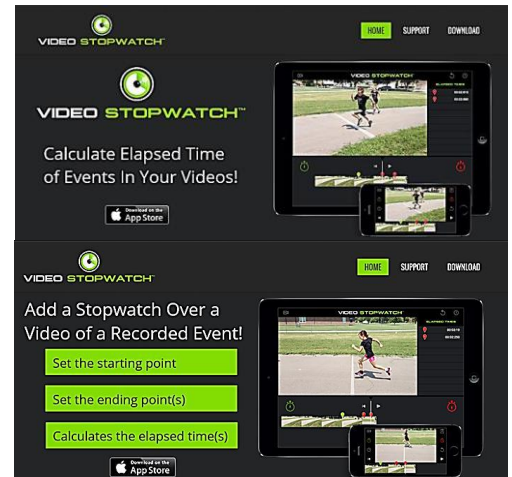


OuNa 17 Videostopwatch

Ruud Brouwer

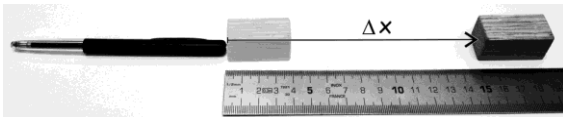
Met slechts een pen, een weegschaal en een rolmaat kun je proeven doen over energiebehoud. Sinds ik de prachtige app *Videostopwatch* voor de iPhone heb ontdekt, kan ik heel simpel korte tijden meten en lukt het om ook de tweede wet van Newton met een pen te testen.

Verder in deze OuNa: meten aan pen die je omhoog schiet, een model van de Space Shot in Walibi en een golf die met $a = \frac{1}{2}g$ omhoog gaat.



Wegschieten blokje

Duw de pen tegen de tafel en het blokje tegen de pen, zodat de veer in de pen helemaal ingedrukt is.



Laat het blokje los: het blokje schiet weg. Zorg voor minimaal drie geslaagde pogingen. De bekende bic-pen met het knopje aan de zijkant om de veer te ontspannen, is bij deze proef handig. Met een stopwatch de remtijd Δt meten is niet te doen vanwege de invloed van je reactietijd. Maar met de app *Videostopwatch* voor de iPhone lukt dat prima!



De app werkt intuïtief: leerlingen en ik meten er moeiteloos mee. Een film kun je in de app maken of ophalen bij je video's. Tik op de groene stopwatch als je in de film $t = 0$ s wilt instellen (het moment dat het blokje gaat bewegen) en op de rode als je de eindtijd wilt weten. Als je geen $x(t)$ -grafiek nodig hebt, is videometen met een snelle camera met coach niet meer nodig.

Berekeningen met de gemiddelde snelheid kun je met deze proef goed oefenen. We nemen aan dat de weerstandskracht F_w constant is:

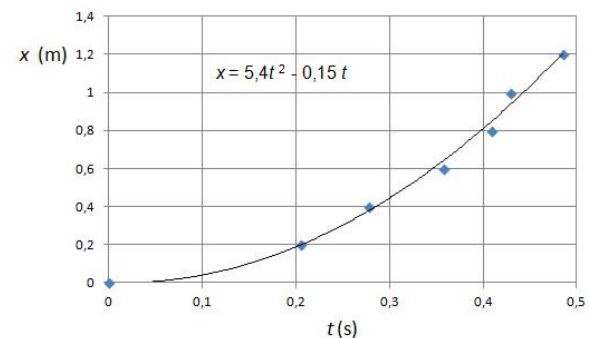
- Meet drie keer de remweg Δx en de remtijd Δt van het blokje. Middel je waarden.
- Bereken v_{gem} en daarmee $v_{\text{begin}} = 2 \cdot v_{\text{gem}}$.
- Bereken de vertraging a met $a = (0 - v_{\text{begin}})/\Delta t$ en daarna F_w .
- Controleer de waarde van F_w met een gevoelige krachtmeter door met constante snelheid aan het blokje te trekken. Of laat via een katrol een paar paperclips aan het blokje trekken: als het blokje met constante snelheid beweegt, geldt $F_{z, \text{clips}} = F_w$.

