

AstroSounds

Hoe kunnen we stemmen,
muziekinstrumenten en zelfs sterren
herkennen op basis van hun klankkleur?



Werkbundel +
oplossingen

Belgium



UC Leuven
Limburg
MOVING MINDS

Doelgroep

Basis

K

1

2

3

4

5

6

Secundair

1

2

3

4

5

6

Uitgave

15 december 2021

Colofon

Uitgave December 2021

Laatste update December 2021

Gebruik en beschikbaarheid Dit materiaal mag gratis gebruikt worden voor niet-commerciële, educatieve doeleinden. Wie fragmenten eruit overneemt dient de bron te vermelden. Het lesmateriaal kan gedownload worden op www.esero.be > Nederlandstalig > lesmateriaal

Auteurs en partners

UCLL

- Ontwikkeld in de lerarenopleiding fysica van UCLL (University College Leuven Limburg), Campus Diepenbeek.
- Ontwikkeld door: Geebelen Jeroen, Gerits Jannes, Vereecken Bram (leerkrachten in opleiding UCLL)
- Onder begeleiding van: Erica Andreotti, Renaat Frans (docenten lerarenopleiding en vakdidactici UCLL)

ESERO Belgium

- Vormgeving van dit lespakket voor gebruik in het Vlaamse onderwijs
- Medewerkers: Prof. Dr. Katrien Kolenberg (KU Leuven, UAntwerpen, VUB), Lise Verbraeken (vakdidacticus UCLL Campus Diepenbeek)

ESA

Feedback Cursussen van ESERO Belgium worden online aangeboden in dynamische vorm. Dit betekent dat elke zinvolle feedback van gebruikers onmiddellijk leidt tot de publicatie van een aangepaste uitgave op www.esero.be. Help toekomstige gebruikers door uw opmerkingen of aanvullingen per email op te sturen (www.esero.be > contact).

Hoe kunnen we stemmen,
muziekinstrumenten en zelfs sterren
herkennen op basis van hun klankkleur?

Inleiding

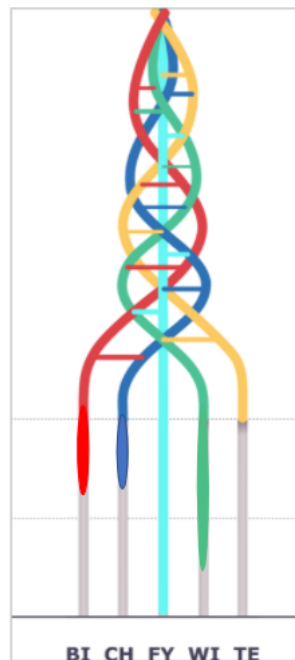
Binnen dit project gaan we op zoek naar een antwoord op de onderzoeksvraag: **'Kunnen we stemmen, muziekinstrumenten en zelfs sterren herkennen op basis van hun klankkleur?'**. Die vraag zullen we bekijken vanuit verschillende invalshoeken, namelijk die van een fysicus, een bioloog, een chemicus en een informaticus. De doelgroep voor dit project is de tweede graad in het secundair onderwijs.

Na dit project moet je een goed beeld hebben over wat de vakken biologie, fysica, chemie en informatica inhouden.

- **Biologie** is de studie van levende organismen.
- **Fysica** is de studie van de fundamentele basiswetten van de natuur, van materie, energie, ruimte, tijd. Deze basiswetten vinden hun toepassing zowel in de biologie als de chemie als in ingenieurswetenschappen of medische wetenschappen.
- **Chemie** is de studie van de samenstelling van stoffen en de veranderingen (reacties) waardoor nieuwe stoffen gevormd worden.
- **Informatica** is de studie die zich richt op het maken van ICT-systemen: het opslaan en verwerken van informatie, het creëren van algoritmen en softwaretoepassingen, het maken en implementeren van netwerken en besturingssystemen, het ontwikkelen van databanken.

Aan de hand van het inkleurmodel zie je vanuit welke invalshoek we kijken in dit project. Of anders gezegd, vanuit welk oogpunt de onderzoeksvraag is gesteld.

Om een antwoord op de algemene onderzoeksvraag te formuleren, voeren we een reeks kleinere onderzoeken uit. Deze zijn uitgewerkt in 7 leerstations. Per leerstation zal je aan de hand van het inkleurmodel kunnen zien vanuit welke invalshoek we daarin kijken. Na elk leerstation gaan we een samenvattend schema van het project aanvullen met de geleerde begrippen uit de verschillende vakken.



Inhoudstafel

Hoe kunnen we stemmen, muziekinstrumenten en zelfs sterren herkennen op basis van hun klankkleur?	4
Inleiding	5
Verwondering	8
Leerstation 1: Wat is geluid?	10
Hoek 1: Proefje met stemvork	11
Hoek 2: Proefje met gitaar en proefje met ballon	12
Hoek 3: Proefje met suiker en geluid en proefje met liniaal	13
Hoek 4: filmpje + proefje: stembanden	15
Reflectiemoment	16
Conceptenmap leerstation 1	18
Leerstation 2: Hebben geluidsgolven een middenstof nodig om zich voort te planten?	19
Hoek 1: Vacuüm	20
Middenstof gas	21
Hoek 2: Middenstof vloeibaar	22
Middenstof vast	23
Hoek 3: Snelheid van geluid in middenstoffen	24
Hoek 4: Geluidsgolf	25
Amplitude	26
Frequentie en golflengte	27
Reflectiemoment	30
Conceptenmap leerstation 2	32
Leerstation 3: Wat zijn eigentrillingen?	33
Hoe kunnen we waarnemen dat sterren trillen?	33
Hoe kunnen we het verschil in lichtsterkte meten?	35
Eigenfrequentie en eigentrillingen	39
Reflectiemoment	42
Concept	43
Leerstation 4: Hoe kunnen we verschillende toonhoogtes horen?	44
Hoek 1: Infra- en ultrageluiden	46
Hoek 2: Resonantie in het slakkenhuis	48
Reflectiemoment	50
Concept	52
Leerstation 5: timbre van muziekinstrumenten en sterren	53
Klankkleur of timbre van een muziekinstrument	55

Timbre van een ster	56
Timbre van een muziekinstrument meten	57
Golfvorm van een samengestelde klank	59
Eigenfrequenties zorgen voor de klankkleur van een instrument.	61
Timbre meten	63
Reflectiemoment	68
Concept	69
Leerstation 6: Geluid van een ster nabootsen	70
Wat is een algoritme?	70
Sterrengeluiden programmeren	71
Concept	77
Leerstation 7: Waarom trillen sterren?	78
Ontstaan van sterren	78
Concept	80
Algemeen besluit	81
Evaluatie	81
Formuleer je antwoord op de onderzoeksvraag	81
Appendix A: exitcards	85
Appendix B: QR-codes sterren	89
	89

Verwondering

Opricht:

Maak groepjes van 3 à 4 leerlingen. Iedere groep kiest een instrument, een willekeurig geluid en een persoon. De groep die achter de wand staat maakt de 3 geluiden. De andere groepen noteren welk instrument, welk geluid en van wie de stem was in het kader.

Waarnemingen:

	Groep 1	Groep 2	Groep 3	Groep 4
Instrument				
Geluid				
Stem				

Besluit

Opvallend is dat de mens geluiden herkent. Wij horen dagelijks veel verschillende geluiden en toch kunnen wij ieder geluid een plaats geven. Ieder voorwerp, iedere persoon heeft zijn eigen geluid. We spreken dan van een verschillend klankkleur of **timbre**, maar wat is dat nu. In ons project gaan we het juist daarover hebben maar dan niet enkel toegepast op instrumenten en stemmen, maar ook op sterren.

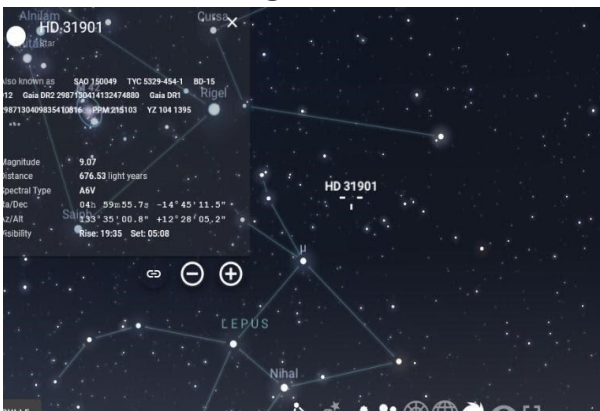
Bekijk de video: <https://www.youtube.com/watch?v=nBxn6QGWJNM&feature=youtu.be>

Bespreek in groep: Wat heb je gehoord? Hoe klinkt het? Waaraan doet het jou denken?

Wat je gehoord hebt, is ster HD 31901: het gaat om een ster in het sterrenbeeld 'Haas'. Dit is een voorbeeld van een trillende ster zoals er vele anderen van zijn. Maar had je al ooit een ster gehoord? *Ja/ Neen.*

Hoe komt het dan dat we naar sterren kunnen luisteren? Dit gaan we leren in deze lessen. Er zijn astrofysici die onderzoek doen naar de structuur van de sterren. Hoe denk je dat zij dit doen, welk zintuig gebruiken ze gewoonlijk? **Het zicht**

Welke instrumenten gebruiken ze? **Telescopen op aarde of in de ruimte**



Met deze toestellen hebben astrofysici gemerkt dat enkele sterren trillen: ze krimpen in en zetten uit. Dit wordt waargenomen als een verandering in de intensiteit van het licht van de ster. Sterren worden verdeeld in 'soorten' afhankelijk van de manier waarop ze trillen. Je zal in deze lessen ontdekken dat deze trillingen in lichtintensiteit gepaard gaan met geluid: sterren hebben dus een eigen klank.

Je kan deze ster HD 31901 zoeken op stellarium web <https://stellarium-web.org/>. Ontdek op stellarium of deze ster deze nacht zichtbaar is en indien dit het geval

is, *noteer hier om hoe laat:*

Let op: of je deze ster met het blote oog effectief kan zien, hangt ook af van zijn helderheid.

Opdracht: Per groep heb je een groen kaartje en een geel kaartje. Noteer op het groen kaartje de dingen die jullie al weten over de sterren of interessant vinden en op het geel kaartje de dingen die jullie nog zouden willen weten rond dit thema.



Leerstation 1: Wat is geluid?

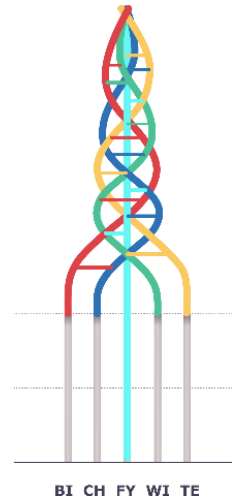
Om het geluid van de sterren te begrijpen, moeten we eerst weten wat geluid is en wat de bronnen zijn van geluid.

