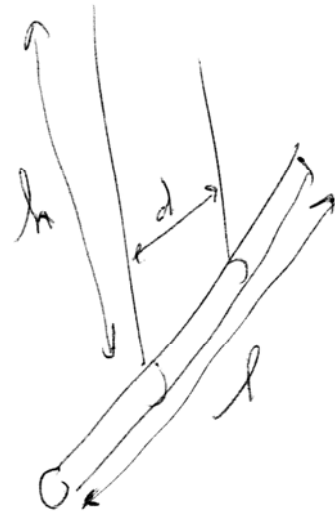


## Bifilaire slinger

Een dunne staaf met lengte  $l$  hangt aan twee evenwijdige draden met lengte  $h$ . de twee draden zitten een afstand  $d$  van elkaar.

Door een kleine tik loodrecht tegen een uiteinde van de staaf te geven gaat deze slingeren of trillen om het middelpunt van de staaf. De trillingstijd van deze slingering hangt af van verschillende grootheden.



Stel de staaf tordeert om een hoek  $\varphi$ , waarbij de staaf ter hoogte van de ophangdraad een uitwijking  $x$  krijgt. Dat betekent dat de ophangdraad een hoek  $\alpha$  maakt met de verticaal. De terugdrijvende kracht op de staaf is daar dan

$$F = \frac{1}{2} mg \tan \alpha = \frac{1}{2} mg \frac{x}{h} \quad (1)$$

(dit mag want de hoek is klein)

Voor de hoek  $\varphi$  kun je schrijven

$$\varphi \approx \tan \varphi = \frac{x}{\frac{1}{2}d} \text{ en dus } x = \frac{1}{2}d\varphi$$

Voor het moment kun je dan schrijven:

$$M = 2Fr = \frac{mg}{4} \frac{d^2}{h} \varphi \quad (2)$$

$$\text{En voor roteren geldt: } M = I \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{12} ml^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (3)$$

(2) en (3) aan elkaar gelijkstellen levert:

$$\frac{1}{12} ml^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{mg}{4} \frac{d^2}{h} \varphi \text{ ofwel:}$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -3 \frac{gd^2}{hl^2} \varphi$$

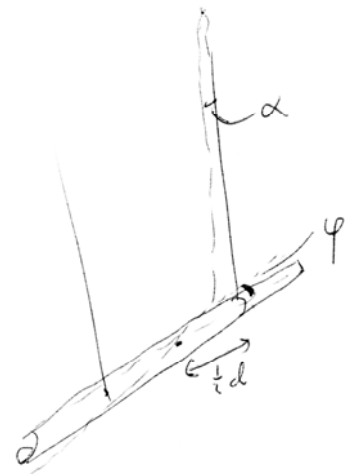
Dit levert voor  $\varphi$  als oplossing een sinusfunctie op, waaruit dan weer af te leiden is:

$$\left( \frac{2\pi}{T^2} \right) = \frac{3gd^2}{hl^2} \Rightarrow$$

$$T^2 = \frac{(2\pi)^2 hl^2}{3gd^2} \Rightarrow$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \frac{l}{d} \sqrt{\frac{h}{g}}$$

En dit klopt weer aardig met de experimentele gegevens.



gemeten			
d	l	h	T
m	m	m	s
0,18	0,2	0,48	0,89
0,13	0,2	0,48	1,21
0,108	0,2	0,48	1,45
0,08	0,2	0,48	1,93
0,06	0,2	0,48	2,54
0,04	0,2	0,48	3,92

Theorie	verschil	afwijking %
0,89	0,00	-0,18
1,23	0,02	-2,02
1,49	0,04	-2,48
2,01	0,08	-3,94
2,67	0,13	-5,30
4,01	0,09	-2,35

d	l	h	T
m	m	m	s
0,36	0,4	0,48	0,87
0,18	0,4	0,48	1,76
0,095	0,4	0,48	3,29

0,89	0,02	-2,48
1,78	0,02	-1,31
3,38	0,09	-2,69

d	l	h	T
m	m	m	s
0,095	0,1	0,204	0,57
0,095	0,1	0,34	0,74
0,095	0,1	0,48	0,87

0,55	-0,02	3,40
0,71	-0,03	3,94
0,84	-0,03	2,92

d	l	h	T
m	m	m	s
0,095	0,4	0,48	3,29
0,095	0,2	0,48	1,63
0,095	0,1	0,48	0,87

3,38	0,09	-2,69
1,69	0,06	-3,64
0,84	-0,03	2,92

## Docentenhandleiding bifilaire slinger

Materiaal benodigd: (\* wordt voor gezorgd door Ad)

