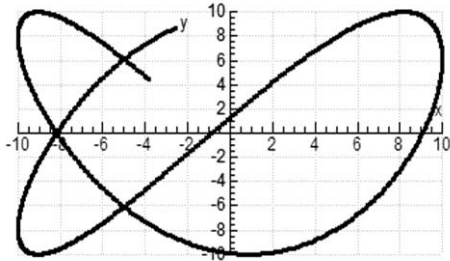
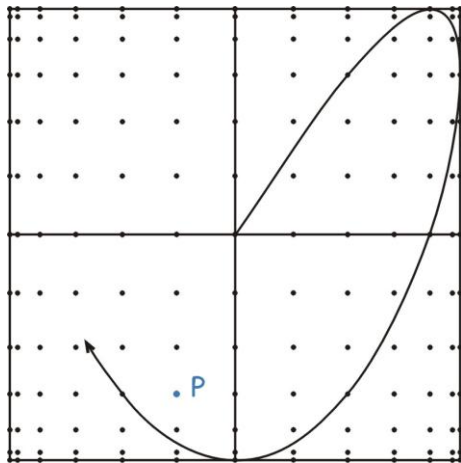


Lissajousfiguren

Op p. 61 zie je hoe een kogel twee trillingen tegelijkertijd uitvoert: hij danst en hij zwaait. De figuur die je dan krijgt, heet een *lissajousfiguur*. Hoe je deze figuur zelf kunt maken en veranderen, kun je vinden op de site bij de practica met Coach.



Ook kun je daar dit lissajousraster met de bijbehorende instructies ophalen.



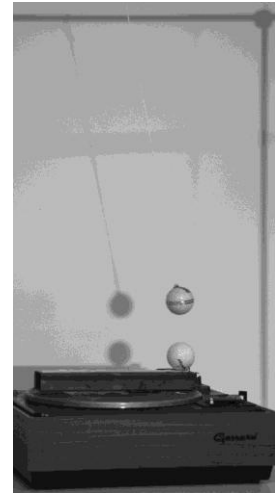
- a Maak de figuur hierboven af; $f_x : f_y = 2 : 3$.
- b Teken zo'n figuur als je in P begint met een zelfgekozen richting en frequentieverhouding.
- c Bij welk beginpunt en frequentieverhouding krijg je een cirkel?
 - Er is een beginpunt en frequentieverhouding waarbij je een parabool krijgt.
- d Zoek dat uit.

De formule voor v_{\max}

De formule voor waarmee je de maximale snelheid v_{\max} van een slingerende bol kunt berekenen is:

$$v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}$$

Om deze formule af te leiden, gebruiken we een draaitafel, een slinger en een felle lamp op flinke afstand. Boven de draaitafel slingert een bol aan een touw. Op de draaitafel ligt een bol die eenparig ronddraait. Als de lengte van de slinger en de amplitude goed zijn afgesteld, zie je de schaduwen van de twee bollen steeds boven elkaar.



Beide schaduwen voeren dus precies dezelfde harmonische trilling uit.

Voor de constante baansnelheid v waarmee de bol op de draaitafel ronddraait, ken je de formule al:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (\text{zie p. 20})$$

Omdat de straal r van de cirkelbaan even groot is als de amplitude A van de slinger, geldt voor de maximale snelheid van de slinger:

$$v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}$$

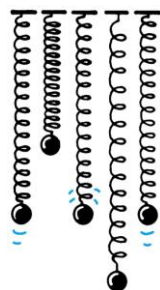
De diameter van de cirkelbaan is 28 cm en de draaitafel maakt 45 toeren per minuut.

- Bereken:
 - a de periode van de slinger;
 - b de lengte van de slinger;
 - c¹ de amplitude van de slinger;
 - c² de maximale snelheid van de slinger.

De energie van een harmonische trilling

Een trillend voorwerp met massa m staat stil in zijn omkeerpunten en gaat met maximale snelheid door de evenwichtsstand.

In de omkeerpunten is er energie in de veer opgeslagen als veerenergie. In de evenwichtsstand is de energie kinetisch. De energie verandert dus voortdurend van vorm. We verwaarlozen demping.



| | u | v | E_k | E_v |
|-------|-----|-----|-------|-------|
| ----- | max | 0 | max | 0 |
| ----- | 0 | max | 0 | max |
| ----- | max | 0 | max | 0 |

In de *evenwichtsstand* geldt:

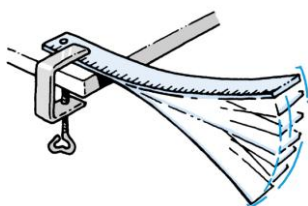
$$E_{\text{totaal}} = E_{k,\text{max}} = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2$$

In de *omkeerpunten* is alle energie omgezet in veerenergie. Op p. 108 is voor de veerenergie van een gespannen veer afgeleid $E_{\text{veer}} = \frac{1}{2}Cu^2$.