Hoekenwerk:

We gaan in vier groepjes enkele proeven uitvoeren. Vervolgens komen we terug samen voor een reflectiemoment om de proeven en ondervindingen te bespreken in de klas. We gaan onderzoek doen om de volgende **onderzoeksvraag** te beantwoorden: **Wat is geluid?**

Hypothesevorming:

Kijk terug naar de tabel met de resultaten van de eerste opdracht. Kijk nu naar de genoteerde instrumenten. Duid aan wat de bron van het geluid is in elk geval:



	Groep 1	Groep 2	Groep 3	Groep 4
Instrument				
Bron	<input type="checkbox"/> Lucht <input type="checkbox"/> Membraan <input type="checkbox"/> Snaar <input type="checkbox"/> Lichaam	<input type="checkbox"/> Lucht <input type="checkbox"/> Membraan <input type="checkbox"/> Snaar <input type="checkbox"/> Lichaam	<input type="checkbox"/> Lucht <input type="checkbox"/> Membraan <input type="checkbox"/> Snaar <input type="checkbox"/> Lichaam	<input type="checkbox"/> Lucht <input type="checkbox"/> Membraan <input type="checkbox"/> Snaar <input type="checkbox"/> Lichaam

Wat gebeurt er als je op een membraan of lichaam klopt of een snaar aanslaat of in een fluit blaast? Wat gaat de 'bron van het geluid' doen? **Dit begint te trillen.**

Hoe ontstaat geluid dan? **Geluid ontstaat door een trilling van een voorwerp.**

De proeven die we gaan doen:

- Proefje met stemvork
- Proefje met gitaar en proefje met ballon
- Proefje met suiker en geluid en proefje met liniaal
- Filmpje en proefje: stembanden

Hoek 1: Proefje met stemvork

Benodigheden:

- Stemvork
- Hamertje
- Touw
- Pingpongballetje
- Statiefvoet
- Statiefstaaf
- Kom gevuld met water

Proefopstelling:



Deel 1:

1. Bouw de proefopstelling net zoals hierboven. Zorg dat het balletje de stemvork juist raakt.
2. Sla met het hamertje tegen de stemvork.

Deel 2:

1. Sla met het hamertje tegen de stemvork.
2. Houdt de stemvork in de kom met water.

Waarnemingen:

Wat gebeurde er met het balletje?

.....

Wat zag je gebeuren in het water?

.....

Besluit:

De bal **trilt** heen en weer. In het water worden **golven** gevormd. Geluid is een **trilling**.

Hoek 2: Proefje met gitaar en proefje met ballon

Benodigheden:

- Gitaar
- Ballon

Proefopstelling:



Deel 1:

1. Speel één keer over één snaar van de gitaar
2. Tokkel nu één voor één over alle snaren.

Deel 2:

1. Blaas de ballon op.
2. Eén leerling praat tegen de ballon aan.
3. Een andere leerling houdt zijn hand aan de andere kant van de ballon.

Waarnemingen:

Wat gebeurde er bij de gitaar?

.....

Wat merkte je bij de verschillende snaren?

.....

Hoe komt dit, denk je?

.....

Wat voelde bij de ballon als iemand erin praatte?

.....

Besluit:

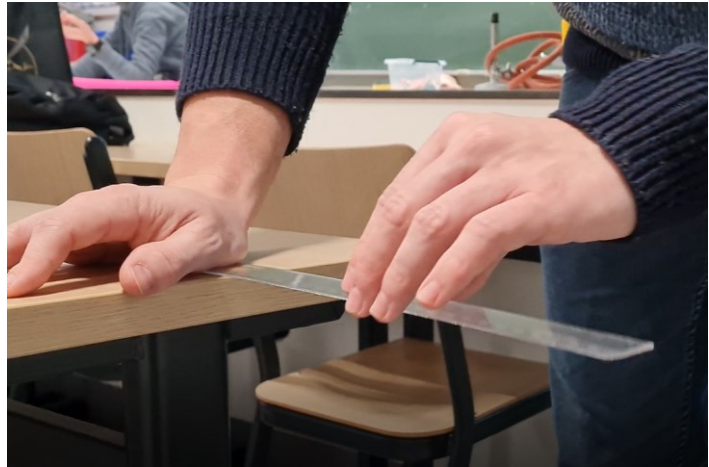
De snaren trillen. Bij de ballon voel je ook een trilling. Geluid is een trilling.

Hoek 3: Proefje met suiker en geluid en proefje met liniaal

Benodigdheden:

- Suiker/rijst
- Kom
- Plasticfolie
- Elastiek
- Houten lepel
- IJzeren pan
- Plastic Liniaal

Proefopstelling:



Deel 1:

1. Doe de plastic folie strak rond de kom en span het aan met een elastiek zoals hierboven.
2. Doe een handvol suiker op de folie.
3. Sla nu boven de kom met de houten lepel tegen de pan.

Deel 2:

1. Pak de liniaal en leg het op de kant van de bank.
2. Houd het deel op de bank goed vast.
3. Duw het deel dat zweeft een beetje naar beneden en laat los.
4. Probeer nu eens nadat je de hoeveelheid dat zweeft groter of kleiner maakte

Waarnemingen:

Wat zag je gebeuren met de suiker?

.....

Hoe komt dit, denk je?

.....

Wat zag je gebeuren met de liniaal?

.....

Hoe komt dit, denk je?

.....

Wat gebeurde er nadat je de positie t.o.v. de bank aanpaste?

.....

Hoe kan dit, denk je?

.....

Besluit:

De zuiker begint te **trillen**. Het uiteinde van de liniaal **komt steeds terug** naar een evenwichtspositie. Hoe komt het dat de uitwijking steeds terugkomt naar die evenwichtspositie? Moet jij daarop duwen? *Ja/Neen*

Er is dus een terugroepende kracht in de liniaal zelf, want die is elastisch.

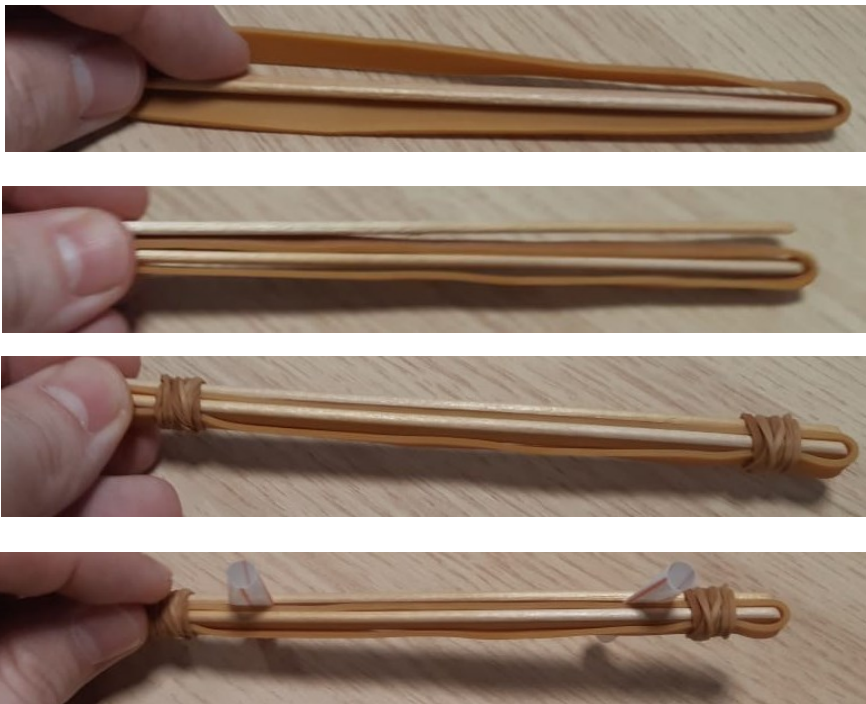
Hoek 4: filmpje + proefje: stembanden

Bekijk eerst dit filmpje: https://www.youtube.com/watch?v=IPi5DWSS_M

Benodigheden:

- 2 brede ijsstokjes
- Brede elastiek
- Rietje
- 2 kleine elastiekjes

Proefopstelling:



Werkwijze:

1. Maak eerst de mondharmonica zoals volgt:
 1. Span een dik elastiek over de lengte van het stokje.
 2. Leg de ijsstokjes nu op elkaar.
 3. Wikkel om beide uiteindes een dun elastiekje.
 4. Knip 2 rietjes en plaats deze aan beide uiteinden van het houtje (ongeveer 1cm van het uiteinde) onder het elastiek.
2. Pak de mondharmonica vast zoals op de foto.
3. Blaas nu tussen de ijsstokjes

Waarnemingen:

Wat zag je gebeuren met het elastiek?

Wat was de vergelijking met de stembanden

Besluit:

Geluid ontstaat door een *trilling* in een medium zoals de snaren van een gitaar, de stembanden, een elastiek....

Reflectiemoment

Wat kunnen we nu antwoorden op de vraag: **Wat is geluid?**

Geluiden zijn **trillingen** die worden voortgebracht door een **trillend voorwerp**. Het trillend voorwerp noemen we de **geluidsbron**.

Was je hypothese in de buurt? Ja/nee

Maar hoe komt het dat deze trillingen naar ons oor toe komen?

Bekijk volgende animatie <https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/waves/wavemotion.html>. Dit is een drukgolf in de lucht. Hou een deeltje in het oog.

Is er een netto verplaatsing van de deeltjes doorheen de lucht? Ja /Nee



Neem een slinky zoals in bovenstaande foto, leg die horizontaal, rek die uit aan een uiteinde en geef een puls. Wat gebeurt er?

- Je ziet duidelijk enkele ringen van de veer zich over de volledige lengte verplaatsen.
- Enkel de verdichting en verdunning van de ringen verplaatsen zich. De ringen keren terug naar hun begintoestand.**

Geluid gedraagt zich zoals een golf in de slinky: bij een geluidsgolf in de lucht zijn het de luchtdeeltjes die heen en weer bewegen en veroorzaken een verdunning en verdikking die zich verplaatst doorheen de lucht. **Geluid is dus een drukgolf in de lucht.**

Vergelijking met sterren:

In de inleiding hebben we gezien dat ook sommige sterren trillen: ze krimpen in en zetten uit. Kunnen sterren dan een bron van geluid zijn? Ja/nee

Leg uit:

.....
.....
.....
.....

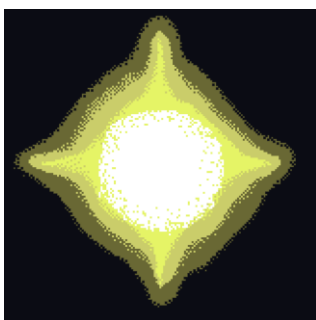
Een voorwerp dat trilt is een bron van geluid. Een ster die trilt zal dus ook een bron van geluid zijn.



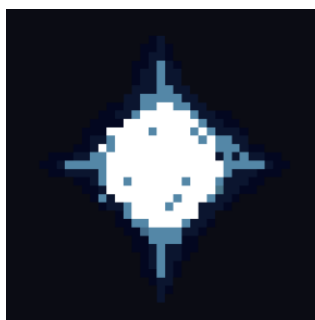
Trillende sterren

Als een ster samentrekt, wordt ze wat heter en zendt ze sterker licht uit. Zet de ster uit, dan wordt ze koeler en geeft ze minder licht af. Sommige sterren trillen heel traag en produceren diepe geluiden (zoiets als de tuba van de sterrenwereld). Andere trillen veel sneller en produceren hogere tonen (zoals een piccolo of kleine fluit van het sterrenorkest). En elk van die geluiden heeft een eigen klankkleur, net zoals de instrumenten in een orkest. Precies zoals in de eerste oefening van het herkennen van stemmen, instrumenten en geluiden, is het ook mogelijk om sterren te herkennen aan hun geluid!

