

OuNa 1 De holle goot van Galilei

NVOX, 37, nr. 5, mei 2012

Ruud Brouwer, Don Bosco College te Volendam, rbrouwer@donboscollege.com

Na tien jaar van vernieuwingen, gecombineerd met steeds minder lessen (2^e fase met splitsing N1 en N12, gevolgd door weer samenvoegen tot N en uiteindelijk NiNa) dreigen practica uit het curriculum te verdwijnen. Het zal mijn gebrek aan fantasie wel zijn, maar ik kan vrijwel geen nieuwe, mooie proeven verzinnen over de moderne onderwerpen in het nieuwe examenprogramma. Daarom heb ik voor practica en demonstratieproeven maar eens wat inspiratie gehaald uit *Oude Natuurkunde (OuNa)*.

De eenparig versnelde beweging met $x \sim t^2$

Deze eerste OuNa gaat over de baanbrekende ontdekking van Galilei dat voor een eenparig versnelde beweging $x \sim t^2$ geldt. Bij het schrijven van deze tekst is het nog niet bekend of de syllabuscommissie het pleidooi van velen heeft gehonoreerd om deze formule toch te handhaven, maar ik vrees het ergste. Mijn argumenten om die formule te behouden, staan hiernaast. Ik heb ze bij de veldraadpleging ingeleverd. Ten slotte wil ik een dreigend misverstand uit de weg ruimen: het is niet mijn bedoeling om de strijd NiNa-LeNa in deze serie voort te zetten. Mocht mijn slechte gevoel voor humor een enkele keer toch met me op de loop gaan, dan zijn de lezers van NVOX verstandig genoeg om daar overheen te lezen.

En dan nu Galilei. Juist met de valbeweging kun je op veel verschillende praktische manieren de leerlingen vertrouwd maken met het lastige concept versnelling. Het enige echte bewijs in de natuurkunde is een geslaagde reproduceerbare proef. Ik vind het erg belangrijk dat leerlingen al op school deze wijsheid te horen krijgen en met handen en voeten ervaren.

Op dit fresco van Bezzuoli is Galilei bezig om zijn wetmatigheid uit te leggen aan Don Giovanni. Natuurlijk wil de geestelijke links op de voorgrond niet luisteren. De Aristotelianen rechts luisteren ook niet en blijven aandachtig in hun sprookjesboek lezen, want zij doen – net als een groeiend aantal natuurkundeleraars – nooit proeven. Wie mij niet gelooft, moet maar eens kijken hoeveel proeven tegenwoordig de kast in het kabinet niet meer uitkomen.



Giuseppe Bezzuoli, *Galileo Galilei dimostra l'esperienza della caduta dei gravi a Don Giovanni de' Medici*

Mijn argumenten om $x = \frac{1}{2}at^2$ te behouden:

- De formule geeft natuurkundige basiskennis voor het zeer belangrijke basisconcept (val)versnelling. Heel de wereld leert deze formule, behalve wellicht in Nederland.
- De formule kweekt gevoel voor verhoudingen van afstanden bij versnelde bewegingen.
- De formule geeft (zeker als $a = g$) veel mogelijkheden voor practica & demo's (valtoren in Bremen op YouTube, vacuümbuis met veertje, start-stopapparaat met klok, stroboscopische foto van val, videometen van val met snelle camera, Coachmetingen: valsensor langs draad, goot van Galilei, propellerkar op wrijvingsloze baan, glijder op luchtkussenbaan).
- De formule is nodig om F evenredig met a experimenteel te kunnen toetsen.
- Het nieuwe programma besteedt aandacht aan de elektrische veldkracht en het versnellen van geladen deeltjes in vacuüm. Bij die beweging is $x = \frac{1}{2}at^2$ volkomen legitiem.
- Het niveau van de rekenkundige vaardigheden zakt (vooral op havo) tot een gevaarlijk laag niveau. Het vervolgonderwijs doet zeker niet alles grafisch.
- Juist de beperkte toepasbaarheid (geen beginsnelheid) van deze formule is van groot belang. Bij het toepassen van formules is de belangrijkste eerste stap de controle of de formule wel van toepassing is om het vraagstuk op te lossen. Doen ze dit fout, dan help je ze juist niet door de formule maar uit het programma te halen.
- Een vraag waarbij de valtijd is gegeven en de valafstand moet worden berekend, was altijd simpel op te lossen. Nu moet van de commissie via energie-behoud eerst de eindsnelheid worden berekend, daarna de gemiddelde snelheid (dus $\div 2$) en tot slot moet $x = v_{\text{gem}} \cdot t$ gebruikt worden. Erg omslachtig allemaal voor zo'n simpele kinematicavraag.
- De belangrijke natuurkundige grootheid g is straks niet meer te bepalen omdat behalve de versnelde beweging ook de slingerformule van Huygens uit het lesprogramma zal verdwijnen. Dit zijn basisproeven!
- De syllabuscommissie wil alleen $x = v_{\text{gem}} \cdot t$ laten aanleren met daarbij de dwingende eis dat alle kinematicavragen altijd grafisch opgelost worden. Dit wordt dus een trucje: neem altijd de raaklijn!

