

4.2 Domeinspecifieke leerstofopbouw

4.2.7 Deeltjesfysica

Achtergrondinformatie

Deeltjesmodel en molecuultheorie

Inleiding

In de natuurkundelessen wordt in de tweede klas bij het onderwerp faseovergangen meestal het deeltjesmodel voor stoffen geïntroduceerd. Het dient dan tevens als een voorbeeld voor het werken met modellen in de natuurkunde. Met behulp van eenvoudige proefjes worden eigenschappen van de stoffen verkend (gassen, vloeistoffen of vaste stoffen). Deze eigenschappen van stoffen worden omgezet in eigenschappen van de deeltjes uit het deeltjesmodel. Een proefje als het even opendraaien van de gaskraan leidt tot de constatering dat gassen zich willen verspreiden in de ruimte waarin ze zich bevinden. De corresponderende eigenschap van de deeltjes is dan dat ze met veel tussenruimte kris kras door elkaar bewegen en dus na enige tijd overal in de ruimte zullen zijn. Een eigenschap van een gas is zo inzichtelijk gemaakt (verklaard) met eigenschappen van de deeltjes in het deeltjesmodel.

Hieronder worden enkele didactische problemen verwoord die zich voordoen bij de boven geschetste aanpak, en enkele suggesties gegeven voor een oplossing.

Didactische problemen

Allereerst geeft bovenstaande aanpak een karikatuur van het modelleren in de natuurkunde. De betekenis van het woord modelleren staat omschreven in het woordenboek (zie kader). In deze zin is er bij het deeltjesmodel geen sprake van modelleren. In welke zin dan wel?

In de natuurwetenschappen blijkt de overgang van een beschrijving van de natuurverschijnselen vanuit de waarneming naar een inzichtelijk beschrijving vanuit de theorie over het algemeen pas mogelijk na een moeizaam en langdurig denkproces. Vanuit het gezichtspunt van de theorie kunnen ineens een groot aantal beschreven verschijnselen begrepen worden in onderlinge samenhang, met een beperkt aantal concepten en regels uit de theorie. In het geval van faseovergangen kunnen verschijnselen als smelten, stollen, verdampen en condenseren begrepen worden uit de beweging van de moleculen van de stof. Schoolboeken suggereren vaak ten onrechte dat de overgang van beschreven verschijnselen naar het begrijpen vanuit de theorie een soepele en vanzelfsprekende overgang is. Bovendien suggereren ze dat een enkel experiment al tot die stap kan leiden en een-op-een verbonden kan worden met eigenschappen van moleculen. In werkelijkheid zijn er vele experimenten gedaan met een schat aan beschreven verschijnselen voordat de overstap naar een nieuwe theorie werd gemaakt.

Vervolgens is het woord ‘deeltje’ erg verwarrend. Eigenlijk betekent het woord deeltje een klein deel of gedeelte, wat suggereert dat het deeltje nog steeds een stof is maar dan een heel klein beetje. We willen juist de notie aanbrengen dat in het deeltjesmodel een deeltje niet dezelfde eigenschappen als de stof heeft, maar dat de eigenschappen van de verzameling van deeltjes overeenkomen met de eigenschappen van een stof.

Verder wordt in de teksten in schoolboeken vaak impliciet en veelvuldig overgeschakeld van een beschrijving vanuit de eigenschappen van een stof en een beschrijving vanuit de eigenschappen van de deeltjes, met als risico dat eigenschappen van de stof worden toegekend aan het deeltje en andersom.

Didactische oplossingen

Als instapprobleem voor het invoeren van moleculen kan gekozen worden voor de Brownse beweging. Toon het verschijnsel dat een rookdeeltje kris-kras