Luister nu naar volgende trillende sterren:



[Cepheïde ster Polaris](#)
(De Poolster)



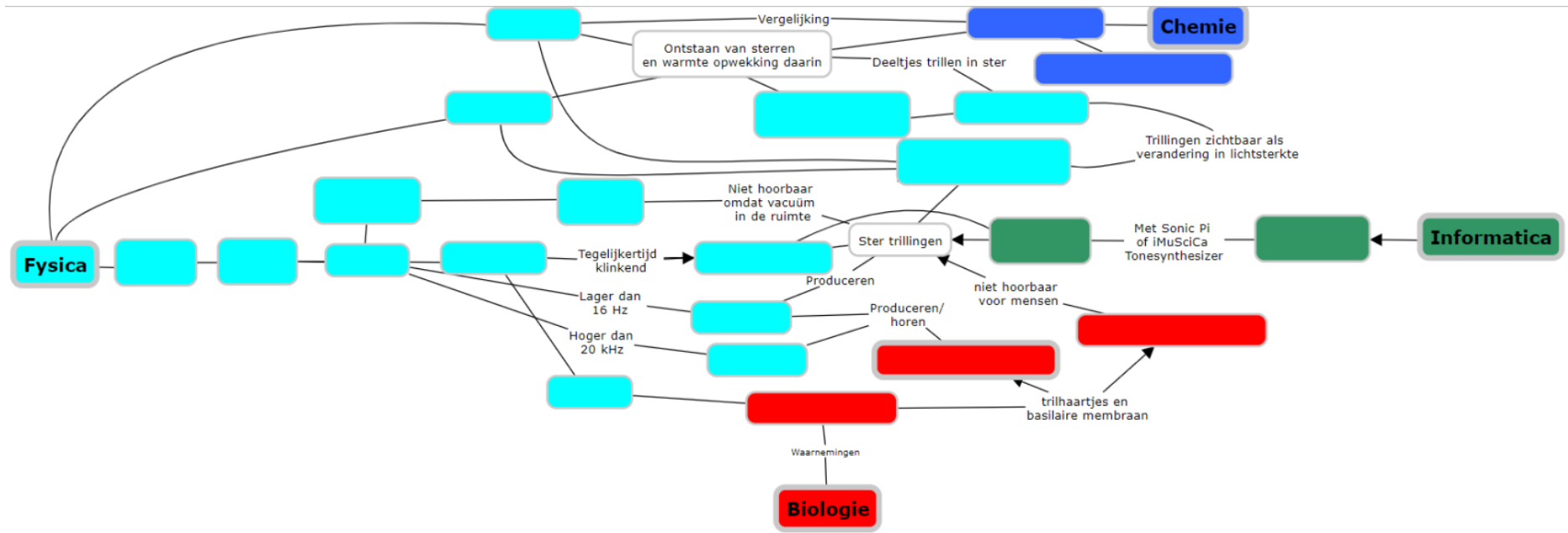
[RR Lyrae \(prototype van RR Lyrae sterren\)](#)



[Zonachtig-trillende ster](#)
Ster code: Kplr2018392



Conceptenmap leerstation 1



Leerstation 2: Hebben geluidsgolven een middenstof nodig om zich voort te planten?

Hoe komt het dat we het geluid van de sterren dan niet kunnen horen op aarde? Dit kan je ontdekken in dit leerstation.

Wat kennen we nog?

Hoe heet het voorwerp dat een geluid produceert?

Geluidsbron

In welke vorm plant geluid zich voort?

Druk golf

Inleiding:

We weten dat geluid zich voortplant in de vorm van golven. Deze geluidsgolven worden geproduceerd door een geluidsbron. Vandaag gaan we eens kijken waardoor geluidsgolven zich kunnen voortplanten. De stof waardoor geluidsgolven zich voortplanten noemen we een **middenstof**.

Hoekenwerk:

We delen de klas in 4 groepen op.

Onderzoeksvraag:

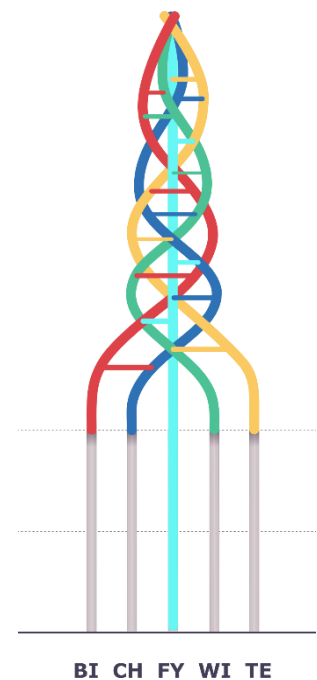
Door wat denk je dat geluidsgolven zich voortplanten?

Hypothese: Markeer.

- Vast
- Vloeistof
- Gas
- Vacuüm

We gaan het volgende onderzoeken:

- Planten geluidsgolven zich voort in vacuüm?
- Planten geluidsgolven zich voort in een vaste middenstof?
- Planten geluidsgolven zich voort in een gasvormige middenstof?
- Planten geluidsgolven zich voort in een vloeibare middenstof?
- Door welke middenstof planten geluidsgolven zich het snelst?
- Welke eigenschappen heeft een geluidsgolf?



Hoek 1: Vacuüm

Onderzoeksvraag:

Planten geluidsgolven zich voort door vacuüm?

Hypothese:

.....

Werkwijze:

- Bekijk de video op de laptop
(<https://schooltv.nl/video/geluidstrillingen-geluid-plant-zich-door-de-lucht-voort-maar-als-er-geen-lucht-is/>)

Waarneming:

Situatie 1: Voordat de koepel erop staat.

Horen we de bel op het begin van de video?

Situatie 2: Nadat er vacuümgetrokken wordt.

Horen we de bel?

Zien we de bel nog altijd rinkelen?

Situatie 3: Nadat er terug lucht in de koepel zit

Horen we de bel?

Besluit:

Wanneer er geluidsgolven ontstaan in vacuüm, kunnen zij zich *wel/ niet* voortplanten.

Zoek op: Welke middenstof bevindt er zich in de ruimte? **In de ruimte is er geen middenstof, maar vacuüm.**

Kunnen we dan de **trillingen van de sterren** waarnemen in de vorm van **geluid**? **Neen**

Waarom wel / niet? **De trillingen kunnen zich niet voortplanten door het vacuüm.**



Middenstof gas

Het is vanzelfsprekend dat in gasvormige middenstof, geluidsgolven zich voortplanten. De mens gebruikt dit medium continu om te praten met elkaar. Je hebt dit ook kunnen waarnemen in de proef bij hoek 3 met de kom, suiker en pan (zie foto). Wij gaan nu wetenschappelijker kijken hoe zo een geluidsgolf zich voortplant.

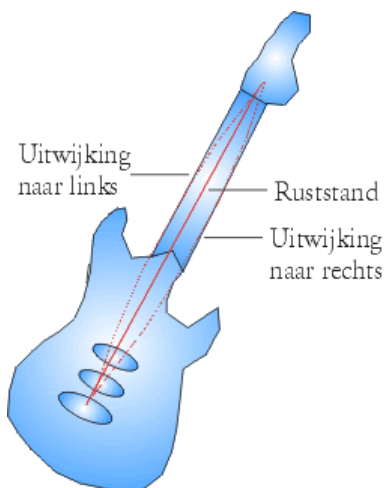


Bekijk opnieuw deze animatie

<https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/waves/wavemotion.html>

van een drukgolf in de lucht. *Kijk eens goed naar 1 gasdeeltje, wat zie je? Verplaatst dat zich netto?* Beschrijf in eigen woorden:

.....
.....

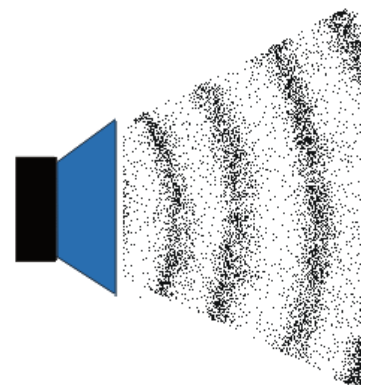


Wanneer een voorwerp geluid produceert worden de luchtdeeltjes in de omgeving samengeperst, waardoor de luchtdruk ter plaatse toeneemt. *Wat gebeurt er dan met de luchtdeeltjes?*

De samengeperste luchtdeeltjes botsen met omliggende deeltjes in de lucht en geven hun energie zo door. Wanneer bijvoorbeeld een gitaarsnaar in beweging wordt gebracht zorgt de trilling van de snaar ervoor dat de omliggende lucht in trilling wordt gebracht. Wanneer we naar de lucht rechts van de gitaar kijken, veroorzaakt de heen en weer trillende snaar bij het naar rechts gaan voor verdichtingen en bij het naar links gaan voor verdunningen in de lucht.

Dit doet zich ook voor wanneer een speaker in trilling gebracht wordt. De donkere gedeeltes zijn de luchtdelen met een hoge geluidsdruk en de lichte gedeeltes met een lagere geluidsdruk.

De golfbeweging die zo ontstaat noemen we een longitudinale golf, omdat de kracht die de verdichtingen en verdunningen oplevert in dezelfde richting gaat als de voortplantingsrichting van de golf. De cirkels om de geluidsbron heen zullen steeds groter worden. Steeds meer luchtdeeltjes (moleculen) moeten de energie van de voorgaande cirkel delen. Daarom klinkt een geluid ook steeds zachter naarmate we verder af van de bron (zoals een luidspreker, spreker of instrument) gaan staan. De animatie hieronder maakt dit duidelijk.



Bekijk deze animatie:

https://www.youtube.com/watch?v=HGAIPXnBKJE&feature=emb_title

Hoek 2: Middenstof vloeibaar

Onderzoeksvraag:

Planten geluidsgolven zich voort door een vloeibare middenstof?

Hypothese:

.....

Benodigheden:

- Een gesplitste bak gevuld met water
- Handdoek
- 2 metalen

Proefopstelling:



Werkwijze:

- Leerling 1 tikt de 2 metalen tegen elkaar onder water in een bekende melodie.
- Leerling 2 gaat aan de andere kant met zijn oor aan het wateroppervlak.

Waarneming:

Heeft leerling 2 een geluid gehoord?

Welke woorden heeft leerling 2 verstaan?

Besluit:

De geluidsgolven planten zich *wel/ niet* voort in een vloeibaar medium. De leerling kon de melodie *goed/ niet goed/ niet herkennen*.

Middenstof vast

Onderzoeksvraag:

Planten geluidsgolven zich voort door vaste stof?

Hypothese:

.....

