**Radiometer van Crookes**

[subtitel]Nietbotsende fotonen maar:… kruipende gasmoleculen

[onderwerpsymbool] MF

[A]

Tijd

15 – 30 minuten

Bereik

bovenbouw vanaf klas 5

[inleidend kader]

Een radiometer van Crookes of lichtmolen is in veel natuurkundekabinetten te vinden. Als je hem voor het raam zet zal hij beginnen te draaien, maar waardoor doet hij dat? Maak van dit mooie verschijnsel een onderzoeksproject waarmee je laat zien hoe wetenschap werkt.

[eind kader]

KS03\_Figuur 1] *Figuur 1: Een radiometer van Crookes*

**Nodig**

Een lichtmolen; zonlicht; verschillende lichtbronnen (laserpointer, zaklamp, led); föhn; ijsklontjes; zwart doek.

**Voorbereiding**

Leg alle benodigdheden klaar

**Uitvoering**

1. Laat zien dat de molen draait zodra hij in het zonlicht komt.
2. *Schrijf in tweetallen wat een beredeneerde verklaring (= hypothese) voor dit verschijnsel is.*
3. Verzamel alle ideeën en vraag vervolgens, om weer in tweetallen een experiment te bedenken om de hypothese te testen. Daarbij mogen alle voorwerpen die klaarliggen gebruikt worden. Ook andere voorstellen zijn goed, als de leerling maar kan uitleggen waardoor het voorstel je dichter bij een antwoord brengt.
4. Grijp je kans om het leren onderzoeken te stimuleren. Breng daarvoor structuur aan in het onderzoek. Bijvoorbeeld door
5. Systematisch bij elke stap PEOE (Predict-Explain , Observe-Explain) toe te passen, zie ShowdeFysica1 blz.16 .
6. Om het verschil tussen waarneming en conclusie (of interpretatie) duidelijk te maken, kun je een tabel op het bord zetten met de koppen:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Experiment** | **Waarneming** | **Interpretatie/conclusie**  **(= volgende testbare hypothese)** |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. Voor het geval dat niemand het voorstelt: laat voorspellen wat er gebeurt als je met ijsklontjes de lichtmolen afkoelt.
2. Geef eventueel als huiswerkopdracht naar verklaringen op het internet te zoeken. Er zijn daar heel veel verschillende verklaringen te vinden!

*We kwamen veel verklaringen tegen die niet kloppen*. *Hoe blijven ideeën in leven, hoe gaan ze dood, of gaan ze niet dood? Hoe zit dat nu met de wetenschap en wetenschapscommunicatie?*

1. Controlevraag: *Waarom zit de lichtmolen in de glazen bol met lage luchtdruk? Zou hij niet veel beter werken met meer lucht, omdat dan meer moleculen tegen de vinnen botsen?*

**Natuurkundige achtergrond**

Mogelijke uitkomst van het onderzoek:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Experiment** | **Waarneming** | **Interpretatie/conclusie**  **(= volgende testbare hypothese)** |
| Zonlicht valt op de molen | Molen gaat draaien (glanzende zijde aan de voorkant, zwarte zijde van de wieken aan de achterkant) | Het heeft iets met licht te maken |
| **LED lamp schijnt op de molen** | Molen draait niet. | Het is niet licht maar warmte die ertoe doet. |
| **Met de Föhn de lichtmolen warm maken** | Molen draait snel | Het zou inderdaad om warmte kunnen gaan. |
| **Lichtmolen in het donker warm maken** | Tja, hoe doe je dat in het donker? | Licht doet er niet toe warmte wel. |
| **Lichtmolen met ijs-klontjes koud maken** | Molen draait andersom. | De kleur (zwart of reflecterend) van de wieken doet ertoe. |
| **Lichtmolen helemaal vacuüm zuigen** | Omdat dit op school niet mogelijk is, vertellen wat er uit komt: de molen draait dan niet meer, ook niet bij zonlicht. | Omdat de molen alleen draait als er nog een beetje gas bij de wieken is, zou het met de beweging van de gasmoleculen te maken kunnen hebben. |

Een vaak gevonden verklaring is het volgende: De zwartgekleurde kant van de wiek is warmer dan de glanzende kant, de gasmoleculen op de zwartgekleurde kant hebben dus gemiddeld een hogere snelheid. Wanneer deze snelle gasmoleculen op de donkere kant van de vinnen botst, krijgt de molen (gemiddeld) een grotere "schop" dan de gemiddelde "schop" van de glanzende zijde, waar de moleculen minder snel bewegen, omdat het daar minder warm is. De terugslag van deze "schoppen" duwt op de zwarte kant van de vinnen en is verantwoordelijk voor de waargenomen rotatie.

Helaas is dit niet de laatste stand van de wetenschap: De huidige geaccepteerde verklaring werd door Osborne Reynolds in 1879 geformuleerd. Volgens deze verklaring zou een effect verwand aan *thermische transpiratie* de oorzaak van de beweging zijn: Gemiddeld bewegen de gasmoleculen van de warme naar de koude kant. Door de tangentiële kracht van de beweging van het ijle gas dat van de warmere naar de koudere kant beweegt krijg je een het drukverschil en beweegt de koude (reflecterende) kant naar voren.

**Tips**

Het is leuk om dit experiment uit te voeren als je met de leerlingen van vwo 6 de Examenopgave VWO natuurkunde 12 2006 tijdvak I: opgave 2 *Zonnezeil* bespreekt. Laat leerlingen opschrijven of uitleggen wat precies het verschil is tussen de twee effecten voor draaiing door licht. Bespreek of je Crookes radiometer onder bepaalde omstandigheden toch in de andere richting zou kunnen laten draaien.

**Verder onderzoek**

In de Engelstalige uitleg op Wikipedia (Crookes radiometer) is de hele historie van de verschillende mogelijke verklaringen weergegeven.

[gekleurd kader]

**Bronnen**

<https://en.wikipedia.org/wiki/Crookes_radiometer>

[eind kader]