**A05\_Wet van Boyle**

[subkop]

Hoe verifieer je een fysische wet?

[onderwerpsymbool Ma]

Tijd

10-20 minuten

Bereik

Vanaf klas 3

Begrippen: Wet van Boyle, volume, druk

Vaardigheden: Opzet van experiment bedenken, oorzaak zoeken van afwijking, model aanpassen

[Inleidend kader]

Het experimenteel verifiëren van een formule lijkt triviaal, maar als je leerlingen in een concreet geval -zoals de Wet van Boyle- vraagt hoe je zoiets doet, dan levert dat toch problemen op. Wat stel je in, wat meet je? Wanneer vind je dat resultaten voldoende overeenstemmen met theorie? Bij de wet van Boyle blijken resultaten niet te kloppen. Waar zit het probleem? In een restvolume in de slang en de tip van de injectiespuit. Door dat in ons model op te nemen, krijgen we een mooie fit aan de gemeten data.

[eind kader]

[A05\_NvV02\_Fig1\_opstelling; onderschrift]

*Figuur 1. Opstelling met injectiespuit en druksensor.*

[A05\_NvV02\_Fig2\_metingen; onderschrift]

*Figuur 2. Metingen van gasdruk tegen volume.*

**Nodig**

Opstelling met een injectiespuit, een druksensor en een interface met Coach7 als meet- en modelleerprogramma; Coach-bestanden (te vinden op de NVON-site).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Figuur 1. Opstelling met injectiespuit en druksensor | Figuur 2. Metingen van gasdruk tegen volume |

**Voorbereiding**

Zet de opstelling klaar zoals in figuur 1 is te zien. Sluit de druksensor aan op een interface en start het meetprogramma Coach. Kies uit de standaardactiviteiten (Meten, Bovenbouw, Natuurkunde) activiteit 7. De wet van Boyle. Het volume wordt met de hand gemeten en in Coach ingevoerd. Voer een meting uit waarbij je minstens 8 metingen van druk en volume doet. Doe vooral een aantal metingen bij hogere drukken en kleine volumes omdat juist daar de problemen met restvolume tot uiting komen. Sla de meting op als een apart resultaatbestand. (De meting kan ook tijdens de demonstratie worden gedaan.)

**Uitvoering**

1. Teken een afgesloten volume gas op het bord (cirkel of vierkant). *Als we het volume kleiner maken, wat gebeurt er dan met de druk?* Leerlingen zullen hier weinig moeite mee hebben.
2. Maar hoe zit dat nu precies? Kunnen we dat in een formule vangen? Boyle poneerde *pV= constant*, of voor twee situaties: . Wat moet je doen om te kijken of zo’n theoretische formule klopt met de werkelijkheid? Hoe zou je dat kunnen doen? (heel korte leerlingdiscussie in duo’s).
3. Docent laat nu opstelling zien met injectiespuit met volumeaanduiding en druksensor. Wat moet ik nu doen om de wet van Boyle te verifiëren? Laat leerlingen even nadenken.
4. Korte discussie……. Uitkomst: verschillende volumes instellen en daarbij de druk meten en zien of dat klopt met de formule.
5. Dan meten. Vergelijk meetresultaat met theoretisch resultaat.
6. Meetresultaat klopt niet, waar zou dat aan kunnen liggen? (korte leerlingdiscussie in duo’s).
7. Hoe kunnen we ons model *pV=constant* aanpassen? (constante term toevoegen aan V, het restvolume).
8. Hoe kunnen we de grootte daarvan bepalen? Is er een slimme manier om onze grafiek te transformeren en het daar dan uit te halen? (uit de afwijking van de grafiek).

Zet de grafiek van 1/*p* tegen *V* uit door in de Datatabel een variabele 1/*p* aan te maken. Toon de grafiek van 1/*p* tegen *V* aan de leerlingen. Vraag aan de leerlingen waarom deze niet door de oorsprong gaat. Laat ze het eigenvolume uit de grafiek aflezen.

1. Sla de metingen op als een resultaatbestand. Open en voer het bijhorende grafische model uit en bekijk het resultaat.
2. Importeer de grafiek van de metingen als achtergrondgrafiek. Laat leerlingen aangeven waar de verschillen zitten en probeer ze met verklaringen te laten komen.

**Natuurkundige achtergrond**

Druk en volume van een afgesloten hoeveelheid ideaal gas gedragen zich volgens de wet van Boyle.

Vanwege het eigenvolume van de slang en de druksensor zal de hyperbool van de metingen enigszins afwijken van het volume, dat afgelezen wordt van de injectiespuit. Als we het restvolume ΔV noemen, dan wordt de wet van Boyle:

De ideale gaswet veronderstelt dat de aantrekkingskracht tussen moleculen nul is en dat de moleculen zelf puntdeeltjes zijn die geen volume innemen. Van der Waals hield wel rekening met aantrekkingskracht en volume van moleculen. De druk wordt daarin gecorrigeerd voor aantrekkingskracht en het eigen volume van moleculen wordt meegenomen. Deze correcties worden belangrijk bij hoge dichtheid. De constante *b* is dan ruwweg het volume van 1 mol en de constante *a* hangt af van de aantrekkingskrachten tussen de moleculen. Deze constanten worden empirisch bepaald. Voor details verwijzen we naar bekende leerboeken zoals Young & Freedman (2015). Op de site staan Coach-modellen voor de wet van Boyle en voor de versie van Van der Waals.

**Tips**

Plaats de opstelling duidelijk op de lessenaar. Laat duidelijk de waarde van druksensor afgebeeld zien op het digibord. Laat de leerlingen zien dat de injectiespuit wordt ingedrukt en noem het volume van de injectiespuit expliciet.

[A05\_NvV02\_Fig3\_grafisch model; onderschrift]

*Figuur 3. Grafisch model van de gaswet van Van der Waals.*

[A05\_NvV02\_Fig4\_modelresultaat; onderschrift]

*Figuur 4. Vergelijking van modelresultaten van Boyle (oranje) en Van der Waals (groen).*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Figuur 3. Grafisch model van gaswet van Van der Waals. | Figuur 4. Modelvergelijking Boyle (oranje) versus Van der Waals (groen). |

**Verder onderzoek**

Welke invloed heeft een lagere of hogere temperatuur op de metingen van de gasdruk?

Het grafische model laat ook het gasmodel van Van der Waals zien. Plot deze grafiek naast de wet van Boyle en vraag leerlingen om uit te leggen hoe de verschillen ontstaan. Bij welke drukken wijkt de wet van Boyle af van de gaswet van Van der Waals?

Norbert van Veen en Ed van den Berg

Bijbehorende Coach-bestanden op de site

[A05\_NvV02\_1BoyleExperiment.cma7]

[A05\_NvV02\_2BoyleModel.cma7]

[A05\_NvV02\_3VanderWaalsModel.cma7]

[A05\_NvV02\_4BoyleVanderWaalsModelvergelijking.cmr7]

Literatuur

Young, H.D. & Freedman, R.A. (2015). University Physics 14th edition, Pearson, hoofdstuk 17 Heat and Temperature.