Benodigheden:

- Een muur
- Een stok

Proefopstelling:

Werkwijze:

- Leerling 1 en leerling 2 gaan 5 meter uit elkaar staan tegen een muur.
- Leerling 1 gaat met het oor tegen de muur staan en kijkt weg van leerling 2
- Leerling 2 tikt onregelmatig 5x met een stokje tegen de muur

Waarneming:

Hoeveel keer heeft leerling 1 de tik gehoord?

Probeer eens wat verder te gaan staan. Lukt dit nog?

Besluit:

De geluidsgolven planten zich *wel/ niet* voort in een vast medium. Leerling 1 heeft tikjes tegen de muur gehoord.



Hoek 3: Snelheid van geluid in middenstoffen

Onderzoeksvraag:

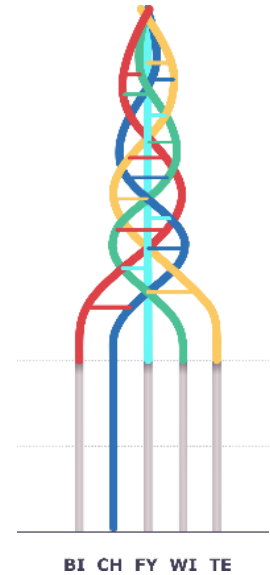
Door welke middenstof planten geluidsgolven zich het snelst voort?

Hypothese:

.....

Werkwijze:

- Bekijk de video op de laptop vanaf minuut 1:45 tot 4:11 (<https://www.youtube.com/watch?v=q9ezMbDpIHl>)
- 1 persoon gaat naar de explosie kijken
- 1 persoon gaat luisteren naar de explosie
- 1 persoon gaat de grondtrilling van de explosie waarnemen



Waarneming:

Rangschik de volgorde van de waarneming (kijken, luisteren, waarnemen van grondtrillingen) van eerst naar laatst.

..... → →

Door welke middenstof gaan geluidstrillingen het snelste?

Door welke middenstof gaan geluidstrillingen het traagst?

Besluit:

Rangschik de middenstoffen van snel naar traag:

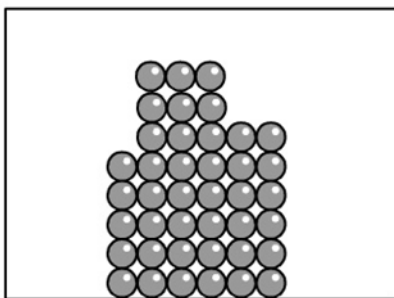
..... → →

Vast →

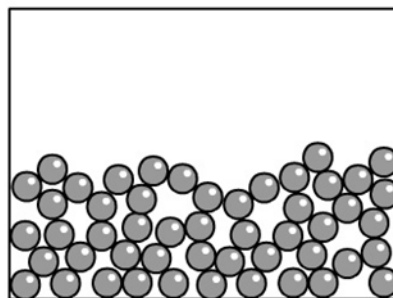
vloeibaar →

gas

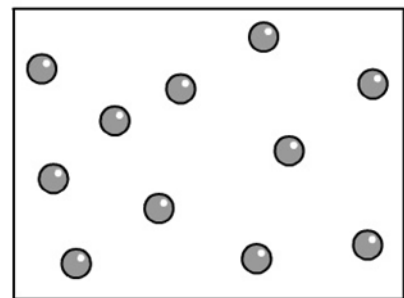
* Verklaar aan de hand van het deeltjesmodel



Vast



Vloeibaar



Gas

Deeltjes bij een vaste stof zijn *verder van/ dichter bij* elkaar gelegen. Hierdoor kunnen de deeltjes *sneller/ trager* de trillingsenergie doorgeven aan elkaar.

De deeltjes van een vloeibare stof liggen *verder van/ dichter bij* elkaar dan bij een gasvormige stof. Hierdoor planten geluidsgolven zich *trager/ sneller* voort in een vloeistof dan in een gasvormige stof.

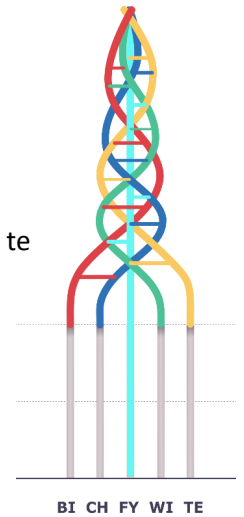
Let op: dit is een algemene regel. De snelheid van geluid in een middenstof is afhankelijk van de dichtheid van de middenstof en varieert ook lichtjes met de temperatuur.

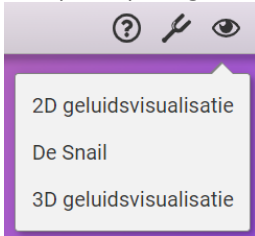
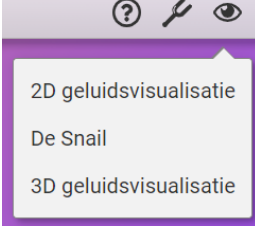

Hoek 4: Geluidsgolf

Onderzoeksvraag: Wat is toon?

Produceer verschillende geluiden en meet de **golfvorm** met de 2D visualisatie op de iMuSciCA workbench. Gebruik onderstaande stappenplan om de verschillende geluiden te visualiseren:

- Vaste toon op fluit
- Handen klappen
- Snaar van een gitaar of ander snaarinstrument



Stappenplan: iMuSciCA workbench	
Stap 1	Surf naar https://workbench.imuscica.eu/
Stap 2	Klik rechtsboven op het pictogram van het oogje. 
Stap 3	Klik op '2D geluidsvisualisatie'. 
Stap 4	Selecteer het doorstreepte oog. 

In welke gevallen zie je een patroon die zich herhaalt in de tijd?

snaar en fluit

Als de gemeten **golfvorm** van een klank een duidelijk patroon vertoont die zich herhaalt in de tijd, spreken we van **toon**.

Amplitude

Onderzoeksvraag:

Wat is de amplitude van een geluidsgolf?

Hypothese:

.....

Benodigheden:

- PC met microfoonfunctie
- Xylofoon

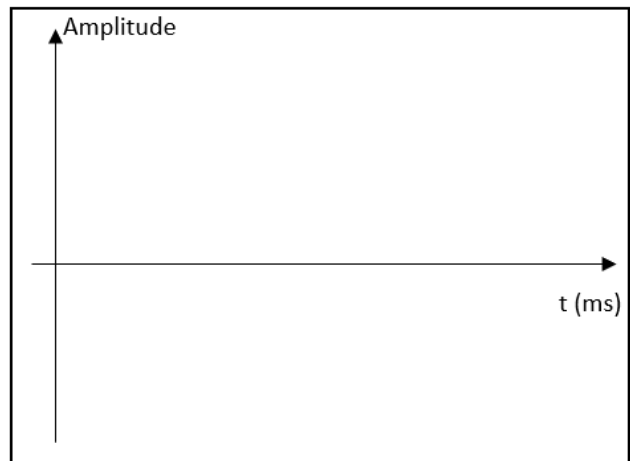
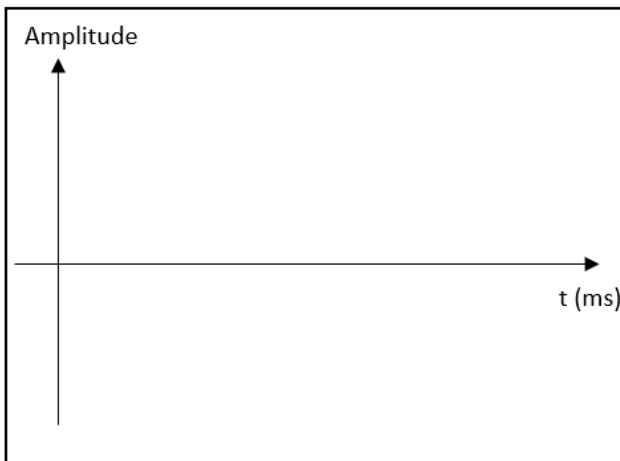
Werkwijze:

- Surf naar: <https://workbench.imuscica.eu/>
- Zie voorgaande stappenplan: iMuSciCA
- Sla **stilletjes** op de het **kleinste plaatje**. De andere klikt op het pauzeteken van de 2D visualisatie tool.
- Schets een gedeelte van de geluidsgolf in het vak: 'stille toon'. Gebruik een **POTLOOD**.
- Sla **harder** op de het **kleinste plaatje**. De andere klikt op het pauzeteken.
- Schets een gedeelte van de geluidsgolf in het vak 'luide toon'.
- Zorg ervoor dat het verschil goed duidelijk is op de schets.

Waarneming:

Stille toon

Luide toon



Interpretatie:

Wat is het grote verschil tussen beide geluidsgolven?

In welke eenheid worden stille en luide tonen uitgedrukt?

Besluit:

De uitwijking van een golf wordt ook wel de **amplitude** genoemd. De amplitude komt overeen met de toonhoogte/ de geluidssterke van een geluidsgolf.

Doorstreep het foutieve: Hoe hoger de amplitude, hoe *zachter/luider* het geluid.

Frequentie en golflengte

Onderzoeksvraag:

Wat is de frequentie van een geluidsgolf?

Hypothese:

.....

Benodigheden:

- PC met microfoonfunctie
- Fluit

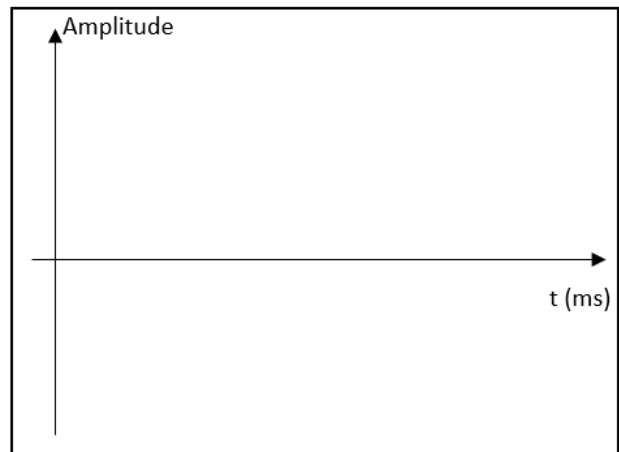
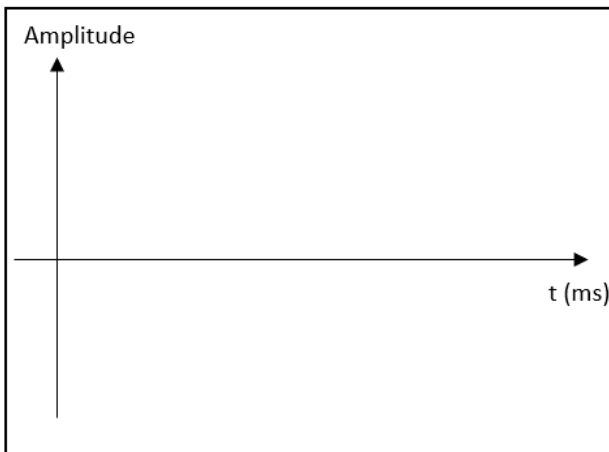
Werkwijze:

- Surf naar: <https://workbench.imuscica.eu/>
- Klik rechtsboven op het oogje en daarna 2D Visualisatie en vervolgens op het oogje met de streep door.
- Speel een hoge toon b.v. een A (of La) op de fluit. De andere klikt op het pauzeteken.
- Schets een gedeelte van de geluidsgolf van de hoge toon over in het vak 'Hoge toon' in **POTLOOD**.
- Speel nu een lage toon b.v. een lage C (of Do). De andere klikt op het pauzeteken.
- Schets een gedeelte van de geluidsgolf in het vak 'Lage toon'.
- Zorg ervoor dat het verschil goed duidelijk is op de schets.
- Als je geen fluit kan spelen, is er misschien iemand in de klas die dit wel kan. Anders vraag je hulp aan je leerkracht.

