**B23 Zwevende pareltjes**

[onderwerpsymbool Mech]

Tijd

30 minuten

Bereik

Klas 4

Begrippen: vrije val, valbeweging, horizontale worp

[inleidend kader]

Deze demonstratie laat op een prachtige manier de onafhankelijkheid zien van de bewegingen van een voorwerp in onderling loodrechte richtingen. Dan gaat het natuurlijk over de horizontale worp, en die is uit het examenprogramma verdwenen. Dit principe wordt hier echter helder op een bijna helemaal conceptuele manier, zonder kwadratische vergelijkingen maar met prachtige beelden.

[eind kader]

[PD11\_figuur1; onderschrift]

*Figuur 1. De opstelling.*

[PD11\_figuur2; onderschrift]

*Figuur 2. Tijdtikker (hoogte 2,4 cm, frequentie 100 druppels/s) en parabool van druppels.*

[PD11\_figuur3; onderschrift]

*Figuur 3. Kleine beginsnelheid.*

[PD11\_figuur4; onderschrift]

*Figuur 4. Grote beginsnelheid.*

**Nodig**

Donker lokaal dat liefst écht kan worden verduisterd; overloopvat (zie figuur 1); twee statieven; in hoogte verstelbaar tafeltje; klemmen; tijdtikker; fietsventielslang (> 80 cm); kraan met (ongeveer 1,5 m) flexibele slang; wasbak; stroboscoop; liniaal.

**Voorbereiding**

Zet een statief op het tafeltje, naast de kraan, bij de wasbak.

Bevestig een slang aan de kraan.

Bevestig het overloopvat op ruime hoogte aan het statief, en laat de slang die van de kraan komt erin hangen.

Duw het ene eind van de ventielslang over het tuitje van het vat.

Bevestig je tijdtikker met een klem aan het tweede, goed vastgeklemde statief, een stukje lager dan het vat.

Je tijdtikker tikt normaliter met een punt op carbonpapier om stipjes te zetten. Je kunt de slang onder die punt leggen maar dan prikt hij er mogelijk een gat in. Die punt zit op een trillend plaatje: maak het dus los en keer het om, met de punt naar boven. Leg de slang eronder, en schroef het weer vast.

Bevestig tijdtikker en slangetje zó dat een waterstraaltje horizontaal uit het slangetje komt en van ruime hoogte in de wasbak valt.

Stel ten slotte de stroboscoop zo op, dat die de vallende waterstraal van opzij belicht.

Het is hierna even prutsen:

1. De kraan zet je een heel klein beetje open, zodat na een tijdje de uitstroom door het tuitje precies even groot is als de instroom uit de kraan. Het overloopvat zorgt voor een constante druk op het uitstromende water.
2. Maak het hoogteverschil tussen vat en tijdtikker zo, dat het straaltje met een mooie boog in de wasbak valt. Zorg dat het water ook bij de maximale hoogte van het vat nog steeds in de wasbak terecht komt.
3. Zet de tijdtikker aan. Stel het trilplaatje dat op de ventielslang drukt zo in, dat er losse druppeltjes geproduceerd worden. (Je ziet de losse druppeltjes pas bij stroboscopische belichting, maar hoort hem ratelen, niet zoemen, als hij goed is afgesteld.)
4. Je verduistert het lokaal, en belicht het vallende water met de stroboscoop van opzij. Stel de frequentie zo bij, dat de druppeltjes stil in de lucht lijken te hangen, samen een parabool vormend.   
   Oefen met het instellen tot je dat ook voor een publiek snel voor elkaar hebt.
5. De uitstroomsnelheid pas je aan met de hoogte van het tafeltje.

**Uitvoering**

Je demonstratie zou kunnen verlopen langs de volgende lijn, vanaf het moment dat het publiek de druppelparabool heeft gezien.

‘Hoe lang duurt de val van een druppel, vanaf de tikker tot de rand van de wasbak?’

Uit de trilfrequentie volgt de tijd tussen twee zichtbare druppels (In de foto’s: 0,01 s). Tel dus het aantal zwevende pareltjes in de boog (figuur 2) en je weet hoe lang de val duurt.

