

"RESONANTIEVERSCHIJNSELEN"

PRINCIPE VAN HET EXPERIMENT

Het verband tussen resonantieverschijnselen en bruggen kan voor sommigen duidelijk zijn en voor anderen totaal onbekend. Sommigen zullen je zeggen: "Ah, maar ja, het is de beroemde brug die in de VS is gebroken"; of zelfs voor de meeste kenners: "Hij spreekt noodzakelijkerwijs van de Tacoma-brug". Het fenomeen is indrukwekkend vanwege de omvang en de verwoestende gevolgen ervan. In de Verenigde Staten stortte op 7 november 1940, na indrukwekkende trillingen, de Tacoma-brug in, onder de stomverbaasde ogen van vele getuigen. Een veelgehoorde bewering is dat deze ineenstorting te wijten is aan het fenomeen resonantie. De reden is eigenlijk complexer. (Zien [Tacoma Bridge: het tegenonderzoek | Voor de wetenschap](#))

Ons doel is om een model van een brug te maken en een resonantie te simuleren om te verifiëren in hoeverre deze verantwoordelijk is voor het instorten van de brug.

MATERIAAL

De apparatuur die nodig is voor dit experiment is grotendeels gemakkelijk toegankelijk en tegen lage kosten.

Hier is een lijst van de materialen die je nodig hebt:

- * Twee trillende/oscillerende apparaten waardoor het brugdek kan resoneren
- * Frequentiegenerator(en) om trillende/oscillerende apparaten aan te sturen
- * Bedrading die de apparaten verbindt met de generator(en) (hier bananenkabels)
- * Gipsplaten
- * Twee inkepingen waarmee de gipsplaat aan de oscillerende/vibrerende systemen wordt bevestigd
- * Twee voeten waarin de oscillerende/vibrerende systemen zijn gemonteerd

Opmerkingen: Voeten zijn optioneel. Ze zijn aanwezig om de brug realistischer te maken. Het is ook mogelijk om de brug esthetisch aantrekkelijk te maken door hem te decoreren en onder te dompelen in de context, maar dat heeft geen invloed op de fysica van het experiment...

Vervaardiging van het brugdek met gipsplaat (Gyproc-platen):

Het experiment stelt ons in staat om de ideale afmetingen voor het brugdek te bepalen:

- Een gipsplaatdikte van 9 millimeter.
- Een lengte van gipsplaat variërend van 1 meter tot 1,2 meter.
- Een gipsplaatbreedte van 4 centimeter.

De Gyproc-platen zijn bedekt met zeer resistente kartonnen platen. Als je er zeker van wilt zijn dat de plaat kan bezwijken, moet je ze over de hele lengte licht schuren. Op deze manier verwijderen we eenvoudig de weerstand die door een materiaal wordt veroorzaakt.

Zorg ervoor dat de plaat wordt vastgehouden wanneer deze op oscillerende/vibrerende apparaten wordt geplaatst. Denk er dus aan om ofwel de einddelen van de plaat aan te passen, ofwel de inkepingen om de plaat vast te houden.

Persoonlijk advies...

Voor de oscillerende apparaten hebben we een "Vibrator Generator" gebruikt, zoals afgebeeld op de foto hiernaast.



Voor de inkeping hebben we besloten om een "gipskanaal" te gebruiken, dat we hebben gesneden tot een maat die overeenkomt met de diameter van onze oscillerende apparaten. Vanaf dat moment moesten we onze platen iets aanpassen zodat ze stabiel en vast in de inkeping bleven.



Als het gaat om de generator(en), heb je twee opties:

1. U gebruikt een enkele generator die op beide apparaten is aangesloten om zowel de frequentie als de fase van de oscillaties gemakkelijker te kunnen regelen. Er is echter een voldoende krachtige generator vereist.
2. Je gebruikt twee generatoren die elk op een apparaat zijn aangesloten. Het is dan nodig om meer tijd te nemen om de fase van de oscillaties af te stemmen. Bovendien moet ervoor worden gezorgd dat de frequenties tegelijkertijd worden gevarieerd om geen faseverschuiving te creëren. Het voordeel is dat een minder krachtige generator volstaat.