Waarneming:

Hoge toon

Lage toon



Interpretatie:

Zie je een duidelijk **patroon** die zich herhaalt?

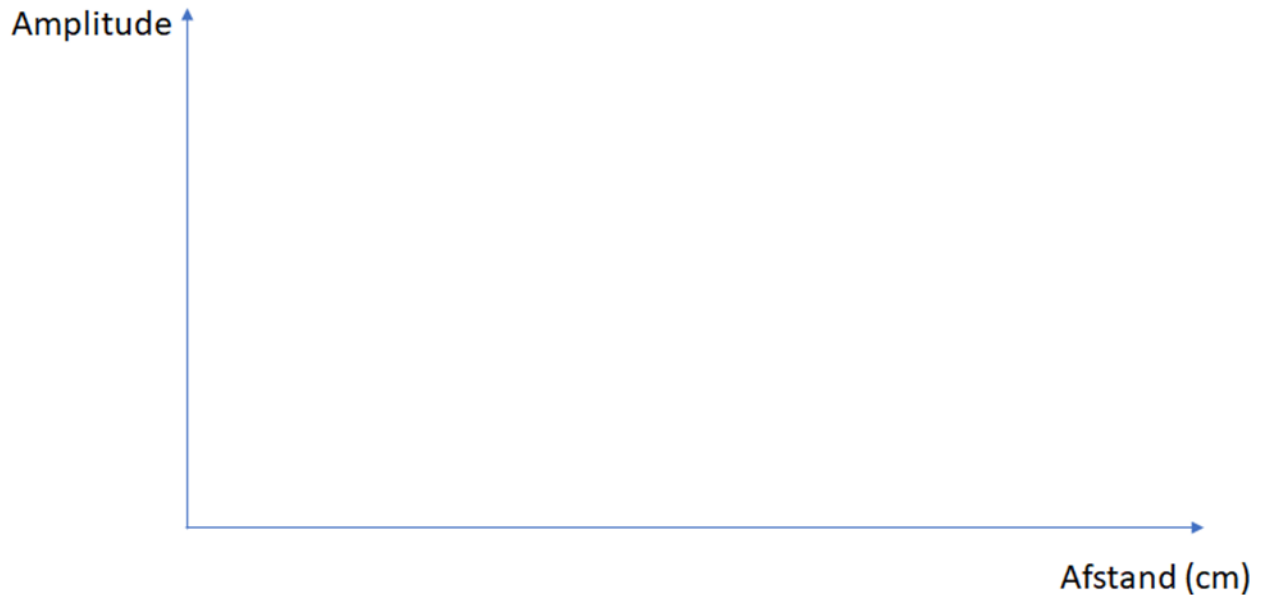
In **welk geval** komen de golftoppen sneller achter elkaar? Tel het aantal keren dat het patroon terugkomt, bijvoorbeeld in een tijdspanne van 10 ms.

Het patroon komt **meer** keren terug bij de *hogere /lagere* toon. Dit komt overeen met een
hogere frequentie.

Tot zover hebben we gekeken naar een **trilling die zich herhaalt in de tijd**. Maar is er ook **een patroon in de ruimte**?

Neem een stift en een blad papier: een leerling trekt het blad papier vooruit met constante snelheid, de andere gaat met constant tempo op en neer met de stift en blijft ter plaatse. Plak dan het resultaat op de witte ruimte in de grafiek hieronder. Heb je een regelmatig patroon in de ruimte?

Waarneming:



*Is er een kortste afstand waarover het patroon zich herhaalt? **Ja**/neen.*

Deze kleinste afstand noemen we de **golflengte**.

Besluit:

De **frequentie** geeft aan hoeveeltrillingen er zijn binnen een bepaalde **tijdseenheid**. De frequentie wordt ook wel de toonhoogte genoemd en uitgedrukt in Hertz (Hz). Eén Hertz komt overeen met 1 trilling per seconde: $1\text{Hz} = 1/\text{s}$.

De **golflengte** is de **kortste afstand** waarover het patroon zich herhaalt. Deze wordt uitgedrukt in meter (m).

Hoe kleiner de frequentie, hoe groter de golflengte en vice versa.

Verdieping:

De relatie tussen snelheid van het geluid, frequentie en golflengte is:

$$v = f \cdot \lambda$$

De **frequentie** van het geluid blijft **constant** als die **van een middenstof naar een andere** gaat: de frequentie wordt door de bron van de trilling bepaald.

Wat gebeurt er met de snelheid van het geluid als deze van een middenstof naar een andere gaat?

..... *de snelheid verandert*

Wat gebeurt er dan met de golflengte? Duid aan wat past:

Als de snelheid groter wordt, wordt de golflengte *groter/kleiner*.

Zoek op de snelheid van het geluid in de lucht op kamertemperatuur (ong. 20°C): **343** m/s.

Reflectiemoment

De trillingen van een geluidsbron veroorzaken kleine schommelingen in de luchtdruk; die drukschommelingen planten zich voort in de vorm van **golven**.

Geluidsgolven planten zich voort in **een middenstof**:

Gasvormig (bv: lucht)

Vloeibaar (bv: water)

Vast (bv: een muur)

Geluidsgolven planten zich het snelst voor in **vaste** stoffen, iets trager in **vloeibare** stoffen en nog trager in **gasvormige** stoffen.

De toonhoogte wordt bepaald door de **frequentie**. **Frequentie** is het aantal trillingen per seconde en wordt uitgedrukt in Hertz (Hz).

Geluidsterkte of volume is de amplitude van een trilling en wordt uitgedrukt in decibel. (Db)

Vergelijking met sterren:

Nu hebben jullie geleerd hoe geluid zich voortplant door een middenstof en hebben jullie de eigenschappen van een geluidsgolf, namelijk frequentie en amplitude bestudeerd. We gaan dit nu toepassen aan het geval van de trillende sterren.

Sommige sterren trillen een beetje zoals een snaar van een gitaar of viool. Zo'n snaar kunnen we zien en ook horen trillen, maar sterren kunnen we niet horen. Maar waarom niet?

Denk aan de ruimte: is er daar een middenstof? Leg uit waarom we het geluid van de sterren niet kunnen horen:

.....

Vacuüm in de ruimte

Wat zou het nodig zijn om de geluiden van de sterren wel te kunnen horen?

.....

Een middenstof

Stel dat je op de ster kan gaan staan, kan je dan het geluid van de ster horen? Waarom?

.....

Ja, het geluid wordt daar doorgegeven door de ster zelf: de gassen waarvan ze gemaakt is, zijn de middenstof.

Maar er is ook nog een tweede reden waardoor we de sterren niet zouden kunnen horen, ook al was er wel een middenstof in de ruimte. Sterren trillen immers met heel lage frequenties, soms van 1 trilling per dag of zelfs 1 trilling per jaar! Denk jij dat we zo een lage frequentie met ons oor kunnen horen?

.....

Dit gaan we verder bekijken in leerstation 4.

Verdiepingsoefening:

Stel dat er in de ruimte lucht zou zijn. Bereken de golflengte van een ster trilling met frequentie $f = 1$ trilling per dag.

Wat heb je nodig?

Snelheid van het geluid in de lucht = $v =$ **343 m/s**

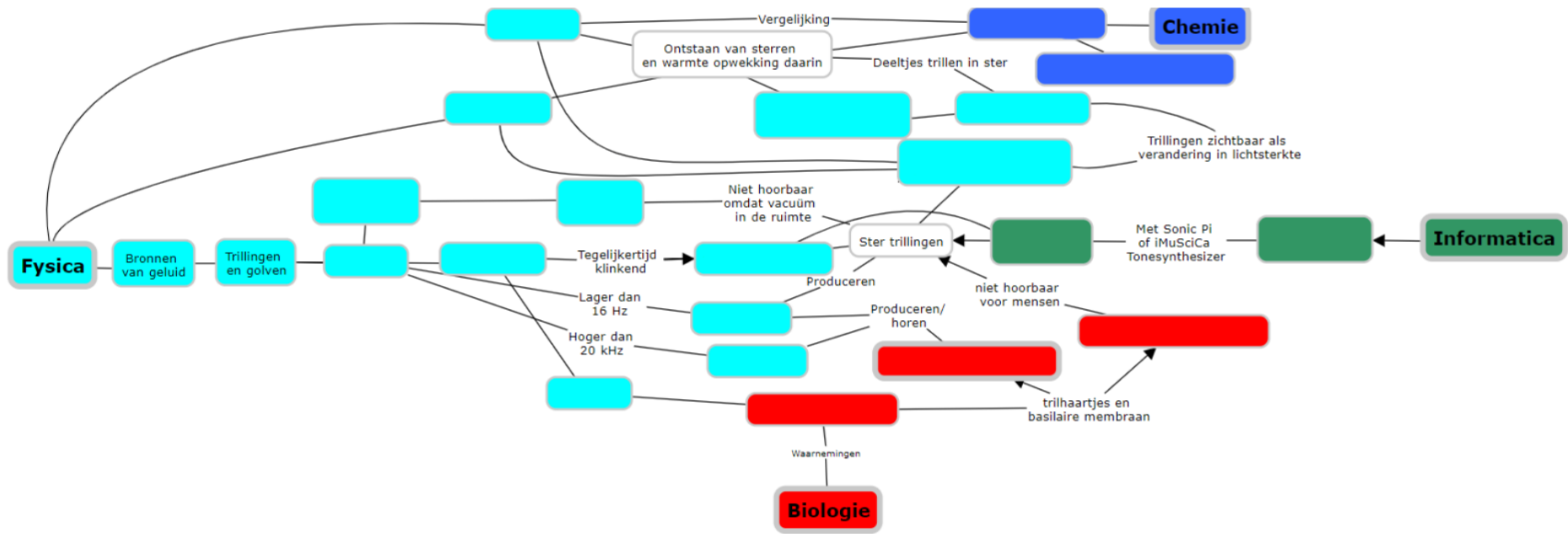
Frequentie van de stertrilling in Hz (hoeveel seconden zijn er in een dag?) = **$1 / (86400 \text{ s})$**

Bereken nu de golflengte:

Lambda $\lambda =$ **$v/f =$ $\sim 296 \cdot 10^5 \text{ m}$**

Deze golflengte is gewoon **veel te groot** in vergelijking met de afmetingen van ons oor. Het is daarom dat wij dit niet kunnen horen. In vergelijking met de mens kan een olifant bijvoorbeeld wel geluiden opvangen met een grotere golflengte en dus kleinere frequentie dan wat wij kunnen omdat dit dier ook groter is en grotere oren heeft.