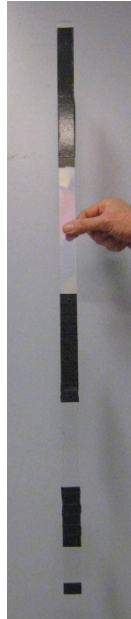
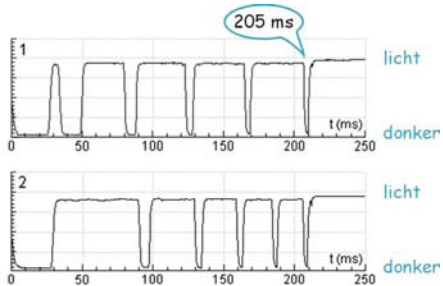
Practicum: Galilei vs. Da Vinci

Over de valbeweging is behalve door Galilei ook door Da Vinci nagedacht. Voor leerlingen de opdracht om met een geslaagde proef te bewijzen dat Galilei gelijk had.

Volgens Da Vinci geldt bij een eenparig versnelde beweging voor de afstanden die worden afgelegd in gelijke tijdsintervallen de verhouding $1 : 2 : 3 \dots$. Volgens Galilei geldt $1 : 3 : 5 \dots$. Wie heeft gelijk? Met deze vraag stuur je de leerlingen naar het ScienceLab om het antwoord proefondervindelijk te vinden. Daar kunnen ze kiezen uit verschillende opstellingen.

Groep I werkt met een kogel en een schuin opgestelde rail waarin strookjes papier zijn gelegd. Iedere keer als de kogel over een papiertje hobbelt, hoor je een 'tik'. Verschuif de papiertjes in de rail zodanig dat de tijd tussen iedere 'tik' constant wordt. Op het gehoor is er geen verschil waar te nemen tussen de indeling van Da Vinci en Galilei. Met een geluidsensor en een meetcomputer waarop het programma *Coach 6* draait, kun je de tijdstippen waarop iedere 'tik' plaatsvindt nauwkeurig meten. En dan is het wel mogelijk een conclusie te trekken. Zie ook *Smaakmaker 5* in de *NVOX* van mei 2005.

Groep II werkt met twee doorzichtige linialen. Beplak één liniaal met stukjes ondoorzichtig tape volgens de voorspelling van Da Vinci en de andere met de verhoudingen van Galilei. Als een van de beplakte linialen voor de lichtsensor langs valt, krijg je op het computerscherm de (licht/donker, tijd)-grafiek te zien. De grafiek waarin de tijdsintervallen licht en donker steeds even breed zijn, is de juiste.



Groep III doet proef 149 uit deel 3 van Minnaerts *Natuurkunde van 't vrije veld*. Knoop zware moeren of gewichtjes (Minnaert gebruikte soms kastanjes) in twee lange touwen – één volgens Da Vinci en één volgens Galilei – en ga bovenop een trap staan. Laat een touw hangen met de onderste moer vlak boven de grond en laat het los. Iedere keer als een moer tegen de grond komt, hoor je een tik. Als de moeren op de juiste onderlinge afstand van elkaar geknoopt zijn, hoor je de 'tikken' in een vaste regelmaat.

Net als bij de kogel in de rail zal je op het gehoor weer geen verschil kunnen maken tussen Da Vinci en Galilei en is voor het trekken van de conclusie een geluidsensor en een computer nodig.

De holle goot van Galilei

Tot slot een idee voor een subtiele en volgens mij in Nederland nog onbekende proef: *de holle goot van Galilei*. De foto kwam ik door toeval jaren geleden tegen op een internetsite van *Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations*. In een holle goot kun je een kogel heen en weer laten rollen. Als je de goot schuin zet, rolt de kogel slingerend omlaag. Omdat de links-rechts slingerbeweging onafhankelijk is van de rolbeweging omlaag zou de verhouding $1 : 3 : 5$ snel op de foto terug te vinden moeten zijn.

Helaas komt deze proef bij mij op school tot nu toe maar matig uit. Wij gebruiken een lange kunststof goot en hebben golfballen, knikkers en stalen kogels in de goot losgelaten.

Misschien lukt het een lezer van dit blad om het gelijk van Galilei met behulp van deze proef onbetwistbaar aan te tonen en het resultaat naar de *NVOX* te sturen.

