tweede eenvoudige klassifikasie is dié wat onlangs deur Harré<sup>6</sup> gemaak is. Volgens dié klassifikasie is daar in fisika slegs drie tipes modelle.

Tipe 1-modelle is verteenwoordigers van objekte of entiteite in die natuur wat die fisikus glo werklik bestaan. 'n Fisikus glo dat atome, molekule, mesone, pulsare, sonwinde en neutronsterre bestaan, omdat hierdie objekte eksperimenteel waargeneem kan word. Modelle van hierdie objekte val in Tipe 1.

Die tweede tipe modelle wat Harré onderskei, is dié van hipotetiese entiteite. Die entiteite wat gemodelleer word, kan moontlik bestaan, maar die bestaan daarvan is nog nie eksperimenteel geverifieer nie. Tans is die Higgs-boson nog nie eksperimenteel geverifieer nie. Die model van dié boson is 'n voorbeeld van Tipe 2. Indien die bestaan van die hipotetiese entiteit eksperimenteel bevestig word, verander die status van die model na Tipe 1. As bewys word dat die hipotetiese entiteit nie bestaan nie, bly die model voortbestaan in die geskiedenis van die vak. Voorbeelde van sulke modelle is die fluïdemodelle vir warmte en die etermodelle van Descartes en Maxwell.

Tipe 3-modelle verteenwoordig nie reële of hipotetiese entiteite nie. Die aangehaalde historiese modelle vir warmte en van die eter dien as voorbeelde van die tipe model. Hierdie modelle is bloot deel van die geskiedenis van die ontwikkeling van fisika en dien geen doel meer nie. Sommige Tipe 3-modelle word instrumenteel gebruik en het 'n baie belangrike funksie in fisika en tegnologie. 'n Voorbeeld van so 'n model is die konvensionele stroommodel in elektrisiteitsleer. Die positiewe ladings wat voorgestel word om die konvensionele stroom te vorm, is nie reële of hipotetiese entiteite nie. Dit is bloot 'n modelvoorstelling wat instrumenteel gebruik word om energieoordrag in elektriese stroombane kwantitatief te beskryf en om reëls, waar elektriese stroom ter sake is, eenvormig te maak.

### Die ontstaan en aard van modelle

Uit die bespreking in die vorige paragraaf is dit duidelik dat modelle menslike skeppings is, nie die werklikheid self nie, maar

hoogstens verteenwoordigers van reële entiteite of verskynsels.<sup>8</sup> Modelle is kreatiewe skeppings van die menslike verstand wat nie uit die data afgelees word nie,<sup>9,10,11,12</sup> maar soos Ramsay<sup>14</sup> dit stel: "The model arises in a moment of insight". Modelle wat in fisika gebruik word, is nie afbeeldings, kopieë, replikas of werklikheidsgetroue weergawes van reële entiteite nie. Van Oers<sup>8</sup> sien 'n model as 'n teken of simbool van 'n reële entiteit. Met die uitsondering van sommige wiskundige modelle kan gedagtebeelde van fisikamodelle gevorm word.

Modelle is tydelik van aard. 'n Model word gedurig aan nuwe kennis getoets en, indien nodig, aangepas of deur 'n ander model vervang. Gilbert<sup>14</sup> definieer wetenskap dan ook as 'n proses van modelbou. Die welslae van fisika word grootliks bepaal deur die eksakte wiskundige beskrywings van entiteite, verskynsels en prosesse in die natuur. Dit stel 'n eis aan die model: dit moet so gestruktureer word dat dit wiskundig hanteerbaar is. 'n Model word dikwels deur benaderings of idealiserings so aangepas dat dit wiskundig hanteerbaar is. Dit is egter ook 'n feit dat ontwikkelings in wiskunde al plaasgevind het om modelle in fisika te beskryf. Dit gebeur soms dat dieselfde entiteit, verskynsel of proses deur meer as een model beskryf kan word. Voorkeur word dan aan die eenvoudigste model gegee.<sup>15</sup> Modelle moet langs ander modelle, geskep vir ander doeleindes, in die struktuur van fisika inpas.<sup>15</sup> Anders gestel: modelle moet onderling harmonieer.