WERKWIJZE:

Zodra de montage is voltooid, kan het experimenteren en plezier eindelijk beginnen!

1. Installeer de oscillerende/vibrerende apparaten door ze met de kabels op de generator(en) aan te sluiten.
2. Bevestig de inkepingen in de apparaten.
3. Plaats de gipsplaat in de uitsparingen
4. Pas de frequentie aan totdat de oscillatie-amplitude aanzienlijk toeneemt. Op de brug verschijnt een interferentiefiguur: vaste plaatsen waar het dek zeer sterk oscilleert en andere nauwelijks.
5. Om de brug te breken, moet de trillingsamplitude van de oscillatoren worden vergroot.

Persoonlijk advies...

Om het fenomeen zo visueel en zo didactisch mogelijk te laten zijn, is het noodzakelijk om de eerste resonantiefrequentie van het brugdek te vinden, dat wil zeggen degene die de vorming van een enkele trillingsbuik mogelijk maakt. In ons geval, met de eerder genoemde afmetingen, is dat rond de 5,5 Hertz.



Foto van het apparaat. De gipsplaat wordt ondersteund door twee metalen inkepingen die elk aan de oscillatoren zijn bevestigd. Elke oscillator is verbonden met een frequentiegenerator.



Foto van de oscillator waarop een metalen inkeping is bevestigd. Het ondersteunt de gipsplaat.



Bij de resonantiefrequentie is de trilling van de brug maximaal op de plaats waar de buik zich bevindt. Als de amplitude voldoende is, breekt het.



RESULTATEN EN CONCLUSIE

Het experiment duidt aan dat bij de resonantiefrequentie de gipsplaat uiteindelijk geeft toe waar de amplitude van de oscillatie maximaal is, dat wil zeggen bij de antinodes. Alle moeilijkheid ligt in het bepalen van een eigenfrequentie van het systeem. Golven van verschillende aard bezinken op de brug (dwars en torsie), wat de theoretische bepaling van deze specifieke frequenties bemoeilijkt. Proberen en is de enige manier om dit te bereiken.

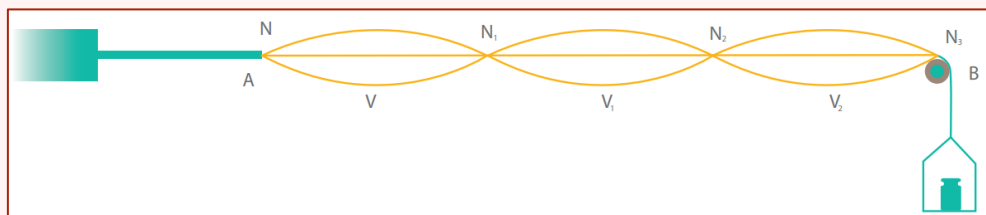
Er zijn veel pogingen ondernomen om dit experiment te ontwerpen. Dit is momenteel een prototype dat voor verbetering vatbaar is.

AANVULLENDE ERVARINGEN

Hieronder worden aanvullende experimenten beschreven die het mogelijk maken om in eenvoudiger situaties de verschijnselen van resonantie in de oscillatie van de brug te benaderen. Ze hebben het voordeel dat ze gemakkelijk reproduceerbaar zijn en duidelijke waarnemingen opleveren. De belangrijkste elementen van resonantie worden geleidelijk geïntroduceerd van de trilling van een 1D-object naar een 3D-object.