Conceptenmap leerstation 2



Leerstation 3: Wat zijn eigentrillingen?

Hoe kunnen we waarnemen dat sterren trillen?

Wat hebben we al geleerd?

Kunnen we het echte geluid van een ster horen? En waarom wel/ niet?

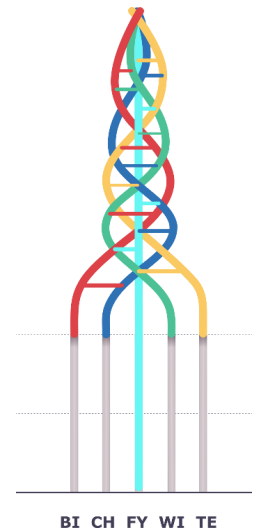
.....

Op welke manier denk je dat we wel kunnen waarnemen dat een ster trilt?

.....

Bekijk de volgende video van een DELTA SCUTI ster:

https://www.youtube.com/watch?v=tVOiuwuvEBU&feature=emb_title&ab_channel=NASAVideo

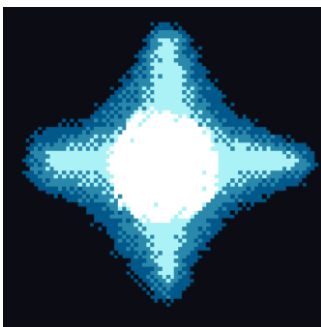


Wat valt je op, zie je de ster trillen? Hoe kan je dit juist waarnemen?

.....

Door de verandering in lichtsterkte

Luister nu naar volgende ster: een andere ster van dezelfde soort (Delta Scuti kplr 011021188):



Je hebt al gezien dat geluid ontstaat door een trillend voorwerp, in dit geval de ster. Maar er is een vacuüm in de ruimte waardoor het geluid niet naar ons kan toekomen. Bovendien hebben we al gezien dat sterren te traag trillen om ze te kunnen horen. Hoe komt het dan dat je juist naar een ster hebt geluisterd?

We gaan nu nog bekijken hoe sommige sterren juist trillen en hoe we dit kunnen waarnemen en naar hoorbaar geluid omzetten.

Bekijk de volgende video:

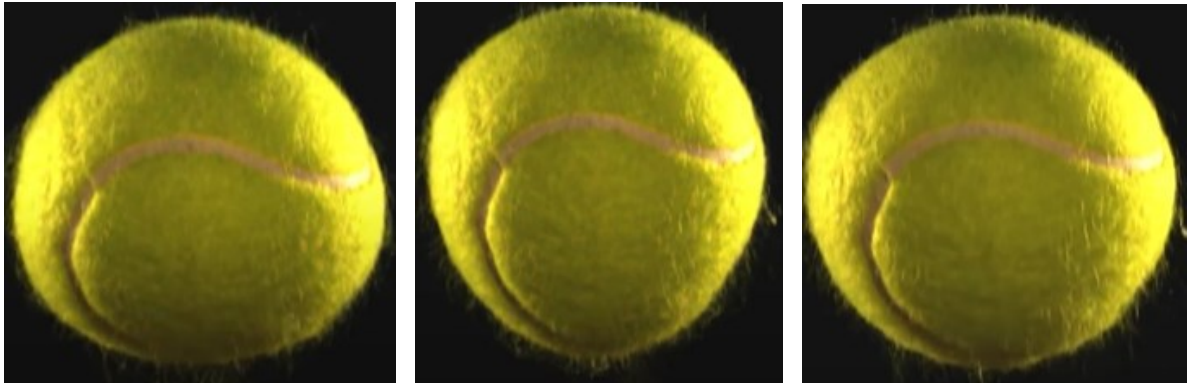
https://www.youtube.com/watch?v=1yT0hxplVBg&ab_channel=ScienceLuxembourg

Wat heb je gemerkt? Wat gebeurt er met de tennisbal nadat die de grond heeft geraakt?

.....

Die trilt

De trilling verplaatst zich van de ene kant naar de andere van de bal. In een ster gebeurt er iets gelijkaardigs, maar de trillingen worden veroorzaakt door interne omstandigheden binnen in de ster. Waarom precies sommige sterren trillen zie je in een volgend leerstation.



Er zijn sterren die trillen of vibreren. Zo een ster krimpt in en daarna zet ze weer uit. Als een ster krimpt wordt ze warmer en dan zal deze meer licht uitzenden, als de ster uitzet dan wordt ze weer koeler en zendt ze minder licht uit. Door de variatie in de lichtsterkte te meten, kan je achterhalen hoe snel een ster trilt, de frequentie van de trilling dus.

Hoe kunnen we het verschil in lichtsterkte meten?

Als je 's nachts naar de hemel kijkt, dan zie je niet dat sterren trillen. Het lijkt alsof ze altijd even hard schijnen en ze een constante hoeveelheid licht uitzenden dus. Je ziet ze misschien een beetje fonkelen, maar dit is gewoon doordat het licht door de aardse atmosfeer naar onze ogen toe komt en de veranderingen in dichtheid van de lucht hebben een invloed op de 'baan' van het licht. Daarom is het beter om de sterren waar te nemen vanuit de ruimte.

Ga nu naar <https://stellarium-web.org/>

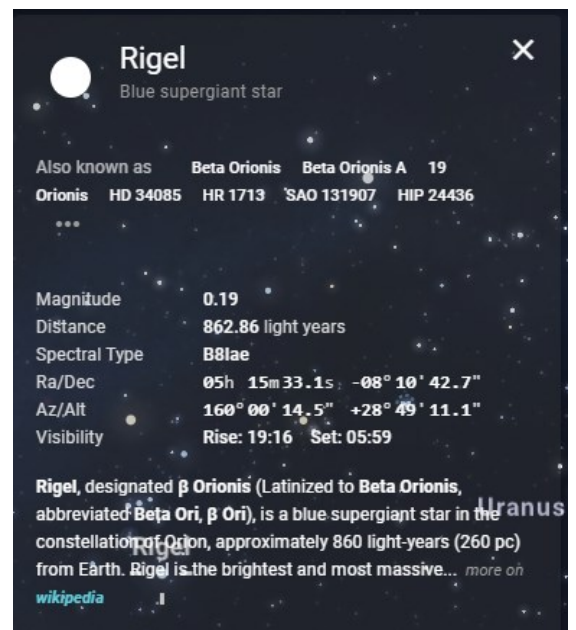
Op stellarium kan je alle sterren zien die aan de hemel staan. Je kan handige gegevens van elke ster vinden. We nemen het voorbeeld van de ster RIGEL in het sterrenbeeld Orion. Zoek ze op stellarium en noteer de gegevens.

- Naam van de ster: _____
- Sterrenbeeld: _____
- Soort ster (deze info vind je onder de naam van de ster):

- Lichtsterkte = magnitude (**MERK OP: hoe lager de magnitude, hoe beter zichtbaar de ster is**): _____
- Massa: (zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonnemassa)

- Straal: (zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonneradius)

- *Is de ster zichtbaar deze nacht vanuit België en om hoe laat?* _____

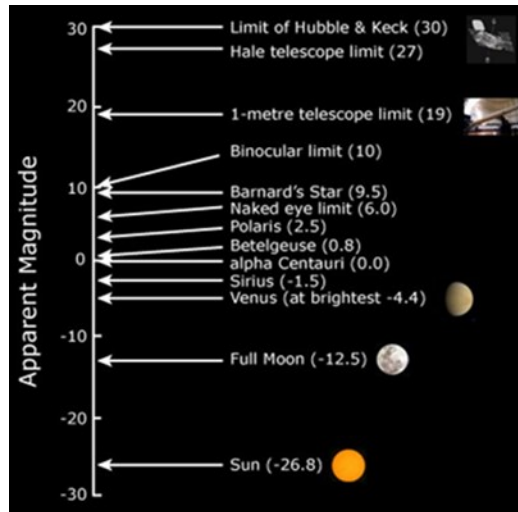


'De schijnbare lichtsterkte of magnitude van een ster hangt af van het soort ster en de afstand van de ster tot de aarde. Een ver afstaande ster die dezelfde absolute lichtsterkte heeft als een tweede dicht bijstaande ster, zal er minder helder uitzien.

De trillingen van een ster nemen we waar door de variatie in lichtsterkte. Sterren die trillen noemen we 'variabele sterren'.

Extra achtergrondinformatie

In onderstaande afbeelding zie je enkele hemellichamen en hun schijnbare magnitude:



Opdracht Stellarium

Ga nu op stellarium op zoek naar enkele variabele sterren, ontdekt door de Kepler-space telescoop.

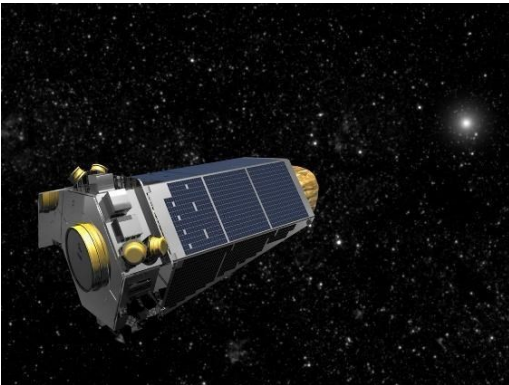
Naam van de ster: RR Lyrae (typ in RR Lyr)

- Sterrenbeeld:
- Soort ster:
- Lichtsterkte = magnitude (MERK OP: hoe lager de magnitude, hoe beter zichtbaar de ster is):
- Massa: (zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonnemassa)
- Straal: (zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonnestraal)
- Is de ster zichtbaar deze nacht vanuit België en om hoe laat?

Naam van de ster: Delta Scuti (*Let op: om deze ster te vinden, moet je eerst op zoek gaan naar het sterrenbeeld en dan de ster zoeken*)

- Sterrenbeeld: Schild (Scutum in het Engels)
- Soort ster:
- Lichtsterkte = magnitude (MERK OP: hoe lager de magnitude, hoe beter zichtbaar de ster is):
- Massa: (zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonnemassa)
- Straal: zelf opzoeken b.v. op Wikipedia, meestal aangegeven als x maal één zonnestraal)
- Is de ster zichtbaar deze nacht vanuit België en om hoe laat?

Kijk naar het type ster: zie je dat deze twee sterren tot twee verschillende types variabele sterren behoren? We zullen later leren dat elk type variabele ster herkenbaar is aan de trillingen en dus aan het geluid.



Om een ster te zien trillen heb je heel goede meetapparatuur nodig. Deze meetapparatuur kan men best in de ruimte plaatsen. Hier is er geen invloed van het licht van de aarde.