- statief met stang tenminste 60 cm
- ophang voor de twee draden, tenminste 40 cm, of anders extra statief met tussenstang,
- twee koppelstukken en
- \* twee stukjes hout met zaagsnede voor eenvoudig aanpassen lengte draden.
- \* staven van 10, 20, 30, 40 cm; stopwatch; waterpas; van 20 cm nog een paar staven met andere massa (andere doorsnede, ander materiaal).
- Één stevig balans voor het meten van de massa van de staven.
- \* draad

Uitvoering van de proef:

Deelnemers doen eerst deel 1 en 2. Zij leveren dit in voor ze verder gaan aan deel 3. Ideaal zou zijn als ze daarom nog niet bij de opstelling zijn als ze de eerste twee delen maken.

Verder kan een balans of weegschaal ergens apart staan, zodat elke deelnemer er even heen kan lopen.

Correctievoorschrift, puntenverdeling

Vooraf: Dit dient slechts ter indicatie. Twee uur is erg krap voor de proef, waardoor de leerling meestal niet alles af zal hebben. Verder zijn leerlingen inventief in het bedenken van alternatieven...

*Deel 1. (2pt)*

lengte staaf (\*); afstand tussen de twee ophangdraden (\*); lengte van de ophangdraden (\*); grootte van de amplitude (?); materiaal van de staaf (?); dikte van de staaf (?)

*Deel 2. (2 pt)*

Het meetplan moet uitademen dat:

- zoveel mogelijk wordt geprobeerd slechts één grootheid tegelijk te veranderen.
- voldoende meetpunten per variabele genomen worden om een goede uitspraak te kunnen doen.
- De meetpunten voldoende nauwkeurig worden gemeten, wat betekent dat je toch wel twee herhalingen mag verwachten.
- er aandacht is voor de meetonzekerheid.

*deel 3 (6pt)*

Dit gedeelte valt uiteen in de meetseries, de verwerking van die series en het concluderend gedeelte.

Algemeen moet tijdens het meten aandacht zijn geweest voor een juiste plaatsing van de ophangdraden, symmetrisch op de staaf, een goed horizontaal hangen van ophangpunten en van staaf en op vooral alleen slingeren van de staaf om zijn eigen as en niet als gewone slinger. Hiervoor anders puntenaftrek toepassen.

Mogelijk zijn onderdelen van de verwerking met behulp van de GR gedaan. Dat moet dan wel goed omschreven zijn, opdat wij snappen wat er gebeurd is... (Van tevoren melden?!)

Meetseries van  $l$  (1pt):

0,5 pt voor vier goede meetpunten (aantal ligt vast door aantal staven), 0,5 pt verwerking tot grafiek (of verwerking via tabel om tot evenredigheid te komen en conclusie. Ergens moet duidelijk zijn dat andere grootheden tijdens het meten constant zijn gehouden.

Meetserie van  $d$  (1,5pt):

1 pt voor tenminste 5 goed gedefinieerde en gespreide meetpunten bij voldoende lange staaf. 1 pt voor verwerking in rechte grafiek of verwerking via tabel en komen tot een goede omgekeerde evenredigheid.

Meetserie van  $m$ . (0,5pt):

Duidelijk moet zijn dat op experimentele gronden geconcludeerd wordt dat  $m$  er niet toe doet

Meetserie van  $h$  (2pt):

1 pt voor tenminste vijf goed gedefinieerde en gespreide lengtes van de draden. Spreiding kan later nog bijgewerkt zijn door een meetpunt toe te voegen (inzicht tijdens meten). 1 pt voor verwerking in rechte grafiek of verwerking via tabel en komen tot een goed wortelverband.

Eindconclusie (1pt):

Hier worden de verschillende meetconclusies verwerkt tot een enkele formele conclusie. Een formule

als  $1,15 \frac{l}{d} \sqrt{h}$  wordt dan verwacht.