'n Kenmerk van fisikamodelle is dat dit gemeenskapsbesit is. Dit word algemeen aanvaar en deur fisici gebruik. Dit is deel van die wetenskaplike kultuur. Alle fisici het ooreenstemmende gedagtebeelde van die visueel voorstelbare modelle. Die modelle het name (etikette) wat in wetenskaplike kommunikasie 'n belangrike rol speel. As 'n fisikus byvoorbeeld die naam *Bohr-atoommodel* hoor, wek dit 'n bepaalde gedagtebeeld. Hierdie beeld stem ooreen met dié van ander fisici. 'n Model is altyd deel van 'n teorie.<sup>14,16,17</sup> Leubner<sup>17</sup> onderskei in enige volwaardige teorie drie elemente: die eerste is 'n versameling reële verskynsels, beskryf deur eksperimentele waarnemings; die tweede is 'n model wat relevant is tot die versameling verskynsels en die derde is 'n versameling korrespondensiereëls, wat die resultate wat deur wiskundige bewerkings van die model(le) afgelei word aan die werklikheid koppel.

### Die funksies van modelle

Die primêre funksie van fisikamodelle is, soos reeds gestel, die kenfunksie.<sup>3</sup> Deur die model kry die mens kennis van die werklikheid. Volgens Van Oers<sup>18</sup> is die verteenwoordiging van die werklikheid 'n belangrike kognitiewe funksie van modelle. "Het model constitueerd als het ware een artifiële werklikheid die afsonderlik op het mentale, aanskouwelijke of materiële niveau te ondersoeken is". In die geval van analoogmodelle (die paramorfe volgens Harré<sup>4</sup>) identifiseer Hesse<sup>7</sup> 'n positiewe, 'n negatiewe en 'n neutrale analogie tussen die model en die objek van modellering. Die positiewe analogie gee die eienskappe van die model en objek wat ooreenstem, die negatiewe die verskille. Die neutrale analogie is die eienskappe van die model en objek waarvan die wetenskaplike se kennis ontoereikend is om dit as positiewe of negatiewe analogie te klassifiseer. Die neutrale analogie is 'n bron van idees vir navorsing.

Modelle *beskryf* verskynsels, prosesse en objekte in die natuur. Die beskrywings geskied op grond van kennis wat die fisikus oor 'n aspek van die werklikheid het. 'n Model bring orde in empiriese inligting. Park<sup>15</sup> stel dit so: "It summarizes a number of observations that may be vast." Hierdie funksie van modelle word geïllustreer deur die werk van Tycho Brahe en Johannes Kepler. Brahe het duisende waarnemings van die

planete se bewegings gemaak en dit opgeteken. Die inligting was amorf, want hoewel dit sistematies opgeteken was, het dit geen patroon gehad of 'n struktuur vertoon nie. Kepler het die model grondliggend aan die data ingesien: die planete beweeg in elliptiese bane om die son, met die son in een van die brandpunte.

'n Ander belangrike funksie van modelle is die *verklaring* van verskynsels. Eksperimentele waarnemings word verklaar aan die hand van 'n model of modelle. Die Fraunhofer-lyne in die sonspektrum word verklaar deur modelle van die son en 'n atoommodel.

Modelle speel 'n sleutelrol in die ontwikkeling van fisika deurdat modelgebaseerde *voorspellings* van objekte en verskynsels gemaak word. Talle voorbeelde van sulke voorspellings kan aangehaal word. Subatomiese deeltjies soos neutrone, muone, kwarke en neutrino's is voorspel, lank voor dit eksperimenteel waargeneem is. Die planeet Neptunus is voorspel uit berekenings en waarnemings, gegrond op 'n model.

