**Staande golf met een elektrische tandenborstel**

[onderwerpsymbool GS]

[B]

Tijd

20 – 40 minuten

Bereik

Vanaf klas 5

[inleidend kader]

Als je aan het uiteinde van een gespannen koord een trilling aanbiedt, kan er onder bepaalde voorwaarden een staande golf in het koord ontstaan. De frequentie van de trilling, de golfsnelheid van de ontstane golf in het koord en de lengte van het koord moeten dan in de juiste verhoudingen met elkaar zijn. In het standaardexperiment in de klas varieer je dan vaak de frequentie. Maar wat nu als je de frequentie constant houdt en de golfsnelheid in en de lengte van het koord als variabelen neemt? Als trillingsbron gebruiken we een elektrische tandenborstel.

[einde kader]

[KL06\_figuur\_1]

*Figuur 1. De opstelling*

**Nodig**

Elektrische tandenborstel; koord of elastiek; katrol; massablokjes; rolmaat; nauwkeurige weegschaal; statiefmateriaal.

**Voorbereiding**

Bouw de opstelling zoals weergegeven in figuur 1. Een elektrische tandenborstel is in een statief geklemd en is er een elastiek aan vast geknoopt. Het andere uiteinde is over een katrol gelegd en er zijn één of meer massablokjes aan bevestigd.

Varieer de lengte van het elastiek zó. dat je een goede staande golf krijgt.

Bepaal de lineaire massadichtheid van het elastiek.

**Uitvoering**

1. Laat de leerlingen het aantal halve golflengten dat te zien is in het elastiek tellen en laat hen vervolgens met behulp van de lengte van het koord de golflengte berekenen.
2. Pas de spankracht in het elastiek aan door meer (of minder) gewichtjes aan het uiteinde te bevestigen. Test vervolgens weer uit met de lengte van het elastiek zodat er weer een goed zichtbare staande golf ontstaat. Laat de leerlingen opnieuw de golflengte bepalen.
3. Herhaal de vorige handeling een aantal maal totdat er bijvoorbeeld vijf metingen (golflengte en massa) beschikbaar zijn.
4. Laat de leerlingen een grafiek tekenen waarin de golflengte staat uitgezet tegen de spankracht in het elastiek. De leerlingen zullen zien dat er geen sprake is van een recht evenredig verband.
5. *Welke grootheden moet je tegen elkaar uitzetten om wel een recht evenredig verband te krijgen?*
6. Laat de leerlingen vervolgens een grafiek tekenen waarin het kwadraat van de golflengte staat uitgezet tegen de spankracht in het elastiek. Nu is er wel sprake van een recht evenredig verband*.*
7. *Bereken de lineaire massadichtheid van het elastiek berekenen.* Of geef die.
8. *Bepaal de frequentie van de elektrische tandenborstel uit de steilheid van het verkregen recht evenredige verband.*
9. Controlevraag: *Schets het (λ2, F)-diagram dat hoort bij een elastiek met een grotere lineaire massadichtheid.*

**Natuurkundige achtergrond**

Voor staande golven geldt de formule: *v* = *f* · *λ.*

Ook geldt in een gespannen koord: *v* =

Beide formules combineren levert het gezochte verband op tussen *λ2* en *F.*

Een uitgebreide afleiding staat op de website.

Voor staande golven geldt de formule:



In deze formule staat *v* voor de golfsnelheid (in m/s), *λ* voor de golflengte (in m) en *f* voor de frequentie (in Hz). De golfsnelheid in een gespannen koord kun je ook berekenen met behulp van de volgende formule:



In deze formule staat *v* weer voor de golfsnelheid (in m/s), *F*s voor de spankracht in het koord (in N) en *ρ*L voor de lineaire massadichtheid van het koord (in kg/m). De lineaire massadichtheid kun je bepalen door de massa van het koord te delen door de lengte van het koord. Beide formules kunnen aan elkaar gelijk worden gesteld. Dit levert op:



De variabelen in het experiment zijn de golflengte en de spankracht in het koord. Als we deze twee grootheden aan elkaar relateren binnen dit experiment, kun je de bovenstaande relatie ook als volgt noteren:



Door in een diagram de golflengte in het kwadraat uit te zetten tegen de spankracht in het koord ontstaat een recht evenredig verband. De steilheid van de grafiek is gelijk aan  en hieruit kun je dan de frequentie berekenen. Een voorbeeld van een grafiek is weergegeven in figuur 2.

[KL06\_figuur\_2]

*Figuur 2. De golflengte in het kwadraat uitgezet tegen de spankracht in het koord.*

**Tips**

• De uitvoering van het experiment vergt wat handigheid, waarvoor een goede voorbereiding noodzakelijk is. Zorg dat je een set meetresultaten achter de hand hebt voor het geval het verkrijgen van de staande golf in een bepaalde situatie niet soepel verloopt.

• De beste resultaten van de staande golf ontstaan als de opstelling op een stabiele ondergrond staat, bijvoorbeeld een demonstratietafel.

• Het zoeken naar een recht evenredig verband is een werkwijze die binnen de natuurkunde gebruikelijk is. Voor leerlingen is dit echter niet eenvoudig. Laat hen eerst laten ervaren dat het direct uitzetten van de variabelen tegen elkaar geen recht evenredig verband oplevert. Dat maakt de relevantie van de coördinatentransformatie helder maken. Laat de leerlingen eerst zelf nadenken over de noodzakelijke coördinatentransformatie.

• Het is zaak dat de leerlingen het experiment actief volgen en de verkregen meetresultaten zelf verwerken. Op die manier ontstaat er een bepaalde mate van vaardigheid. Het verwerken van meetresultaten, het tekenen van grafieken en het komen tot een set data voor een recht evenredig verband zijn dan de leerdoelen.

• In het vwo-examen van 2018 (eerste tijdvak) is dit experiment als context gebruikt.

**Verder onderzoek**

Het gebruik van een ander elastiek (met een andere lineaire massadichtheid) of een ander model of merk elektrische tandenborstel kan inspiratie bieden tot verder onderzoek.