Het is relatief moeilijk om handmatig een regelmatige cadans aan een systeem op te leggen. Aan de andere kant is het gemakkelijk om het op te leggen met een elektrisch apparaat: in onze experiment zal het membraan van een luidspreker zijn trillingsfrequentie opleggen aan een metalen staaf die eraan is bevestigd. Een uiteinde van een koord is verbonden met deze staaf; de andere wordt vastgehouden (hier door een kleine massa):

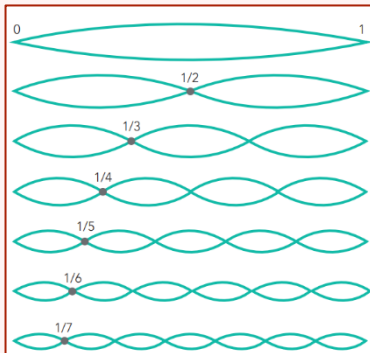


Voor de meeste frequenties die aan de staaf worden opgelegd, oscilleert de snaar op een wanordelijke, onstabiele manier en geen periodieke figuur kan zich daar vestigen. Anderzijds trekt de snaar voor bepaalde zeer specifieke frequenties – resonantiefrequenties – stabiele figuren (zie bovenstaande tekening). Het verkregen figuur vertegenwoordigt wat een staande golf wordt genoemd. We hebben het over een staande golf¹ wanneer de beweging zich heeft verspreid naar de hele ondersteuning en dat het niet meer verandert.

Onder deze omstandigheden is een globale beschrijving in termen van voortplanting niet meer voor de hand liggend; maar de staande golf kan worden beschreven als de superpositie van twee zich voortplantende golven. De eerste plant zich voort in de voortplantingsrichting van de eerste vervorming - de invallende golf - en de tweede in de tegenovergestelde richting - de gereflecteerde golf².

¹Spreken van een "staande" golf betekent dus niet dat de verschillende punten van de ondersteuning niet bewegen. Staande betekent dat de golfvorm bevroren blijft in de tijd. De golf lijkt niet meer vooruit te gaan in het medium, het geeft de indruk van "stilstaan".

²In werkelijkheid is de staande golf het resultaat van de superpositie van een groot aantal golven, aangezien een invallende golf meerdere keren in het systeem wordt gereflecteerd en geleidelijk dempt.



In ons systeem kunnen de twee uiteinden van het touw als vast worden beschouwd, deze twee uiteinden komen dus overeen met plaatsen waar het touw praktisch niet beweegt. Deze plaatsen worden trillingsknooppunten genoemd. Deze waarneming stelt dat de lengte van de drager dus een geheel aantal maal de halve golflengte is (per definitie van de golflengte).

De punten met maximale verlenging worden de antinodes genoemd. De maximale verlenging wordt amplitude genoemd.

Aan weerszijden van een knoop trillen de punten in tegengestelde richtingen.

De resonantiefrequenties zijn specifiek voor elk systeem. In het geval van het touw hangen ze af van de lengte, de spanning, de aard ervan. De trillende snaar is de zetel van eendimensionale staande golven. Dat wil zeggen, de golf plant zich voort in één richting, namelijk die van de snaar.

De frequentie die aanleiding geeft tot de eerste staande golf wordt de eerste harmonische genoemd; de tweede is de tweede harmonische, de derde is de derde harmonische, enz.

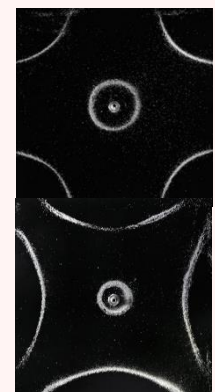
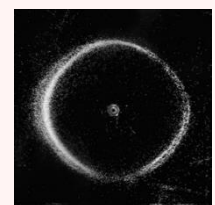
FIGUREN VAN CHLADNI

TWEEDIMENSIONALE STAANDE GOLVEN

Het is ook mogelijk om staande golven in twee dimensies waar te nemen. Een horizontale plaat, waarvan het oppervlak vooraf gelijkmatig met zand is bestrooid, wordt bevestigd aan het membraan van een luidspreker waarvan de trillingsfrequentie fijn kan worden afgesteld via een staaf die in het midden is bevestigd. Zodra de luidspreker in werking is, begint de plaat verticaal te trillen. Voor bepaalde trillingsfrequenties – resonantiefrequenties van de plaat – trekken de zandkorrels stabiele figuren op de plaat!

Bij deze specifieke frequenties, specifiek voor de plaat, leidt de superpositie van de invallende golven die uit het midden van de plaat komen - en de gereflecteerde golven - die worden teruggestuurd door de randen van de plaat - tot staande golven. Dit specifieke trillingsregime zorgt er daarom voor dat knopen en buiken op de plaat verschijnen.