'Het patroon lijkt regelmatig. Wat is er regelmatig aan?'   
Niet alleen de tijd, ook de horizontale afstand tussen de opeenvolgende druppels is gelijk (figuur 3). Die kun je meten. Daaruit volgt de horizontale snelheid van iedere druppel. *Die blijft vrijwel constant tijdens de val.*

'Hoe zou je de horizontale snelheid groter kunnen maken?'

Als je het overloopvat hoger hangt wordt de uitstroomsnelheid groter (figuur 4). De boog wordt wijder, daalt in het begin nu minder steil.

'Als we het vat hoger hangen wordt de uitstroomsnelheid groter. Dus de boog wordt wijder. Hangt een druppel nu ook langer in de lucht? Hoe kun je dat zien?'  
Het aantal zwevende parels in de boog verandert niet, dus de val van de druppels duurt even lang als voorheen. Hoe je de hoogte van het vat ook verandert, het vallen duurt altijd even lang bij dezelfde valhoogte. *De val van de druppel is een combinatie van een horizontale en verticale beweging, en die twee bewegingen verlopen onafhankelijk van elkaar.*

'De verticale afstand tussen de druppels neemt toe. Wat kun je dan zeggen over de verticale snelheid van de druppels?'

De verticale afstand tussen opeenvolgende druppels wordt steeds groter: ze versnellen in verticale richting. Metingen van de verticale afstanden tussen de druppels laten bij benadering zien: er komt steeds *dezelfde* verticale afstand bij, tussen opeenvolgende paren van druppels.

'Hoe heet zo’n beweging waarin de verticale snelheid gelijkmatig toeneemt?'   
Produceer je druppeks met een frequentie van 100 Hz dan neemt de verticale afstand tussen opeenvolgende druppels steeds toe met 1 mm. Meet je met een liniaal uit de losse pols dan zal de nauwkeurigheid te wensen overlaten. Meet dus aan een foto (figuur 4) en/of middel de waarden.

Uit de metingen kan in ruwe benadering een waarde voor *g* worden bepaald. Immers met tijdsintervallen van 0,01 s geldt: als de afstandstoename 0,001 m is, is de toename in de gemiddelde snelheid 0,001/0,01 = 0,1 m/s en is de versnelling 0,1/0,01 = 10 m/s2. *Tijdens de val neemt de verticale snelheid gelijkmatig toe.*

**Natuurkundige achtergrond**

Ieder druppeltje is onderhevig aan een identieke horizontale-worpbeweging. De druppeltjes worden op vaste tijdsintervallen gelanceerd. Belicht je ze met diezelfde tijdsintervallen, dan heeft een druppeltje bij iedere volgende flits precies de positie van zijn voorganger ingenomen. De parabool van druppeltjes lijkt dus stil in de lucht te hangen.

Belicht je ze met iets langere tijdsintervallen (grotere frequentie), dan komen ze iets verder dan waar hun voorganger was, en lijken ze langzaam naar beneden te bewegen. Belicht je ze met iets kortere tijdsintervallen, dan lijken ze juist omhoog te bewegen, terug de kraan in.

In het begin van de straal zie je geen losse druppeltjes, die ontstaan pas iets later, als de onderling versnellende stukjes water uit elkaar getrokken worden. De tijdtikker zorgt kennelijk voor een verdeling in nagenoeg even grote druppeltjes met gelijke tussentijden. Cohesie doet de rest.

**Tips**

Altijd leuk als afsluiting: verhoog de frequentie je stroboscoop een beetje, dan lopen de druppels omhoog langs de parabool, 'terug de kraan in'.

Ook mooi: zoom in op het deel waar de straal in losse druppels uiteenvalt, de stroboscoop laat dat proces prachtig zien.

Lukt het niet om eigen foto’s te gebruiken dan kun je die uit dit artikel gebruiken: de originelen zijn op de website te vinden en uit te vergroten. De schaal van de foto’s volgt uit de hoogte van de tikker: in werkelijkheid is die 2,4 cm.

**Veiligheid**

Stroboscopische verlichting kan bij epileptici een aanval op gang brengen, deze demonstratie is voor hen niet geschikt.

[begin kadertje]

Voor het eerst gezien bij Jouke Andringa, een collegadocent in Botswana, bijna 30 jaar geleden.

[eind kadertje]