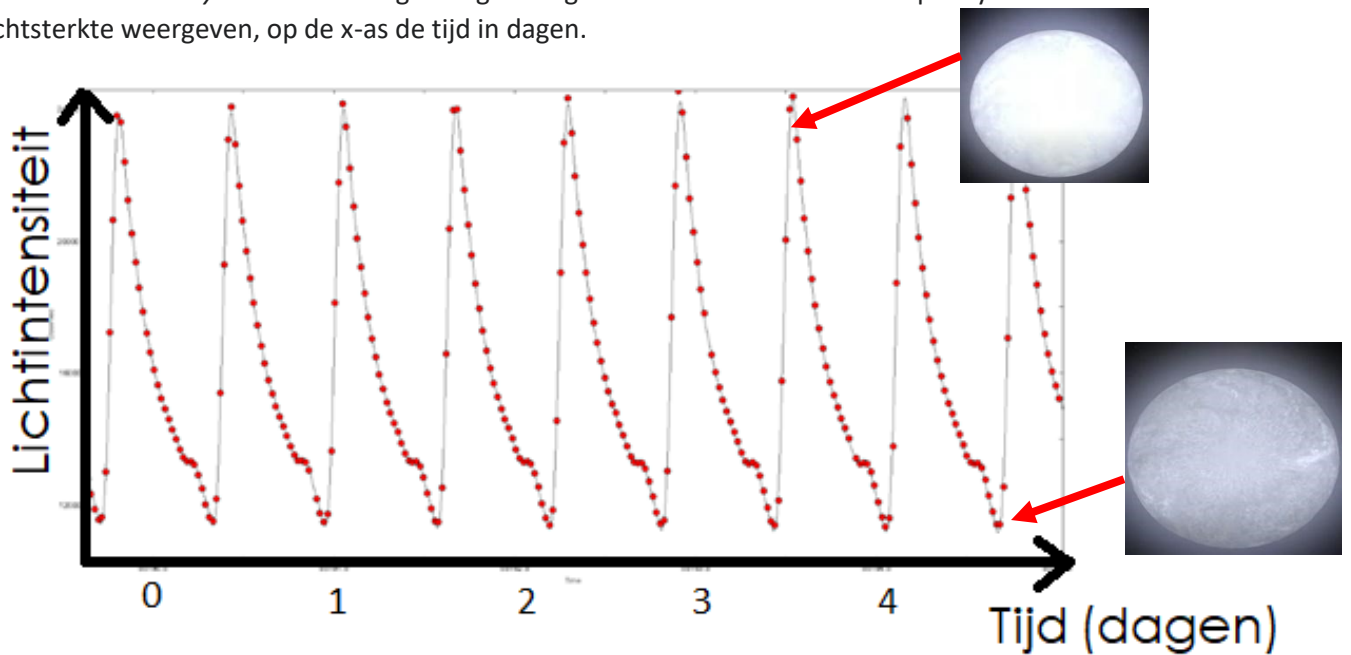
Een voorbeeld hiervan is de **KEPLER-space telescoop**.

De Kepler Space Observatory is een satelliet of een ruimtetelescoop die ontwikkeld is door NASA om planeten bij andere sterren op te sporen (exoplaneten), die eventueel als de Aarde bewoonbaar kunnen zijn. Het onbemande ruimtevaartuig is vernoemd naar de

astronoom Johannes Kepler. De telescoop werd gelanceerd in 2009 en het heeft tot 2018 data verzameld.

De Kepler telescoop is heel gevoelig voor licht. Door een ster te observeren kan hij elk verschil in lichtsterkte opmerken. Ideaal dus om ook trillende of variabele sterren op te sporen.

Fysici hebben de Kepler telescoop een tijdlang op verschillende variabele sterren gericht, waartussen onderstaande *RR Lyrae* ster. De volgende grafiek geeft de meetwaarden aan: op de y-as wordt de lichtsterkte weergegeven, op de x-as de tijd in dagen.



Varieert de lichtsterkte in de tijd of is die stabiel?

.....

De lichtsterkte varieert

In het vorige leerstation heb je geleerd over geluidsgolven en golfvorm: wat heeft deze grafiek gemeenschappelijk met een geluidsgolf?

.....

Een (regelmatige) variatie van de amplitude in de tijd

Waarom kunnen we uit deze grafiek besluiten dat deze ster trilt?

.....

De lichtsterkte varieert in de tijd, dit komt omdat de ster inkrimpt en weer uitzet (trilt dus)

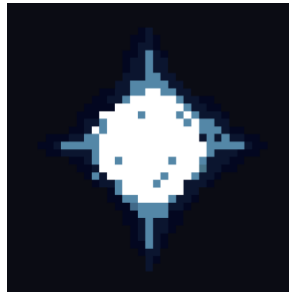
Trilt de ster op een regelmatige frequentie, zie je een duidelijk zich herhalend patroon?

Ja/Nee

Als we deze variatie van de lichtsterkte omzetten in geluid, gaat de ster dus een mooie zuivere toon hebben zoals bijvoorbeeld bij een fluit?

Ja/Nee

Luister nu naar de klank van deze RR Lyrae ster (code ster: kplr 005559631):



We merken dus dat een trillende ster een bepaalde **golfvorm** vertoont: elke trillende ster trilt met een bepaalde frequentie, die eigen aan die ster is en afhankelijk van de structuur van de ster. Daarom noemen we deze frequenties de '**eigenfrequenties**' of '**eigen trillingen**' van een ster. Ook muziekinstrumenten en andere objecten uit het dagelijks leven vertonen eigenfrequenties. In het volgende hoofdstuk gaan we dit verder onderzoeken.

Eigenfrequentie en eigentrillingen

We hebben gezien dat sterren trillen met bepaalde eigentrillingen of eigenfrequenties. **Eigenfrequentie** is een nieuw begrip dat we eerst zullen onderzoeken aan de hand van voorbeelden uit het dagelijks leven die je al lang kent. Muziekinstrumenten!

Aan de hand van 3 proefjes onderzoeken we wat de eigenfrequenties zijn van een muziekinstrument.

PROEFJE 1: de eigenfrequentie van een stemvork en van een fluit

Onderzoeksvraag:

Wat is de eigenfrequentie van alledaagse voorwerpen zoals muziekinstrumenten?

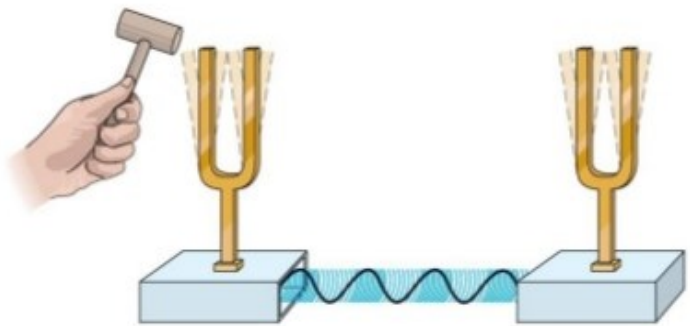
Hypothese:

Denk je dat muziekinstrumenten net zoals een RR Lyrae ster een eigenfrequentie hebben?

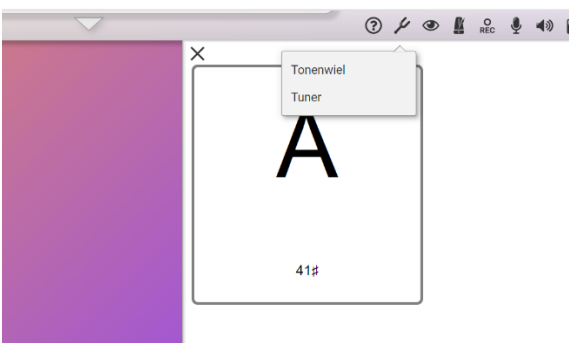
Werkwijze:

Deel 1

1. Neem een stemvork en sla deze aan.
2. Meet met de iMuSciCA werkbench de toonhoogte. Gebruik hiervoor de 'Tuner' (zie onderaan)
3. Probeer nu eens zeer zacht de stemvork aan te slaan.
4. Doe hetzelfde nu met een fluit.



De 'Tuner' op de iMuSciCA werkbench.



Waarnemingen:

Wat is de frequentie van de gespeelde toon?

.....

Wat merk je op aan de frequentie van de toon als je eerst harder en dan zachter de stemvork aanslaat?

.....

De frequentie blijft dezelfde

De stemvork kan enkel een geluid produceren op één bepaalde toonhoogte. De frequentie van deze toon noemt men de eigenfrequentie.

Neem een Ierse fluit en houd eens alle gaatjes toe. Bespeel de fluit. Meet met de iMuSciCA workbench de toonhoogte. Probeer weer zacht en hard te blazen. (Let op: als je te hard blaast dan zal de fluit vals klinken).

Wat is steeds de frequentie van de gespeelde toon?

.....

De lucht trilt in beide gevallen op dezelfde toonhoogte of frequentie: dit is een eigenfrequentie van het instrument. De geluidssterkte of amplitude heeft geen invloed op de toonhoogte.

Deel 2

Neem nu een tweede stemvork met dezelfde eigenfrequentie. Sla beide stemvorken aan. Meet met de Tuner op de iMuSciCA workbench.

Hoor je en meet je 2 maal dezelfde toon?

.....

Richt de stemvorken nu naar elkaar en sla een stemvork aan. Demp deze na enkele seconden met je hand.

Wat valt je op bij de tweede stemvork?

.....

Die trilt op dezelfde frequentie

Door de geluidsgolven geproduceerd door de eerste stemvork, zal de tweede stemvork ook beginnen trillen. Ze zal dus ook geluid produceren. Dit komt omdat de twee stemvorken **dezelfde eigenfrequentie** hebben.

Dit fenomeen noemt men **resonantie**: dit komt voor wanneer twee objecten dezelfde eigenfrequentie hebben.

Besluit

Muziekinstrumenten en voorwerpen trillen ook op eigenfrequenties. De amplitude of geluidssterkte heeft geen invloed op deze frequentie.

PROEFJE 2: De eigenfrequentie van een xylofoon

Onderzoeksvraag

Heeft de grootte van een ster of muziekinstrument invloed op de eigenfrequentie?

Hypothese

Denk aan de toon van een viool of een contrabas, van een kind en van een volwassene. *Zal de grootte van een muziekinstrument invloed hebben op de eigenfrequentie? Leg uit.*

Een contrabas en een volwassene klinken 'lager' dan respectievelijk een viool en een kind.

Werkwijze

Een xylofoon is opgebouwd uit verschillende houten balkjes. Elk balkje klinkt met een andere toon als je deze aanslaat.

Elk balkje heeft dus een andere eigenfrequentie. Hoe komt dit denk je?

.....

De grootte heeft een invloed op de eigenfrequentie

Meet het volume van 4 balkjes en de bijhorende eigenfrequentie van het balkje.

V (cm ³)	F (Hz)

Wat merk je op?

.....

Hoe groter het volume, hoe lager de frequentie.

Zal dit ook invloed hebben op de eigenfrequentie van een ster? Zal een grotere ster dus hogere of lagere eigenfrequenties hebben dan een kleinere ster?

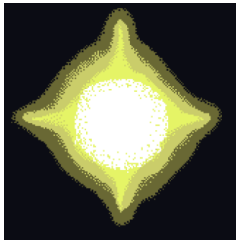
.....

Ja, een grotere ster zal lagere eigenfrequenties hebben.

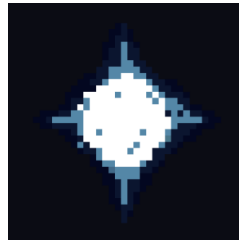
Besluit

Een groot voorwerp trilt op een lagere frequentie dan een klein voorwerp.

