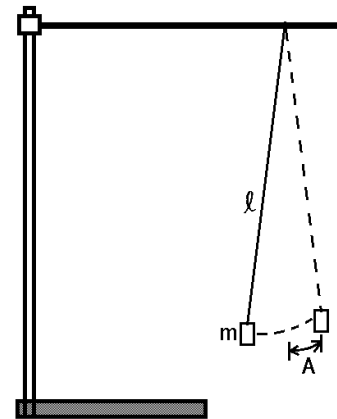


Naam: _____ Klas: _____

Practicum: slingertijd

Opstelling en benodigdheden:

De opstelling waarmee gewerkt wordt staat hiernaast (schematisch) afgebeeld. Voor de opstelling zijn nodig: statief met dwarsstaaf, dun touw van ongeveer 1 m lengte, drie gewichtjes van 50 g, rolmaat en een stopwatch.



Doel

Een voorwerp dat aan een touw hangt, kan heen en weer slingeren. In dit practicum wordt onderzocht of de slingertijd (symbool T) afhangt van:

- 1) de massa van het voorwerp (symbool m),
- 2) de amplitude (symbool A),
- 3) de slingerlengte (symbool l).

Zo ja, hoe hangt de slingertijd hier dan vanaf?

Verwachting vooraf

Probeer vooraf te voorspellen hoe de slingertijd afhangt van de massa, de amplitude en de slingerlengte. Vul hieronder in: 'groter worden', 'gelijk blijven' of 'kleiner worden'.

Als m groter wordt zal T _____

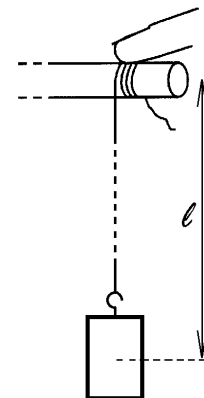
Als A groter wordt zal T _____

Als l groter wordt zal T _____

Metingen

Om te weten te komen wat er werkelijk gebeurt, wordt de slingertijd gemeten bij verschillende massa's, amplitudes en slingerlengtes. Hierbij wordt gewerkt volgens de tabel op de achterzijde van dit blad. Elke rij in de tabel hoort bij een meting. Bijvoorbeeld wordt de eerste meting uitgevoerd bij $m = 50$ g (dus slechts één blokje), $A = 5$ cm en $l = 90$ cm.

De slingerlengte is de afstand tussen het ophangpunt en het zwaartepunt van het blokje (of de blokjes). De slingerlengte kan het beste op de volgende manier worden ingesteld. Knoop een lusje bij het ene uiteinde van het touw. Daar komen de gewichtjes aan te hangen. Wind het andere uiteinde een paar keer om de horizontale staaf (dus geen knoop leggen!). Druk zonnodig op de windingen om verschuiven te voorkomen of gebruik een wasknijper. Zie de figuur hiernaast.



Om de slingertijd nauwkeurig te bepalen wordt de tijdsduur van 10 slingeringen gemeten. In de tabel is dit als $10 \cdot T$ aangegeven. De slingertijd zelf wordt dan verkregen door de uitkomst door 10 te delen.

Voer de EERSTE meting van de tabel uit. Het nut van de laatste kolom (met T^2) wordt pas aan het eind van dit practicum duidelijk.

Ga niet verder voordat je dit hebt laten controleren.

m (gram)	A (cm)	ℓ (cm)	$10 \cdot T$ (s)	T (s)	T^2 (s ²)
50	5	90			
100	5	90			
150	5	90			
50	10	90			
50	15	90			
50	5	60			
50	5	30			

Werk nu de rest van de tabel af.

Conclusies

Schrijf hieronder op welke conclusies je kunt trekken als je naar de getallen in de tabel kijkt. Laat de laatste kolom (met T^2) daarbij buiten beschouwing.

Laat dit controleren.

Maak een diagram waarin het kwadraat van de slingertijd (T^2) tegen de slingerlengte (ℓ) is uitgezet. Teken zo mogelijk een trendlijn door of langs de punten. Wat kun je uit het diagram concluderen?

Laat dit controleren.

Practicum massa-veersysteem

Hang het blokje aan de spiraalveer.

Laat het blokje op en neer bewegen met een amplitude van 1 cm.

Bepaal hierbij zo nauwkeurig mogelijk de trillingstijd van het blokje.

Bereken daarna ook de bijbehorende frequentie.