Vrije val

De valtijd van een vrije val is vanwege de reactietijd niet met een gewone stopwatch te meten. Daarom gebruikte ik als demonstratie jaar in jaar uit de elektronische start/stop installatie in combinatie met een snelle klok. Echter, met de videostopwatch is sinds dit schooljaar deze basale proef gepromoveerd tot een klassikaal practicum. Met valhoogte en valtijd bereken je $v_{\text{gem}} = h/t_{\text{val}}$.

Daaruit volgt op de bekende manier $v_{\text{eind}} = 2 \cdot v_{\text{gem}}$ en tot slot $g = v_{\text{eind}}/t_{\text{val}}$.

Twee dames uit 4 havo vonden in hun film bij $x = 1,20$ m een valtijd van 0,485 s en dat geeft $g = 10,2 \text{ m/s}^2$. Deze meting en nog vijf andere hebben ze in Excel gezet:



De coëfficiënt in de formule van de trendlijn voor de t^2 wijkt 10 % af van de gewenste waarde $\frac{1}{2}g = 4,9 \text{ m/s}^2$. Voor schoolnatuurkunde in 4 Havo vind ik dat *nét* goed genoeg. Is de discrepantie meer dan 10% dan beschouw ik de meting als niet geslaagd. Ongetwijfeld is de meeton nauwkeurig-heid ontstaan bij het aangeven van het startpunt in de film bij het juiste filmbeeldje met een tik in de app op de groene stopwatch en bij het stoppunt met de rode stopwatch. De beginsnelheid van $-0,15 \text{ m/s}$ is op dezelfde manier te verklaren.

Omhoogschieten

Ontmantel de pen en bepaal de massa van de huls. Duw op een weegschaal de veer van de pen zo ver mogelijk in en bepaal de maximale veerenergie. Voorspel tot welke hoogte h de huls van de pen zal komen als je hem laat schieten. Controleer je voorspelling met een videometing waarbij ook een bordlijnaal of rolmaat in beeld is. Is alle veerenergie omgezet in zwaarte-energie?

Druk daarna de veer voordat je de huls laat schieten voor de helft in. Als het goed is, haalt de huls nu een kwart van de maximale hoogte, want $E_v \sim v^2 \sim h$.

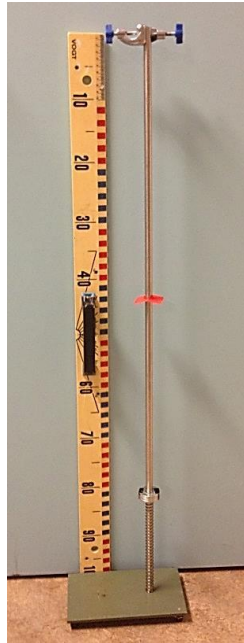


Doe een proef zoals deze altijd een keer voor. Dan ziet de hele klas wat de bedoeling is en dat scheelt veel tekst en uitleg op papier.

Space Shot model

De opstelling doet denken aan de *Space Shot* in Walibi. Een veer om de statiefstang schiet een gewichtje weg. Het gewichtje bestaat uit een stapeltje ringen die met tape aan elkaar vastzitten.

Met de videostopwatch is de tijd voor de reis omhoog goed te meten. Noem Δt de tijd vanaf het loskomen van de veer tot het hoogste punt. Omdat er een papieren om de stang met het gewichtje mee omhoog beweegt en in het hoogste punt achterblijft, is ook h goed te meten.



