**Bepaling van *g***

[subtitel]Maar nauwkeurig!

[onderwerpsymbool MS]

[A]

Tijd

20 minuten

Bereik

bovenbouw

[inleidend kader]

In de natuurkunde les kun je experimenteel de valversnelling bepalen. Maar hoe nauwkeurig is het resultaat? Waar moet je op letten als je een zeer nauwkeurige bepaling wilt doen? Hoe kwantificeer je dan de nauwkeurigheid waarmee je de zwaartekrachtsversnelling hebt bepaald?

Nog niet toe aan de wiskundige kant? Dan kun je deze demonstratie ook prima doen op de open avond door gebruik te maken van de phyphox app en zonder nadruk op de bijbehorende onzekerheid.

[eind kader]

[FP01\_figuur 1]

*De hamer hangt op grote hoogte met een touwtje aan een ballon.*

**Nodig**

Hard opgeblazen ballon; hamer; telefoon met phyphox; touwtje; houten plank; stellage voor de opstelling, naald, meetlint.

**Voorbereiding**

Blaas de ballon op en hang de hamer met een touwtje aan de ballon. Hang het geheel aan de stellage en zorg dat de houten plank direct onder hamer ligt. Gebruik de akoestische chronometer met een drempelwaarde van 0,35 en een vertraging van 0,3 s.

**Uitvoering**

De demonstratie begin je met de vraag wat een nauwkeurige meting inhoudt en waarom een nauwkeurige waarde van *g* van belang kan zijn. Het is interessant om te weten dat er naar olie gezocht wordt door de versnelling van de zwaartekracht heel nauwkeurig te bepalen.

Je kunt vervolgens het experiment uitleggen: Met één enkele meting en met behulp van de vergelijking gaan we *g* zo goed mogelijk bepalen. Het doorprikken van de ballon start de akoestische chronometer en de klap van de hamer op de grond stopt de timer.

* *Is het voor een goede meting noodzakelijk om een zo groot mogelijke of zo klein mogelijke valhoogte te hebben? Zijn er nog voorwaarden aan de uiterste waarden die je kiest?*
* *Waar moet je de telefoon houden? Bovenaan, onderaan, in het midden of maakt het niet uit? Waarom?*
* *Hoe nauwkeurig meten we de tijd en de hoogte?*

Laat leerlingen in tweetallen nadenken over de antwoorden op de vragen, de antwoorden opschrijven en nodig daarna leerlingen uit om hun antwoord te geven (think, pair, share).

Na het meten van de valhoogte (met een inschatting voor de onzekerheid) en bepaling van de valtijd, kun je een discussie starten over de onzekerheid in de tijdmeting. *Is dit 1.0 s, 0.1 s, 0.01 of 0.001 s? Of is het iets er tussenin?*

*Normaal gesproken bepaal je de onzekerheid in de tijd op basis van herhaalde metingen, maar welke getallen verwacht je terug te zien als je de meting herhaalt? En welk decimale cijfer zal afwijken?*

Door het aangeleverde Jupyter Notebook bestand te gebruiken, kun je de eindwaarde van *g* met bijbehorende onzekerheid uitrekenen.

Controlevraag: *We hebben de meetresultaten uit figuur 2 verkregen.* *Welke informatie er nodig is om een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van de metingen?*

[kader] Jupyter notebook

Jupyter Notebook is een open-source webtoepassing die verschillende programmeertalen ondersteunt, waaronder Python. Het makkelijkst om de Notebook te gebruik is via <https://colab.google/> Je kunt daar de Notebook uploaden. Zie <https://youtu.be/C2yunJ9o2yo> voor een verdere instructie.

[eind kader]

**Natuurkundige achtergrond**

Elke meting kun je slechts doen met een bepaalde nauwkeurigheid. Soms wordt de nauwkeurigheid bepaald door de apparatuur of soms door de eigenschap die je meet. In de wetenschap wordt het antwoord altijd gegeven met bijbehorende onzekerheid, waarbij de kans dat een herhaalde meting binnen de waarde met bijbehorend onzekerheid zit gelijk is aan 68% (). Wanneer meerdere grootheden een rol spelen, zoals bij de bepaling van de valversnelling, heeft elke meting een bijdrage. De uiteindelijk waarde van de onzekerheid in deze vergelijking wordt gegeven door:

De onzekerheid wordt altijd gegeven met maar één significant cijfer. Het eindantwoord wordt gegeven met hetzelfde decimale cijfer (bijv. 9.8 ± 0.3 m/s²).

**Tips**

De NLT module Meten en Interpreteren biedt meer aanknopingspunten rond het thema meetonzekerheid. Een mooi vervolg is om leerlingen aan de slag te laten gaan met een van de verschillende methoden om *g* te bepalen (bijv. met slinger, kogel met magneetschakelaar, druppelmethode van Ehrlig, versnelling langs een helling met een luchtkussenbaan) en de methode (met bijbehorende voor- en nadelen) te laten presenteren. De universiteit van Aken heeft een filmpje die deze proef demonstreert: https://youtu.be/zRGh9\_a1J7s