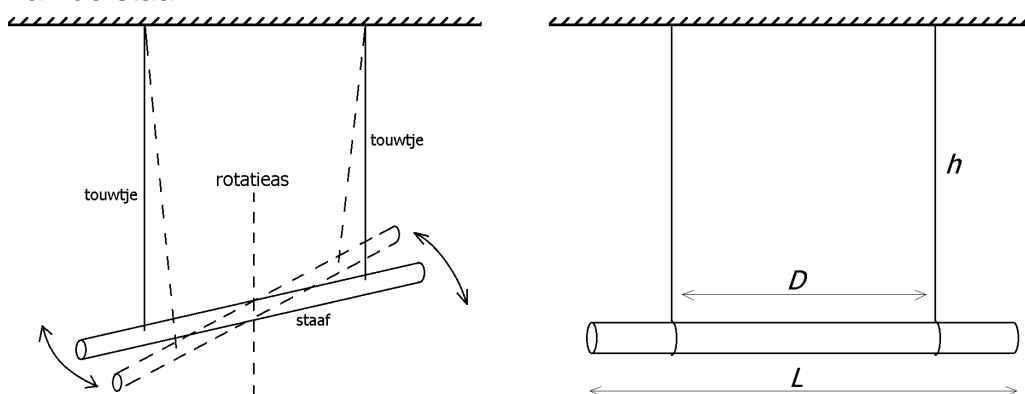
Noteer de werkwijze, de meetresultaten en de berekeningen kort maar volledig en overzichtelijk.

Naam: _____ Klas: _____

Practicum: bifilaire slinger

Doel van het practicum

In dit practicum wordt een bifilaire slinger in trilling gebracht zoals in de onderstaande linker figuur is afgebeeld. De uiteinden van de staaf worden een klein stukje in horizontale richting uit hun evenwichtsstand gebracht. Na het loslaten voert de staaf een heen en weergaande draaibeweging rond de verticale rotatieas uit (zie figuur). Het verband tussen de trillingstijd T en de drie grootheden h (= afstand van ophangpunt tot de hartlijn van de staaf), D (= afstand tussen de touwtjes) en L (= lengte van de staaf) wordt onderzocht. In de onderstaande rechter figuur staan deze lengtes aangegeven. De touwtjes bevinden zich op gelijke afstand vanaf het midden van de staaf.



Theorie

Zolang de uitwijking niet te groot is, geldt de volgende uitdrukking voor T .

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3g}} \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{h}$$

In deze formule is g de gravitatieversnelling ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

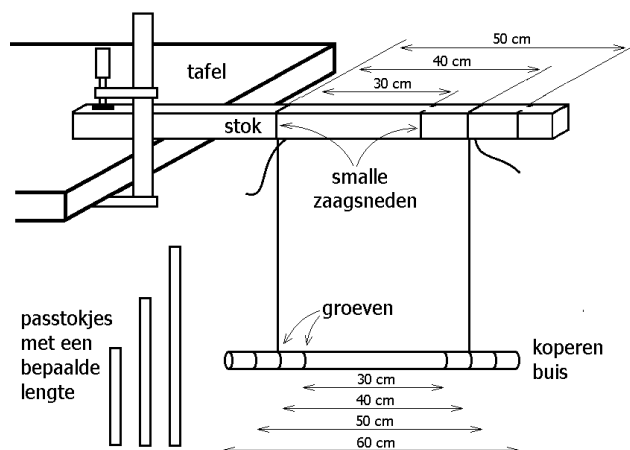
Merk op dat de massa van de staaf niet van invloed is op de trillingstijd. Merk ook op dat als de touwtjes steeds aan de uiteinden van de staaf bevestigd zijn (dus $D = L$), de trillingstijd niet meer van de lengte van de staaf afhangt.

Meetopstelling

In dit practicum wordt gebruik gemaakt van de opstelling van hiernaast. De bewegende staaf is een koperen buis met een lengte L van 60,0 cm.

De koperen buis hangt met twee dunne draadjes aan een houten stok. De stok wordt aan één uiteinde op een tafel geklemd.

Om de afstand tussen de twee draden eenvoudig en nauwkeurig in te kunnen stellen, zijn er op de koperen buis een aantal groeven en op de stok een aantal zaagsneden aangebracht.