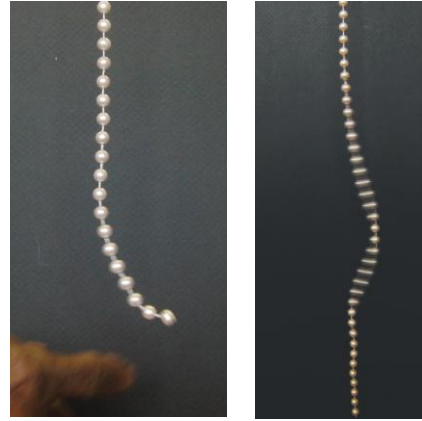
Net als bij het blokje dat werd afgeschoten met de pen, kun je via $v_{\text{gem}} = h/\Delta t$ en $v_{\text{begin}} = 2 \cdot v_{\text{gem}}$ naar de vertraging vragen: $a = (0 - v_{\text{begin}})/\Delta t$.

Als er weinig wrijving is, zal de absolute waarde van de uitkomst in de buurt van $9,8 \text{ m/s}^2$ liggen. Komt er een hogere waarde uit, dan is de F_w langs de stang bepalen:

$$F_z + F_w = m \cdot a \Rightarrow F_w = m \cdot (a - g).$$

Golf in een verticaal opgehangen ketting

Hang een ketting met lengte $\ell \approx 1,5 \text{ m}$ verticaal. Geef het losse eind onderaan een 'tik'. Volgens de theorie zou de golf met een versnelling $a = \frac{1}{2}g$ omhoog moeten bewegen. Met de app *Videostopwatch* of met *Videomaten* van Coach kun je de lopende golf prachtig volgen. Ik gebruik deze proef om er leerlingen een 'extra punt' mee te laten verdienen. Meten met een gewone stopwatch kan ook, want als de golf weer terug is, zwiept het losse uiteinde duidelijk opzij. In mijn $1,55 \text{ m}$ lange ketting is de golf $15,7 \text{ s}$ bezig om tien keer op en neer te gaan. Dus $t_{\text{omhoog}} = 1,57 / 2 = 0,785 \text{ s}$ en $v_{\text{gem}} = \ell / t_{\text{omhoog}} = 1,55 / 0,785 = 1,97 \text{ m/s}$. Dan is $a = 2 \cdot v_{\text{gem}} / t_{\text{omhoog}} = 2 \cdot 1,99 / 0,785 = 5,03 \text{ m/s}^2$. (discrepancie = 2,6%)

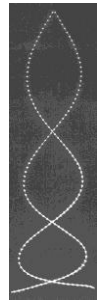


De theorie voor $a = \frac{1}{2}g$

De formule volgt uit de formule van Melde voor de snelheid van een golf in een touw – of een kralenketting, zoals hiernaast van p. 152 van **Stevin** vwo.

$$\text{Melde: } v = \sqrt{\frac{F_s}{M/L}}$$

met F_s de spankracht, M de massa van de ketting en L de lengte.



In een hangende ketting hangt v af van de plaats x , waarbij we x meten vanaf de losse *onderkant*. Op de plaats x wordt F_s geleverd door de massa m die er onder hangt:

$$F_s = m \cdot g = \frac{x}{L} M \cdot g = x \cdot \frac{M}{L} \cdot g \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{x \cdot g \cdot M/L}{M/L}} \Rightarrow v^2 = g \cdot x$$

Differentieer $v^2 = g \cdot x$ naar de tijd \Rightarrow

$$2v \cdot v' = g \cdot x' \Rightarrow 2v \cdot a = g \cdot v \Rightarrow a = \frac{1}{2}g.$$

Een formule voor t_{omhoog}

$$v = \sqrt{(gx)} \Rightarrow dx/dt = \sqrt{(gx)} \Rightarrow dt = (gx)^{-1/2} \cdot dx$$

Als je dit integreert vind je $t = 2\sqrt{(x/g)} + C \Rightarrow$

$$t_{\text{omhoog}} = 2\sqrt{(\ell/g)} \text{ (Omdat } x(0) = 0 \text{ is } C = 0.)$$