In de omkeerpunten is $u_{\text{max}} = \pm A$. Daaruit volgt:

$$E_{\text{totaal}} = E_{v,\text{max}} = \frac{1}{2}CA^2$$

- a Combineer de formule voor $E_{k,\text{max}}$ met de formule voor v_{max} van de vorige pagina.
- b Combineer deze nieuwe formule met de formule voor $E_{v,\text{max}}$ zodat je een formule krijgt waar A niet in zit.
- c Bewijs hiermee de formule hoe T afhangt van de massa m en de veerconstante C .
 ► De amplitude van deze liniaal neemt af van 5 cm tot 2 cm.



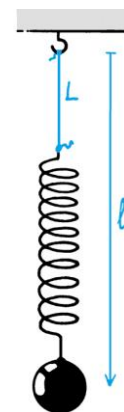
- d Met welke factor is v_{max} afgenomen?
- e Hoeveel % van de oorspronkelijke energie is weggelekt?

Zwaaien en dansen

Een veer heeft een lengte van 15,0 cm. We hangen er een bol van 250 g aan. Die gaat op en neer dansen met $T_d = 0,83$ s.

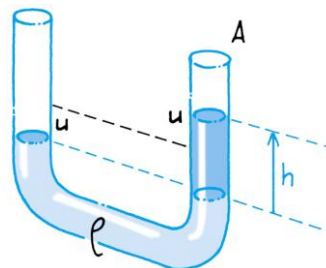
Daarna bevestigen we een touwtje met lengte L aan de veer, zodat de bol afwisselend gaat zwaaien (T_z) en dansen (T_d). Er geldt: $T_z = 2T_d$.

- a Bereken C van de veer.
- b Bereken de lengte van de veer als de bol stil hangt.
 ► In de formule voor T_z moet je ℓ invullen.
- c Bereken L .



Vloeistof in een U-buis

De vloeistof in een U-buis heeft de lengte ℓ en dichtheid ρ . Het oppervlak van de doorsnede van de buis is A . De terugdrijvende kracht bij de uitwijking u wordt geleverd door de zwaartekracht op de donkere kolom.



- Geef een uitdrukking voor:
 - a¹ het volume van alle vloeistof in de buis;
 - a² de massa van de vloeistof;
 - b de terugdrijvende kracht.
- c Leid voor de periode waarmee de vloeistof in de buis kan schommelen af:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{2g}}$$

Zwevingen

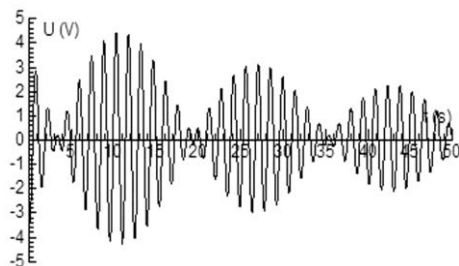
Neem twee gelijke stemvorken en verzwaar de een met een gewichtje zodat zijn toonhoogte wat daalt. Als je ze daarna beide aanslaat, hoor je *zwevingen*.

Bij het stemmen van muziekinstrumenten wordt gelet op zwevingen. Als bijvoorbeeld twee fluiten niet precies dezelfde toon geven, hoor je dat direct.

Stel dat je twee tonen hebt: $f_1 = 440$ Hz en $f_2 = 434$ Hz en dat beide tonen op zeker moment in de pas lopen, zodat ze elkaar versterken.

Toon 1 maakt per seconde zes trillingen meer dan nummer 2. Dus na $\frac{1}{6}$ s lopen ze weer in de pas. Dat gebeurt zes keer per seconde. De zwevingsfrequentie is dus 6 Hz. Als het frequentieverschil groter is dan 10 Hz, hoor je geen zweving meer maar twee aparte tonen.

Laat twee slingers in bakken water zwaaien, zoals in opgave 45 van hoofdstuk 1, en meet de spanning tussen de twee heen-en-weer zwaaiende contacten.



► De tijdas is hier 50 s lang.

a Op welke tijdstippen liepen de slingers met elkaar in de pas?

► De langste slinger had een lengte van 62 cm.

b Bepaal T_{zweving} en bereken f_{zweving} .

c Bereken de lengte van de andere slinger.

Geluidssnelheid meten 1

Twee stroboscopen geven alleen een flits als ze een signaal van hun eigen microfoon krijgen.

Je slaat twee blokken hout op elkaar en dat geluid wordt door de twee microfoons opgevangen.

De stroboscopen belichten een schijf die draait met 6000 toeren per minuut. Op de schijf staat één witte streep die je dankzij de twee flitsen dubbel ziet.

Je schuift met de microfoons en als de afstand ertussen 85 cm is geworden, zie je de twee witte strepen onder een hoek van 90° .

a Bereken hoe lang het geluid erover gedaan heeft om van microfoon 1 naar microfoon 2 te reizen.

b Bereken de geluidssnelheid.

Geluidssnelheid meten 2

Deze proef doe je met z'n drieën. Nr. 1 zorgt ervoor dat een secondeslinger aan de gang blijft.

Iedere keer dat de slinger in zijn rechter omkeerpunt komt, geeft nr. 2 een harde klap met twee blokken hout. Jij loopt van de slinger weg en daardoor raken de slinger en de knallen uit de pas. Na 170 m hoor je de klap op het moment dat je de slinger in zijn linker omkeerpunt ziet!

- Welke waarde volgt hier uit voor de geluidssnelheid?