De lengte van de touwtjes kan eenvoudig en nauwkeurig worden ingesteld door gebruik te maken van passtokjes. Deze moeten langs de touwtjes gehouden worden. De passtokjes zijn op lengte gemaakt, waarbij rekening is gehouden met de halve buisdiameter. De touwtjes kunnen om de stok worden gewonden waarbij de touwtjes in de zaagsneden moeten vallen.

Metingen

Voer nu de volgende metingen uit.

Bepaal bij een vaste touwafstand D van 40,0 cm de trillingstijd T bij slingerlengte h van 30,0 cm, 50,0 cm en 75,0 cm.

Bepaal bij een vaste slingerlengte h van 50,0 cm de trillingstijd T bij touwafstand D van 30,0 cm, 40,0 cm en 50,0 cm (één meting wordt dus twee keer uitgevoerd).

De tijdmetingen mogen niet te kort duren (niet veel minder dan 20 s) in verband met de nauwkeurigheid. Meet daarom de tijd van bijvoorbeeld 20 trillingen.

Verwerking van de meetresultaten

Maak in Excel een tabel met de volgende kolommen (met in iedere kolom zes meetwaarden).

In de eerste kolom L (m).

In de tweede kolom D (m).

In de derde kolom h (m).

In de vierde kolom bijvoorbeeld $20 \cdot T$ (s).

In de vijfde kolom T (s).

In de zesde kolom \sqrt{h} (\sqrt{m}).

In de zevende kolom L/D

In de achtste kolom $L/D \cdot \sqrt{h}$ (\sqrt{m}).

Ga met behulp van een grafiek na of T evenredig is met de wortel van h .

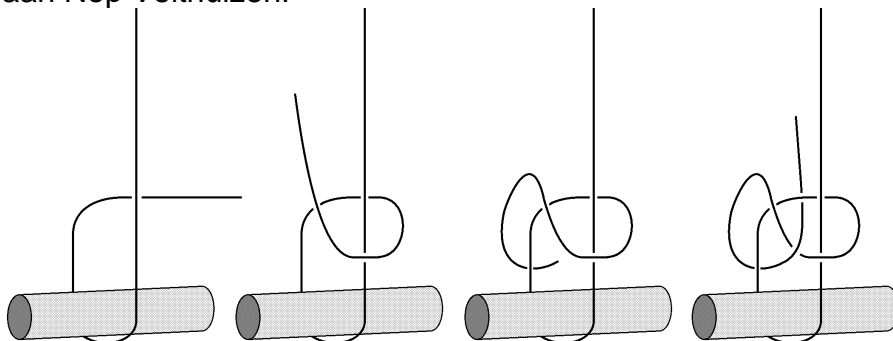
Ga met behulp van een grafiek na of T evenredig is met L/D .

Zet in een derde grafiek T tegen $(L/D) \cdot \sqrt{h}$ uit. Gebruik daarbij alle zes meetwaarden.

Bepaal uit de vergelijking van de trendlijn de waarde van de gravitatieversnelling g .

Extra informatie over de lusjes om de koperen buis

De lusjes om de koperen buis kunnen nauwer gemaakt worden door aan de lange uiteinden te trekken en wijder gemaakt worden door aan de korte uiteinden te trekken. De onderstaande figuren tonen hoe de knoopjes gemaakt worden. Met dank aan Nop Velthuisen!



Naam: _____ Klas: _____

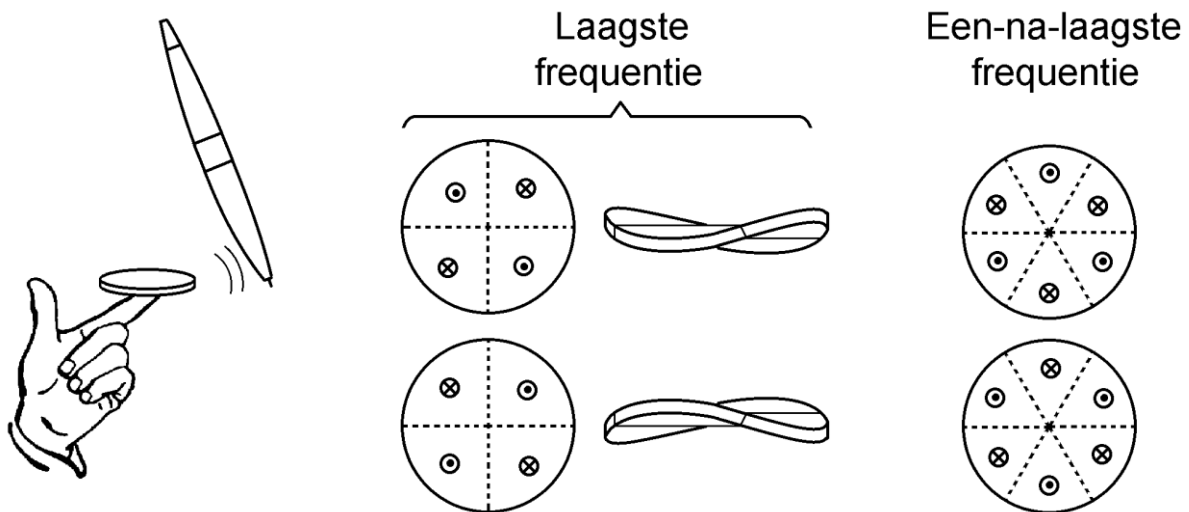
Practicum: trillende ronde metalen schijf