## DEEL 2: DIE OPVATTINGS VAN STUDENTE, LEERLINGE EN ONDERWYSERS OOR FISIKA-MODELLE

Uit die oorsigtelike besprekings van die aard, ontstaan funksies van fisika-modelle kom die fundamentele rol van modelle in die vak duidelik na vore. Dit is duidelik dat vir die verstaan van fisika 'n goeie kennis van die modelle in die vak noodsaaklik is. In navorsing wat sedert 1991 deur lede van die Eenheid vir die Bevordering van Natuur- en Skeikunde-onderwys van die PU vir CHO gedoen is, is universiteitstudente, hoërskoolleerlinge en hulle onderwysers se kennis van fisika-modelle nagevors. Die belangrikste resultate van die ondersoek word in hierdie afdeling bespreek.

Die eerste ondersoek<sup>19</sup> is in 1991 by 16 universiteite in die RSA gedoen. Die kennis van fisika-modelle van 196 B.Sc.-

gegradueerde studente, wat ingeskryf was vir die Hoër Onderwysdiploma, is vasgestel. Inligting is verkry deur vraelyste, waarin studente versoek is om hulle response te motiveer, opgevolg deur onderhoude met sommige van die studente. Die belangrikste resultate van die ondersoek is saamgevat in tabel 1.

Die eerste belangrike gevolgtrekking wat uit tabel 1 na vore kom, is dat studente van mening is dat fisika-modelle jou help om die natuur te verstaan (punt 1), komplekse en abstrakte dinge te verduidelik (punt 7) en hulpmiddels in die onderrig van fisika is (punt 9). Uit onderhoude met studente en uit response op ander items in die vraelys was dit duidelik dat hierdie drie opvatting binne die konteks van onderrig gesien moet word. Studente beskou fisika-modelle as onderrighulpmiddels. Dat dit 'n beperkte siening van die funksies van fisika-modelle is, is duidelik as dit vergelyk word met die funksies soos byvoorbeeld Klaus<sup>6</sup> dit beskryf.

'n Relatief hoë persentasie van die respondente (55%) beskou 'n fisika-model as 'n kopie/replika/namaaksel of voorbeeld van die entiteit wat modelleer word. 'n Model is identies of byna identies aan iets in die natuur. Sommige respondente het gestel dat daar 'n een-tot-een-ooreenkoms tussen die model en die werklike voorwerp is. Nadere ondersoek het getoon dat hierdie opvatting grootliks gehuldig word deur die subgroep biologie-studente (dit is studente wat 'n biologiese wetenskap as hoofvak in die graadstudie gehad het en fisika slegs op eerstejaarsvlak). 'n Analise van die skriftelike response van hierdie studente, onderhoude met van die studente en met plant- en dierkundes dosente het 'n verklaring vir die persepsie gebied. In die biologiese wetenskappe word na materiële voorstellings van byvoorbeeld die menslike skelet, brein, hart, bakterieë, insekte en plantselle as modelle verwys. Hierdie modelle pas in by die beskrywing van kopieë, replikas, ensovoorts van reële objekte. Die gevolgtrekking is dat die modelbegrip van die groep

<b>Opvatting</b>	<b>Persentasie studente met die opvatting</b>
1. 'n Model help jou om dinge in die natuur te verstaan	79
2. 'n Model is 'n kopie/replika/namaaksel/voorbeeld, identies of byna identies aan iets in die natuur. Daar is 'n een-tot-een-ooreenkoms tussen die model en die werklike voorwerp	55
3. 'n Model is 'n verteenwoordiger/voorstelling/beskrywing van 'n teorie. 'n Model is gebaseer op/afgelei van 'n teorie	46
4. 'n Model is 'n voorstelling van iets in die natuur (dit is nie die werklikheid self nie)	33
5. Modelle kan konkreet (materieel) wees	30
6. Modelle speel 'n rol in navorsing (kennisontwikkeling)	30
7. Modelle help om komplekse/abstrakte dinge te verduidelik	29
8. Modelle is visuele voorstellings van ongesiene en abstrakte entiteite	28
9. In onderrig word modelle gebruik as hulpmiddels om te verduidelik/help onthou (sien en onthou)	26
10. Geen onderskeid tussen "maakmodelle" en fisika-modelle ("kenmodelle")	25