Van Dale groot woordenboek der Nederlandse taal

Model

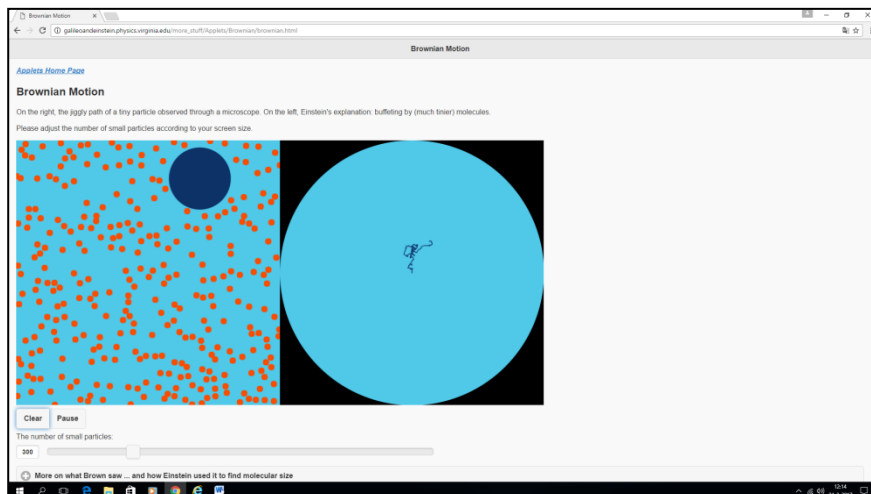
In de moderne wetenschappelijke opvatting: empirische interpretatie van een mathematisch logisch systeem (dus van een set wiskundige vergelijkingen met beginvoorwaarden en randvoorwaarden)

Van Dale groot woordenboek der Nederlandse taal

Deeltje

Klein deel of gedeelte

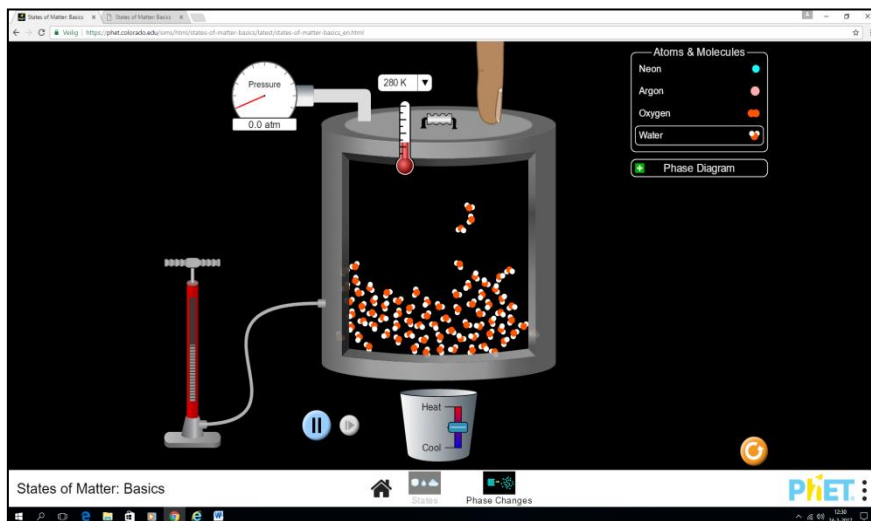
beweegt, bijvoorbeeld met een applet als [Brownian motion](#) (zie figuur 1). De Brownse beweging is alleen te begrijpen door gebruik te maken van de voorstelling van een gas als bewegende moleculen die elastisch botsen.



Figuur 1 – Schermbeeld van de applet Brownian motion.

Voor de behandeling van het deeltjesmodel als onderdeel van het onderwerp faseovergangen pleiten we voor de volgende kenmerken.

- De woorden *deeltje* en *model* worden niet meer gebruikt; in plaats hiervan wordt gebruik gemaakt van de woorden *molecuul* en *theorie*. Een molecuul is opgebouwd uit atomen die we ons voorstellen als harde bolletjes. Als analogie voor het botsen van moleculen tegen elkaar en de wand kunnen we het biljart gebruiken. Een computersimulatie als [Molecular motion](#) met bewegende en botsende bolletjes geeft ook een duidelijke voorstelling (zie figuur 2). Een trilmachine met fietskogeltjes is een redelijk alternatief, maar de aandacht wordt afgeleid door het feit dat je ziet dat er van buitenaf energie moet worden toegevoerd om de beweging van de fietskogeltjes in stand te houden.



Figuur 2 – Schermbeeld van de applet Molecular motion.

- De stoffen en faseovergangen worden eerst vanuit het rechtstreeks waarneembare beschreven, zowel de praktijkvoorbeelden uit de dagelijkse omgeving als de geschematiseerde voorbeelden uit het laboratorium. Dit leidt tot een samenhangende set eigenschappen rechtstreeks gekoppeld aan het waarneembare.