Inleiding van het practicum

Als je een gouden of zilveren munt op je vinger legt en de rand van de munt even met een pen aantikt, hoor je in veel gevallen een hoge toon. Dat komt omdat de munt gaat trillen (resoneren) en daarbij geluid uitzendt. Zie de onderstaande linker figuur. In dit practicum onderzoeken we dit trillingsverschijnsel niet met gouden of zilveren munten maar met een aantal ronde schijven van messing (= legering van koper en zink) met verschillende diktes en diameters.

Na het aantikken van een schijf, gaat deze trillen. De afzonderlijke deeltjes van de schijf bewegen dan in hoog tempo op en neer loodrecht op het vlak van de schijf. Op bepaalde plaatsen van de schijf trillen de deeltjes echter niet. Deze deeltjes liggen dan op een zogenoemde knooplijn (zie hierna).

In het algemeen zijn er bij een gegeven schijf meerdere resonantiefrequenties. Bij elke resonantiefrequentie hoort een eigen patroon van knooplijnen. In dit practicum beperken we ons tot de twee laagste resonantiefrequenties. In de onderstaande figuren zijn de knooplijnen met stippellijnen weergegeven.



Bij de laagste resonantiefrequentie zijn er twee loodrecht op elkaar staande knooplijnen (knoopdiameters) aan te wijzen. De kleine rondjes met kruisjes horen bij een uitwijking naar beneden (het vlak van tekening in) en de rondjes met stippen horen bij een uitwijking naar boven (het vlak van tekening uit). De bijbehorende standen van de schijf zijn ook in perspectief getekend. De uitwijking is hierbij onrealistisch groot. Tussen de bovenste en onderste figuren zit een halve periode.

Tenslotte horen de twee rechter figuren bij de een-na-laagste resonantiefrequentie van de schijf. Er is nu sprake van drie knooplijnen (knoopdiameters). Ook nu zit er een halve periode tussen beide figuren.

Theorie

Hierna maken we gebruik van de volgende symbolen.

h = dikte van de cirkelvormige schijf (in m)

a = straal van de cirkelvormige schijf (in m)

E = elasticiteitsmodulus van de stof waar de schijf uit bestaat (in Pa = N/m²)

ρ = dichtheid van de stof waar de schijf uit bestaat (in kg/m³)

ν = poisson ratio van de stof waar de schijf uit bestaat (dimensieloos)

n = 1 of 2 behorend bij de laagste en de een-na-laagste resonantiefrequentie

f_n = resonantiefrequentie bij $n = 1$ of $n = 2$ (in Hz)

λ_n^2 = constante bij $n = 1$ of $n = 2$ (dimensieloos).

V_L = snelheid van een longitudinale golf door een oneindig grote plaat (in m/s)

Volgens theoretische beschouwingen geldt de volgende formule voor de resonantiefrequentie.

$$f_n = \underbrace{\frac{\lambda_n^2}{2\pi\sqrt{12}}}_{\text{constante zonder eenheid}} \cdot \underbrace{\sqrt{\frac{E}{\rho \cdot (1 - \nu^2)}}}_{V_L = \text{snelheid van een longitudinale golf door een oneindig grote plaat of schijf (hangt alleen af van de stoffeigenschappen)}} \cdot \underbrace{\frac{h}{a^2}}_{\text{hangt alleen af van de afmetingen van de schijf}}$$