biologie-studente, wat ontwikkel is in die biologiese wetenskappe, oorgedra is na fisika. Die studente beskou fisikamodelle as soortgelyk aan modelle in die biologiese wetenskappe. Die invloed van die modelbegrip in een dissipline op dié in 'n ander is nie beperk tot dié van die biologiese wetenskappe of fisika nie. Tagtig persent van die studente met huishoudkunde as hoofvak (en fisika op eerstejaarsvlak) beskou 'n model as tydelik. Uit onderhoude met van die studente het geblyk dat die studente met modelle van voeding, kleding (modes), ensovoorts werk. Die modelle is tydelik. Die gevolgtrekking is dat die dominante studiedissipline (biologie en huishoudkunde in die ondersoek) 'n invloed het op die modelbegrip in fisika. Hierdie siening is nie beperk tot Suid-Afrikaanse studente nie. Gilbert<sup>14</sup> het dit ook waargeneem by 'n groep biologiese studente in die VSA.

Die fundamentele rede waarom 'n model gesien word as 'n kopie of replika van 'n entiteit, is in die ondersoek vasgestel: studente beskou die onderliggende werklikheid as vas en onveranderlik. Modelle van werklike entiteite is dus ook vas en onveranderlik. Dit is in teenstelling met die wetenskaplike modelbeskouing en die feitlike inligting oor die ontwikkeling van modelle. Harré<sup>4</sup> beskou modelle as "eksistensiële hipotesisse". Nuwe kennis oor 'n onderwerp kan tekortkominge van 'n bestaande model blootlê. Dit het die aanpassing van die model of die skepping van 'n nuwe model tot gevolg. Die geskiedenis van die ontwikkeling van die planetêre modelle en van die atoommodelle illustreer hierdie punt.

Slegs ongeveer een derde van die respondente het besef dat fisikamodelle 'n rol in navorsing speel (tabel 1, punt 6). 'n Analise het getoon dat die siening gehuldig word deur studente met fisika of chemie as hoofvak of met 'n nagraadse kwalifikasie in een van die vakke. 'n Kwart van die groep studente het nie tussen die maak- en kenmodelle van Klaus<sup>6</sup> onderskei nie. Kennis van die bestaan van die instrumentele Tipe 3-modelle<sup>5</sup> en van die funksies van hierdie modelle, was totaal afwesig in die response van al die studente wat aan die ondersoek deelgeneem het.

Die siening dat 'n fisikamodel gegrond is op 'n vaste reële entiteit het 'n interessante uitwerking op studente se weergawe van die golfdeeltjie-dualiteit. Studente met dié siening probeer om 'n eenheidsmodel te skep. Omdat lig deeltjie- sowel as golfienskappe vertoon, het sommige studente met dié siening "golfpakkies" geskep. Etlieke studente het hierdie golfpakkies geskets (figuur 1).

'n Tweede groep studente sien lig as 'n transversale golfbeweging wat voortplant in 'n see van deeltjies. In 'n persoonlike onderhoud met 'n student wat die opvatting huldig, is sy gevra om die naam van die deeltjies waarin die golwe voortplant, te noem. Haar antwoord was: 'fotone'. Die volgende vraag was: "Hoe vinnig beweeg die fotone"? Die onmiddellike antwoord was: "Teen die spoed van lig". Toe sy gevra is hoe dit moontlik is dat deeltjies wat heen en weer beweeg, teen die snelheid van lig vorentoe beweeg, was die antwoord: "Nou weet ek nie." Hierdie voorbeeld illustreer hoe onafgerond die persoonlike modelle<sup>18</sup> van studente is.