Eigenschappen van stoffen

- Een gas is samendrukbaar, verspreidt zich in de ruimte, mengt met andere gassen, kan kracht uitoefenen. Van een gas neemt de druk toe als je het samenperst, maar ook de temperatuur. Van een gas neemt de druk toe als je de temperatuur verhoogt.
- Een vloeistof is niet samendrukbaar, je kunt het schenken en laten uitvloeien, het vormt druppels, het kan krachten doorgeven in alle richtingen. De meeste vloeistoffen zetten uit bij verwarmen en krimpen bij afkoelen.
- Een vaste stof is niet samendrukbaar, vanuit zichzelf behoudt het zijn vorm, je kunt het in stukken verdelen. De meeste vaste stoffen zetten uit bij verwarming en krimpen bij afkoelen.
- Een vaste stof zoals ijs gaat smelten als je warmte toevoert. Tijdens het smelten is de temperatuur constant; daarna kun je de vloeistof verder verwarmen totdat de vloeistof gaat koken en verandert in een damp of gas.
- Bij de omgekeerde weg komt bij condenseren en stollen warmte vrij; dit is evenveel als op de heenweg was opgenomen.
- Eigenschappen van een stof zijn onder andere: temperatuur, volume, massa, hardheid, kleur, smaak, geur ...

- De molecuultheorie wordt als een samenhangende voorstelling gebracht, waarbij niet gesuggereerd wordt dat die rechtstreeks en logisch volgt uit de waarnemingen. Wel is het zo dat geordende waarnemingen nodig waren om een nieuwe voorstelling te ontwikkelen.

Een verzameling harde bolletjes

Een stof is een verzameling moleculen. Moleculen zijn een of meerdere atomen die aan elkaar vast zitten. Atomen mogen we ons voorstellen als harde bolletjes.

- In een gas bewegen de moleculen kris-kras door elkaar; ze botsen tegen elkaar en tegen de wand en veranderen voortdurend van snelheid. Bij de botsingen gaat geen energie verloren, dus de moleculen blijven in beweging. Tussen de moleculen in een gas is een grote tussenruimte. Bij ideale gassen trekken de moleculen elkaar niet aan. Als ze botsen met elkaar of met de wand dan is er een grote afstotende kracht.
- In een vloeistof zitten de moleculen tegen elkaar aan, maar ze kunnen wel langs elkaar heen bewegen. De moleculen trekken elkaar aan en het kost moeite ze uit elkaar te halen. Om van een vloeistof een gas te maken moet je dus de vloeistof verwarmen.
- In een vaste stof zitten de moleculen op een vaste plaats; ze trillen om hun evenwichtstand. Dit betekent dat de moleculen samen een star geheel vormen. Bij verwarmen gaan de moleculen zo hard trillen dat ze los komen van hun vaste plaats en kunnen gaan bewegen langs elkaar; het is dan een vloeistof geworden.

- De samenhangende groep van eigenschappen van de stof wordt inzichtelijk beschreven vanuit de samenhangende voorstelling van een verzameling moleculen, zoals in het kader hieronder.



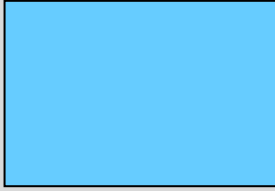





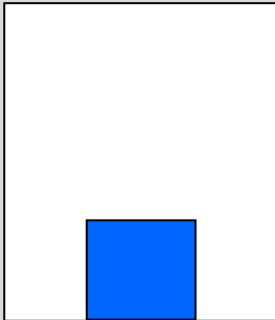
Stofeigenschappen en molecuultheorie

- Een gas is samendrukbaar vanwege de grote tussenruimte tussen de gasmoleculen; een vloeistof en een vaste stof zijn dat niet of nauwelijks vanwege het dicht op elkaar zitten van de vloeistof- en vaste-stof-moleculen.
- De druk van een gas kunnen we ons voorstellen als het voortdurend botsen van gasmoleculen tegen de wand van de ruimte waarin het gas zit.
- Temperatuur komt overeen met de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen. Verwarmen van een stof betekent dat de moleculen harder gaan bewegen. De toegevoerde warmte wordt omgezet in bewegingsenergie van de moleculen. Bij smelten en verdampen blijft de temperatuur constant maar neemt het volume toe. De toegevoerde warmte wordt omgezet in vanderwaalsenergie (plaatsenergie ten gevolge van de onderlinge elektrische krachten).

Bovenstaande overwegingen geven aanwijzingen voor een leerstofopbouw waarin rekening wordt gehouden met de werkelijkheidsgerichte didactiek die gekenmerkt wordt doordat het leerproces begint en eindigt in de werkelijkheid van de dagelijkse omgeving (zie figuur 3), en waarin aandacht wordt besteed aan het onderscheiden van vier beschrijvingsniveaus: beschrijven van praktijkvoorbeelden uit de dagelijkse omgeving vanuit de waarneming, beschrijven van

schematische voorbeelden uit het laboratorium vanuit de waarneming, inzichtelijk beschrijven vanuit wetmatigheden voor stoffen en inzichtelijk beschrijven vanuit wetmatigheden voor moleculen (zie figuur 4).