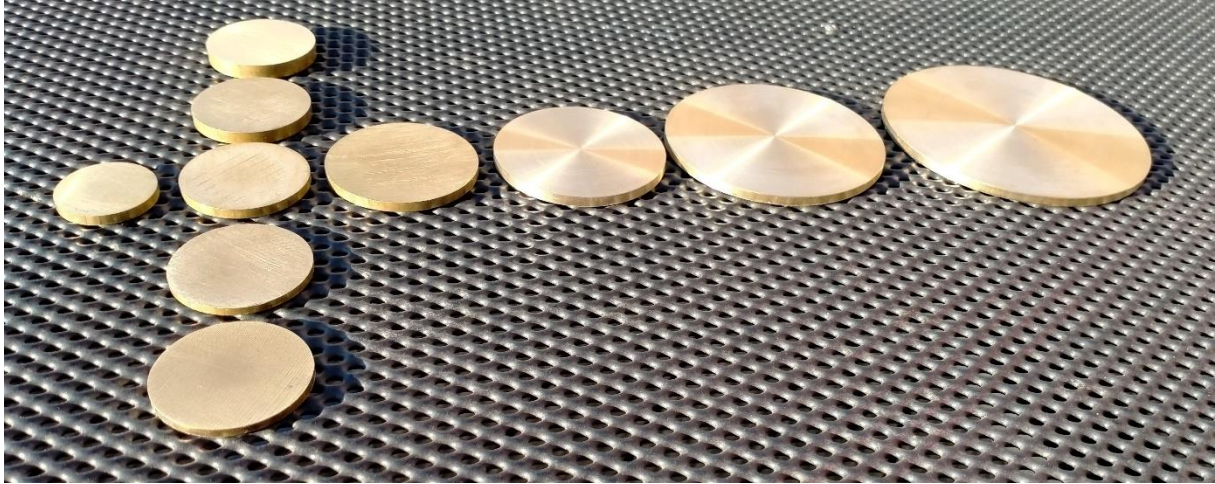
Het rechter lid van de vergelijking bestaat uit drie factoren. De eerste factor is een evenredigheidsconstante zonder eenheid. De tweede factor (de wortel) hangt alleen van de eigenschappen van de stof van de trillende schijf af. Deze factor stelt de snelheid van de longitudinale golf door een (oneindig uitgebreide) schijf of plaat voor. In dit practicum heeft hij het symbool V_L . De derde factor hangt uitsluitend van de afmetingen van de schijf af. Hieruit volgt dat de resonantiefrequentie evenredig is met de dikte van de schijf en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de straal van de schijf.

Het linker en rechter lid van de formule moeten dezelfde eenheid hebben hetgeen eenvoudig na te gaan is: $1/s = (m/s)(1/m)$.

Zoals gezegd heeft de eerste factor van het rechter lid geen eenheid. De waarden van λ_1^2 en λ_2^2 hangen een klein beetje van de poisson ratio af. Voor stoffen met een poisson ratio van 0,33 (zoals bij messing) geldt: $\lambda_1^2 = 5,253$ en $\lambda_2^2 = 12,23$.

Opdrachten

In de onderstaande foto is een verzameling schijven te zien die gebruikt kan worden. Deze schijven zijn gemaakt van de messingsoort Ms58.



- 1)
Meet bij de verschillende messing schijven de laagste en de een-na-laagste resonantiefrequentie (f_1 en f_2). De messing schijven hebben verschillende diameters en diktes. Gebruik voor de frequentiemeting een geschikte app op een telefoon.
- 2)
Zet in één diagram de gemeten f_1 en f_2 uit tegen h/a^2 . Het diagram moet beide trendlijnen bevatten inclusief hun vergelijkingen.
- 3)
Ga na of de meetresultaten in overeenstemming zijn met de bovenstaande theorie.
- 4)
Bepaal, uitgaande van de trendlijn die hoort bij de gemeten laagste frequenties (f_1), de snelheid v_L van een longitudinale golf door de schijf.
- 5)
Bepaal van elke schijf z'n massa.
Zet in een diagram de massa tegen het volume van de schijven uit.
Bepaal uit het diagram de dichtheid van de gebruikte messingsoort.
- 6)
Bepaal de elasticiteitsmodulus E van de gebruikte messingsoort. Gebruik hierbij 0,33 voor de poisson ratio (deze waarde geldt voor elke messingsoort) en de eerder bepaalde dichtheid.