'n Derde groep studente wat die eenheidsmodel vir lig aanvaar, sien lig as bestaande uit fotone wat, terwyl dit

voortbeweeg, 'n transversale golfbeweging uitvoer. Die analogie van hierdie voorstelling is die beweging van die ligkolletjie op die skerm van 'n ossiloskoop waarop 'n wisselspanning met 'n lang tydstelling vertoon word. Slegs een student (M.Sc. Fisika) het die bestaan van die golf- en deeltjiemodelle van lig in terme van Bohr se komplementariteitsbeginsel verduidelik.<sup>20</sup>

'n Studie van die populêrste fisikahandboeke wat tydens die ondersoek aan Suid-Afrikaanse universiteite gebruik is,<sup>21, 22, 23</sup> het getoon dat die handboeke oor die algemeen min inligting oor fisikamodelle verskaf. Besondere modelle word behandel, maar geen oorsig van die aard, ontstaan en funksies van modelle word gegee nie. Die gevolgtrekking uit hierdie eerste ondersoek was dat die kennis van die groep voornemende onderwys-studente onvoldoende is om die fisikakomponent van natuur- en skeikunde sodanig te onderrig dat leerlinge dit verstaan.

Die ondersoek is opgevolg deur 'n tweede<sup>24</sup> wat in 1993 in skole in die destydse Wes-Transvaal en die PWV-gebied gedoen is. Inligting oor natuur- en skeikundeonderwysers se kennis van modelle in elektrisiteitsleer is bekom deur vraelyste wat opgevolg is deur 'n aantal onderhoude. 142 onderwysers het die vraelyste voltooi en onderhoude is met 23 gevoer. As deel van hierdie ondersoek is Suid-Afrikaanse natuur- en skeikunde-sillabusse en handboeke ook bestudeer. In hierdie geval is op twee modelle gefokus: die elektronestroommodel en die konvensionele stroommodel.

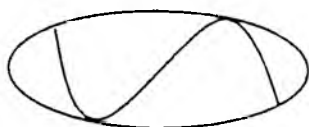
### Elektronestroom en konvensionele stroom

Oor die algemeen het onderwysers vermeld dat hulle minder probleme met die elektronestroom as met die konvensionele stroom ervaar. Slegs 33% van die respondente het te kenne gegee dat hulle self geen probleme met die konvensionele stroom ervaar nie. Oor die algemeen het onderwysers vermeld dat leerlinge die konvensionele stroom aanvaar en in die laer standers korrek gebruik. Sodra atoomstruktuur in graad 10 behandel is, duik probleme op. Leerlinge wil dan weet wat beweeg om die konvensionele stroom te vorm, aangesien die positiewe ladings in 'n metaaldraad in die atoomkerne gesetel is en die kerne nie vry is om te beweeg nie. Die elektriese stroom word volgens die atoomteorie gevorm deur die beweging van elektrone. Hierdie probleem met die verstaan van die konvensionele stroom is 'n direkte gevolg van onderwysers se gebrek aan kennis van die bestaan van Harré<sup>5</sup> se Tipe 3-modelle. Onderwysers sien alle modelle as verteenwoordigers van reële entiteite, dit wil sê as Tipe 1-modelle.

'n Ander bevinding van die ondersoek was dat die doel waarvoor die konvensionele stroommodel gebruik word, nie vir al die onderwysers duidelik was nie. Slegs 64% van die groep het saamgestem dat die konvensionele stroom 'n nuttige modelvoorstelling is waarmee energieoordrag in elektriese stroombane kwantitatief beskryf kan word. Hierdie leemte kan direk in verband gebring word met die behandeling van die onderwerp in die huidige natuur- en skeikundesillabus en skoolhandboeke. 'n Algemene gevolgtrekking was dat slegs 27% van die respondente bewus was van die twee modelvoorstellings waarmee elektriese verskynsels beskryf, voorspel en verklaar word.