De fasen van water: ijs, water en waterdamp

 <p>Dagelijks leven: het water verdampt en het zout blijft achter</p>	 <p>Laboratorium: kokend water</p>	 <p>Theorie: een gas verspreidt zich in het vat. Een gas heeft geen vaste vorm en geen eigen volume.</p>
 <p>Dagelijks leven: waterval</p>	 <p>Laboratorium: kraanwater</p>	 <p>Theorie: een vloeistof vult de bodem van het vat. Een vloeistof heeft een eigen volume maar geen eigen vorm.</p>
 <p>Dagelijks leven: gletsjer</p>	 <p>Laboratorium: ijsblokjes</p>	 <p>Theorie: een vaste stof staat op de bodem van het vat. Een vaste stof heeft een eigen volume en een eigen vorm.</p>

Figuur 3 – Suggesties voor een leerstofopbouw die start vanuit de dagelijkse omgeving.

Leer-jaar	Beschrijven van de praktijk-voorbeelden uit de dagelijkse omgeving	Beschrijven van de schematische voorbeelden in het laboratorium	Inzichtelijk beschrijven met wetmatigheden voor stoffen	Inzichtelijk beschrijven met wetmatigheden voor moleculen
	→ oriënteren ← toepassen	→ verwerven ← verwerken	→ verwerven ← verwerken	
2	<p>Neerslag: hagel, sneeuw, regen, mist</p> <p>IJs in het vriesvak</p> <p>Condens in de badkamer</p> <p>IJs op de autoruit</p>	<p>Proefjes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • smelten van ijs tot water • verdampen van water op een horlogeglas • fluitketel met glasplaat in de stoom 	<p>Stoffen</p> <ul style="list-style-type: none"> • gassen • vloeistoffen • vaste stoffen <p>Verschillen wat betreft</p> <ul style="list-style-type: none"> • vormbehoud • volumebehoud <p>Faseovergangen</p> <ul style="list-style-type: none"> • smelten en stollen • verdampen en condenseren • vervluchtigen en rijpen 	<p>Moleculen zijn opgebouwd uit atomen die je mag voorstellen als kleine harde bolletjes</p> <p>Eigenschappen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • kleine bolletjes • bewegen kris-kras door elkaar • botsen met elkaar en de wand • blijven in beweging

	Centrale verwarming Luchtstromen en klimaat Luchtstromen en binnen- klimaat	Proefjes: <ul style="list-style-type: none"> • stroombuis • luchtstroomspiraal • geleidingskruis • gloeilamp 	Warmtetransport <ul style="list-style-type: none"> • materiestroming • stofgeleiding • straling 	Warmtetransport: <ul style="list-style-type: none"> • bewegende moleculen verplaatsen zich • bewegende moleculen geven beweging aan elkaar door • geen rol voor moleculen
3	Thermoskan Spouwmuurisolatie	Opstellingen met <ul style="list-style-type: none"> • joulemeter • temperatuurmeting bij faseovergangen 	Warmte toevoer en afvoer bij faseovergangen $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ $Q = m \cdot r_{s,v}$ $Q_{in} = Q_{uit}$	De moleculen hebben twee soorten energie: <ul style="list-style-type: none"> • bewegingsenergie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ • plaatsenergie E_{vdW}
			Warmte-isolatie en temperatuurevenwicht $Q_{in} \text{ en } Q_{uit} \leftrightarrow \Delta T$	De temperatuur van een stof is evenredig met de gemiddelde kinetische energie van de moleculen De vanderwaalsenergie hangt samen met de elektrische kracht tussen moleculen vanwege aanwezige dipolen
4		Opstellingen van <ul style="list-style-type: none"> • Boyle • Gay-Lussac 	Algemene gaswet $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R \cdot T$ $c_p = c_v + R$	
5-6	Fietspomp Koelkast Verbrandingsmotor Airconditioning	Warmtemachines	Energiebehoud $W + Q = \Delta E_{inw}$ Arbeid door/op het gas $W = p \cdot \Delta V$	

Figuur 4 – Suggesties voor een leerstofopbouw met aandacht voor het voor het onderscheiden van de verschillende beschrijvingsniveaus.