De zandkorrels die zich op plaatsen bevinden die trillen, worden uitgestoten en vallen op andere plaatsen. Als deze plekken ook trillen, springen de korrels weer op; als ze niet trillen, bezinken de korrels en hopen ze zich daar op: de figuren die op de plaat worden waargenomen, komen dus overeen met de trillingsknooppunten en maken het mogelijk om de knooplijnen van de staande golf in twee dimensies te visualiseren. Hoe hoger de resonantiefrequenties, hoe



FLORIAN GRAVELINE

meer de afstand tussen de knopen en de buiken afneemt en hoe complexer de waargenomen figuren.

De vorm van de knooplijnen hangt af van de symmetrie van de plaat. Platen van verschillende vormen (vierkant, driehoekig, vorm van een viool...) zullen knooplijnen van verschillende vormen vertonen.



HET CASTAFIORE-GLAS

AKOESTISCHE GOLVEN

Kun je echt een glas breken tijdens het zingen? Zou La Castafiore de ramen van het Château de Moulinsart kunnen laten ontploffen alleen al door het geluid van haar stem?



Het experiment van zangglazen is algemeen bekend: het is namelijk mogelijk om een glas met een vloeistof te laten "zingen" door een vinger te bevochtigen en de rand van het glas te volgen door erover te strijken. Dit geluid is harmonieus. Door met de rand van een vingernagel licht op het glas te tikken, is het ook mogelijk om een geluid te produceren. Deze twee uitgezonden geluiden zijn specifiek voor het gebruikte glas en de manier waarop het wordt gevuld. De frequentie van deze geluiden komt exact overeen met de resonantiefrequentie van dit glas.

Het in de tentoonstelling voorgestelde experiment wordt op grotere schaal gedaan: met een vaas! De resonantiefrequentie van de vaas wordt bepaald en vervolgens via een instelbare frequentiegenerator aan de vaas opgelegd. Het doel is om het ontvangen idee, volgens welke alleen hoge tonen glas kunnen laten trillen en breken, te vernietigen!

De vaas wordt blootgesteld aan geluiden van verschillende frequenties. De leerlingen stellen dan vast dat zeer hoge - of zeer lage - geluiden geen effect hebben op de vaas.

Overigens illustreert het experiment het bereik van het voor de mens hoorbare geluidsspectrum. Pas wanneer de vaas wordt blootgesteld aan het geluid dat zelf uitstraalt, bijvoorbeeld wanneer er op wordt geslagen, begint hij op een zeer indrukwekkende manier te trillen! Het verlichten van de vaas met een stroboscoop benadrukt de dramatische vervormingen.

Bepaalde plaatsen aan de rand blijven vast (trillingsknooppunten) en andere trillen met een grote amplitude (trillingsbuiken). Een kleine frequentieverschuiving – al is het maar met één hertz – op het niveau van de generator doet het fenomeen verdwijnen, zelfs met een krachtige versterker!

Nadat de externe bron is afgesloten, blijft het glas nog een korte tijd geluid geven. Dit geluid wordt gedempt door de demping van de trillingen van de wanden van de vaas.

Als de emitterende bron krachtig genoeg was (maar van dezelfde frequentie!), zou het mogelijk zijn om de vaas te breken: de amplitude van de buiken zou toenemen, het glas zou de spanningen niet langer kunnen weerstaan en zou uiteindelijk breken.

Zou de menselijke stem tot zo'n prestatie in staat zijn? A priori zou een goede zanger op de juiste frequentie kunnen stoppen. Maar vanwege het productiemechanisme is de menselijke stem niet monochromatisch. Daarom, zelfs als de zanger de juiste frequentie uitstraalt, wordt zijn geluidsvermogen automatisch verdeeld over meerdere frequenties, waardoor de energie die naar de resonantiefrequentie van het glas wordt gestuurd, wordt beperkt. Als de stem echter werd versterkt door een microfoon...