Die studie van onderwysers se kennis van die twee spesifieke modelle wat in elektrisiteitsleer gebruik word, het getoon dat die probleme wat hoërskoolleerlinge met die verstaan van elektrisiteit het, toegeskryf kan word aan onderwysers se swak kennis van die aard en funksies van modelle.

Daar is ook vasgestel dat onderwysers en leerlinge probleme het met die visualisering van die modelle. Dat visualisering baie belangrik is in die leer en verstaan van fisika word tans algemeen



FIGUUR 1: Student se voorstelling van 'n "golfpakkie".

aanvaar. Navorsing toon dat beroemde fisici soos Bohr, Einstein<sup>25, 26</sup> en Feynman<sup>27</sup> visuele denkers was.

Die navorsing is afgerond deur 'n derde projek<sup>28</sup> waarin aspekte van visualisering by natuur- en skeikundeleerlinge en hulle onderwysers ondersoek is.

### Visualisering in elektromagnetisme

In die projek<sup>28</sup> wat in 1994-1995 in die Noordwes Provinsie uitgevoer is, is die visuele voorstellings van konsepte in elektromagnetisme van graad 10-leerlinge nagegaan. Die studie is beperk tot visualisering in elektromagnetisme. 308 leerlinge het vraelyste voltooi. Onderhoude is met al die leerlinge se natuur- en skeikundeonderwysers gevoer en die onderwysers het 'n afsonderlike vraelys ingevul. Die studie is uitgevoer nadat elektromagnetisme in die klas behandel is.

Uit hierdie studie is die volgende gevolgtrekkings gemaak:

- \* Die groep onderwysers wat aan die ondersoek deelgeneem het, besef die belangrikheid van visualisering en streef daarna om visuele beelde van die tersaaklike modelle en prosesse by leerlinge te skep, maar het nie altyd self die wetenskaplik aanvaarde gedagtebeelde nie. Die beskrywings wat in skoolhandboeke gegee word, is oor die algemeen nie so duidelik dat duidelike gedagtebeelde geskep kan word nie.
- \* Leerlinge het helder gedagtebeelde van apparaat, soos magnete en transformators, maar ondervind probleme met visualisering van die niesigbare entiteite soos elektrone-stroom, konvensionele stroom en magnetiese vloed. Van magneetvelde en magnetiese veldlyne, konsepte wat prakties gedemonstreer is en waarvan sketse in handboeke is, het leerlinge oor die algemeen duidelike gedagtebeelde.
- \* Uit die ondersoek het dit ook geblyk dat leerlinge oor die algemeen meer probleme ondervind om visuele voorstellings te vorm van dinamiese entiteite en prosesse as van entiteite wat nie verander nie. Daar blyk verwarring te wees met die begrippe magnetiese vloed en magnetiese vloedverandering. Leerlinge sien beide as dinamies.
- \* Die ondersoek het onomwonde getoon dat eksperimente en demonstrasies van eksperimente bydra tot visualisering in elektromagnetisme. Leerlinge verbonde aan 'n tegniese skool wat by die ondersoek betrek is, het aansienlik beter gedagtebeelde van entiteite in elektromagnetisme gehad as leerlinge in die ander skole.
- \* Sketse het geblyk 'n probleem te wees wat belemmerend inwerk op doeltreffende visualisering. Onderwysers ondervind probleme om sketse te maak wat hulle gedagtebeelde korrek oordra. Veral sketse van driedimensionele voorwerpe gee probleme.

### Gevolgtrekking

Die resultate van die drie ondersoeke wat in die artikel bespreek is, dui daarop dat die kennis van fisika modelle van finalejaar natuur- en skeikundeonderwysstudente aan Suid-Afrikaanse universiteite en van natuur- en skeikundeonderwysers onvoldoende is vir hulle onderrigtaak op hoërskool. Dit is een van die oorsake waarom leerlinge probleme het om die vak te verstaan.

Die swak kennis van modelle kan toegeskryf word aan die klem wat tans in die onderrig van fisika op die kwantitatiewe aspekte van die vak gelê word, ten koste van die kwalitatiewe aspekte. Fisika het ontwikkel uit natuurfilosofie. In die huidige fisika, soos dit op universiteit aangebied word, word min aandag aan die filosofiese grondslae, die aard en geskiedenis van die

vak gegee. Dit het tot gevolg dat studente 'n ontoereikende kennis verkry van fundamentele inhoudstipes, soos modelle, teorieë en paradigmas en gevolglik probleme het met die verstaan van sekere aspekte van die vak. Regstelling hiervan vind tans plaas in byvoorbeeld die VSA<sup>29, 30</sup> en die Verenigde Koninkryk,<sup>31</sup> waar modellering eksplisiet aandag kry in vernuwingsprogramme.

## SUMMARY

Models play a key role in the development and epistemology of physics. In the present quantitative approach to the teaching of physics little or no attention is given to the nature and functions of models. This causes problems with the understanding of physical concepts at high school and at university level. It was established through the investigations reported in this article that physical science teachers and even authors of high school textbooks experience problems with the understanding of certain sections of physics due to a lack of knowledge of the nature of the relevant models.

This article, in the first part, gives a theoretical background of the models in physics. It is pointed out that, due to the large variety of models in physics, it is rather difficult, if not impossible, to give a meaningful definition of what a model in physics is.

Two classification schemes of physics models are given: the well-known taxonomy of Harré and his more recent classification of all physics models into three types. The latter classification is simple and can be of great value in physics education.

The second part reveals perceptions of physics models held by high school pupils, their teachers, and university students. The results of three investigations, conducted between 1991-1995 in the RSA, are discussed.

It was revealed, in a first investigation, that prospective graduated physical science teachers in their final year of study at university have the impression that models are nothing more than educational aids. They view models as similar in appearance to the object or entity of which it is a model. This view appears to originate in studies of the biological sciences and domestic science and transfers to physics. Students with this perception of what a model is in physics, tend to combine different models of an entity, for example, the wave and particle models of light. The majority of prospective physical science teachers were totally unaware of the third type of model identified by Harré.

The second survey proved the physical science teachers' knowledge of models in electricity. It was proved that the problems high school pupils have with the understanding of electricity, can be related to their teachers' lack of knowledge of the basic models in electricity. Only a few of the teachers participating in the survey displayed an understanding of the conventional current model. It was also established that teachers and pupils have problems with the visualization of models in physics. These problems were investigated in a study focused on visualization in electromagnetism. The outcome of this study revealed that pupils have very few problems with the visualization of objects and entities of which they saw sketches. Processes proved to be more difficult to visualise than static entities. Visualization of three-dimensional objects and entities were in general described by pupils and teachers as difficult. A positive correlation was found between concepts teachers and their pupils do not understand. The cause of this lies in problems teachers have with the visualization of the underlying models.

A recommendation from these studies is that in physics teaching more attention should be given to the aspects of modelling and visualization of models in physics.

## LITERATUURVERWYSINGS

1. Kollaard, U.H. (1991). *Didactisch vertalen* (Vrije Universiteit, Amsterdam).
2. Bertels, K. en Nauta, D. (1969). *Inleiding tot het modelbegrip* (W. de Haan, Bussum, Nederland), p.167.
3. Santema, J.H. (1978). *Modellen in de Wetenschap en de Toepassing ervan* (Delftse Universitaire Pers, Delft, Nederland) pp. 186-193.
4. Harré, R. (1970). *The Principles of Scientific Thinking* (University of Chicago Press, Chicago).
5. Harré, R. (1991). Persoonlike mededeling. (Oxford).
6. Klaus, F.P.G. (1972). Kybernetik und Erkenntnistheorie. Aangehaal in J.H. Santema, 1978, *Modellen in de Wetenschap en de Toepassing ervan* (Delftse Universitaire Pers, Delft, Nederland).
7. Hesse, M.B. (1970). *Models and Analogies in Science* (University of Notre Dame Press, Notre Dame, Indiana).
8. Van Oers, B (1987). *Activiteit en Begrip. Proewe van een Handelingspsigologiese Didaktiek* (Doktorale proefskrif, Vrije Universiteit, Amsterdam, Nederland), p. 277.
9. Ouweneel, W.J. (1991). *Natuurwetenskap en Natuurbeskouing* (Potchefstroomse Universiteit, Potchefstroom).
10. Leatherdale, W.H. (1974). *The role of Analogy, Model and Metaphor in Science* (North Holland, Amsterdam).
11. Harré, R. (1960). *An introduction to the Logic of the Sciences* (Macmillan, London).
12. Popper, K. (1959). *Logic of Scientific Discovery* (Hutchinson, London).
13. Ramsay, I.T. (1964). Models and Mystery, p13, aangehaal in W.H. Leatherdale 1974, *The role of Analogy, Model and Metaphor in Science* (North Holland, Amsterdam) p. 62.
14. Gillbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
15. Park, D. (1988). *The How and the Why* (Princeton University Press, Princeton, New Jersey) p. 74.
16. D'Espagnat, B. (1983). *In Search of Reality* (Springer-Verlag, New York).
17. Leubner, C. (1989). *The Structure of Physical Theories* (Innsbruck Universiteit, Innsbruck, Oostenryk).
18. Van Oers, B. (1988). Modellen en de Ontwikkeling van het (Natuur-) Wetenskapelike denke van leerlinge, *Tydskrif vir Didaktiek der B-Wetenskappe*, 6(2), 115-143.
19. Smit, J.J.A. en Finegold, M. (1994). Models in Physics: perceptions held by final-year physical science teachers studying at South African Universities. *International Journal of Science Education*, 17(5), 621-634.
20. Mulligan, J.F. (1985). *Introductory College Physics* (McGraw-Hill Book Company, New York), p. 782.
21. Kane, J.W en Sternheim, M.M. (1984). *Physics* (John Wiley, New York).
22. Halliday, D., Resnick, R. en Walker, J. (1993). *Fundamentals of Physics* (John Wiley, New York).
23. Sears, F.W., Zemansky, M.W. en Young, H.D. (1980). *College Physics* (Addison Wesley, Reading, Massachusetts).
24. Smit, J.J.A. en Nel S.J. (1994). *Opvattinge van modelle in elektrisiteitsleer gehuldig deur Natuur- en Skeikundeonderwysers in die RSA*. Verslag aan Sentrum vir Wetenskapontwikkeling. (Potchefstroomse Universiteit vir CHO, Potchefstroom).
25. Murdoch, D. (1987). *Niels Bohr's philosophy of physics* (Cambridge University Press, Cambridge).
26. Pais, A. (1991). *Niels Bohr's times: in physics, philosophy and polity* (Clarendon Press, Oxford).
27. Gleich, J. (1992). *Genius. Richard Feynman and Modern Physics* (Abacus, London).
28. Smit, J.J.A. en Nel, S.J. (1996). *Visualisering in Natuur- en Skeikunde: die verband tussen onderrig en gedagtebeelde van leerlinge* (Verslag aan Sentrum vir Wetenskapontwikkeling, Potchefstroomse Universiteit vir CHO, Potchefstroom).
29. Hestenes, D. (1987). Toward a Modeling Theory of Physics Instruction. *American Journal of Physics*, 55, 440-454.
29. Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 60, 732-748.
30. The Association for Science Education. *Models and Modelling* (ASE, Hatfield, Herts, UK).