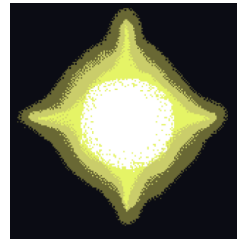
Luister nu naar volgende Cepheïde en RR Lyrae sterren. Rangschik ze van klein naar groot op basis van hun geluid.



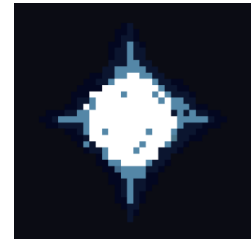
Cepheïde ster Polaris
(De Poolster)



RR Lyrae (prototype van
RR Lyrae sterren)



Cepheïde ster
Beta Dor



RR Lyrae ster
KQUMA



Rangschik de sterren door hun namen in het juiste kader te schrijven:

Klein



Groot

KQUMA ---- RR Lyrae --- Polaris --- Beta Dor

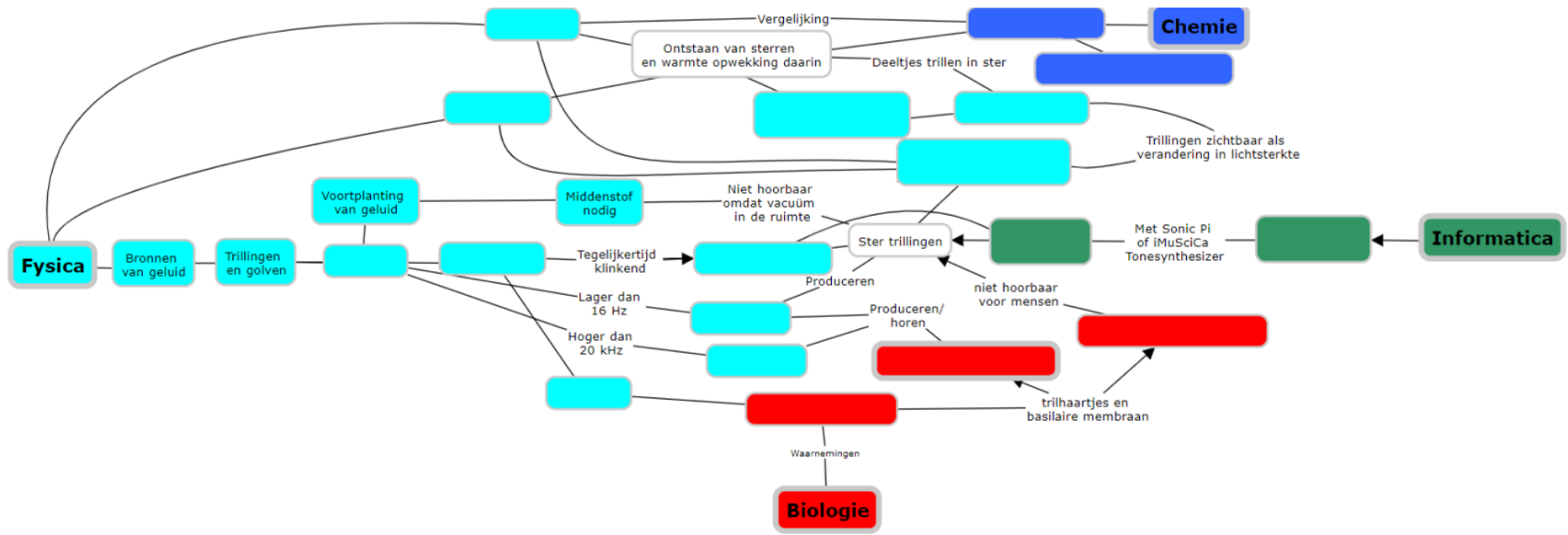
Reflectiemoment

Aan de hand van de **verandering** in **lichtsterkte** dat een ster uitzendt in de loop van de tijd, kunnen we weten dat een ster trilt. Zo een ster noemen we **een trillende ster** of **een variabele ster**.

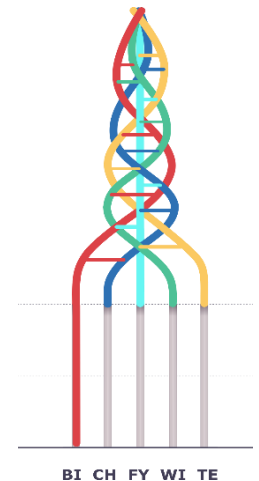
Elk voorwerp – en ook sterren - heeft bepaalde **eigenfrequenties**. Een ander woord voor eigenfrequentie is **eigentrilling**.

De eigenfrequenties zijn afhankelijk van de grootte van een voorwerp: hoe **groter** een voorwerp, hoe **lager de eigenfrequentie**; hoe **kleiner** een voorwerp, hoe **hoger de eigenfrequentie**.

Concept



Leerstation 4: Hoe kunnen we verschillende toonhoogtes horen?



Wat kennen we nog?

Hoe planten geluidsgolven zich voort?

.....

Als een drukgolf in de lucht

Wat zijn de eigenschappen van geluidsgolven waardoor we ze van elkaar kunnen onderscheiden?

.....

De frequentie = het aantal trillingen per tijdseenheid (gemeten in Hz = trillingen per seconde)

De amplitude of geluidsterkte

Inleiding:

We gaan in dit leerstation leren hoe de geluidsgolven tot onze hersenen komen, hoe ons gehoor werkt en welke beperkingen het heeft. Dit heeft ook een invloed op het feit dat we het geluid van de sterren niet kunnen horen.

Klassikaal experiment:

Wat is het gehoorspectrum van de mens?

Hypothesevorming: Duid aan wat je denkt dat juist is:

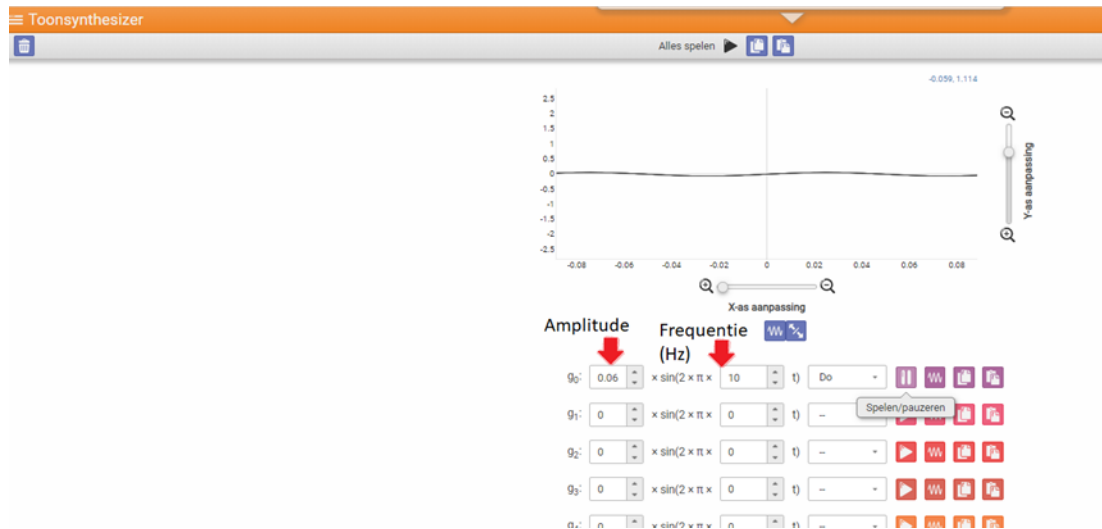
- De mens kan allerlei frequenties horen
- Er is een bepaald frequentiegebied dat de mens kan horen. *(juiste antwoord)*

Waarneming:

Vanaf hoeveel Hertz neem ik geluid waar?

Tot hoeveel Hertz neem ik geluid waar?

Om dit waar te nemen, ga je proberen verschillende waarden van frequentie in te vullen in de iMuSciCA Tonesynthesizer en luisteren. Vul telkens de frequentie in het vakje zoals in de figuur. Vul ook een amplitude in, behoud wel dezelfde waarde van amplitude bij elke frequentie (bijvoorbeeld 1). Begin met bijvoorbeeld 10 Hz en verhoogt telkens lichtjes de frequentie totdat je iets hoort. *Komt de waarneming ongeveer overeen met wat je al wist? Ja/Neen*



Besluit:

Het gemiddelde gehoorspectrum van de mens is tussen de 16 en 20 000 Hertz.

Met welke frequenties trillen de sterren, weet je het nog?

.....

1 trilling per dag of zelfs 1 trilling per jaar (zie leerstation 2).

Waarom kunnen we de sterren dan niet horen?

.....

Ze trillen te traag, met te lage frequenties voor ons gehoorspectrum

Zijn er ook andere geluiden in de natuur die we niet kunnen horen?

b.v. dieren...

.....

Infra- en ultrageluiden geproduceerd door sommige dieren

Je gaat hierover meer leren in een van de hoekenwerken.

In het derde jaar hebben jullie de bouw en de werking van het oor gezien. De weg die een geluidsgolf aflegt tot de hersenen is:

Oorschelp, gehoorzenuw.

Welk onderdeel is verantwoordelijk voor het horen van de juiste frequentie?

.....

Het basilaire membraan in het slakkenhuis (de cochlea)

Je gaat in een van de hoekenwerken hierover ook meer leren.

Hoekenwerk:

We delen de klas op in groepen.

- Hoek 1: Infra- en ultrageluiden in de natuur
- Hoek 2: Resonantie in het slakkenhuis

Hoek 1: Infra- en ultrageluiden

Onderzoeksvraag:

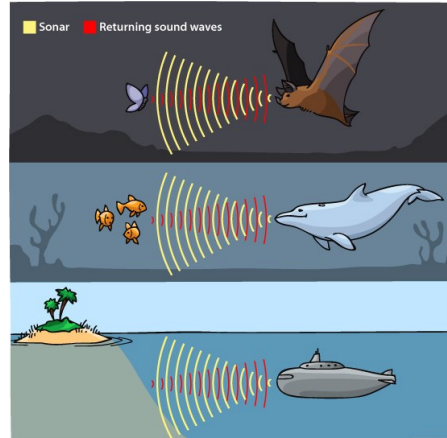
Wat zijn infra- en ultrageluiden?

Benodigheden:

- Laptop

Werkwijze:

- Bekijk: https://www.youtube.com/watch?v=Tfkc6qo3EgM&feature=emb_title en lees het artikel: <https://www.eoswetenschap.eu/natuur-milieu/olifanten-praten-ook-de-grond>
- Vul de waarnemingen over infrageluiden aan.
- Bekijk: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=oUYnxZnZhh8> (Nederlands, vanaf 1:30) en <https://www.youtube.com/watch?v=kp5jyZtoTlg> (Engels)
- Vul de waarnemingen over ultrageluiden in.



Waarneming infrageluiden:

Olifanten kunnen *wel/ niet* communiceren met elkaar. Op welke manieren kunnen ze communiceren?

1. _____ door hoorbare geluiden te produceren met hun slurf
2. _____ door infrageluiden te produceren (gerommel)
3. _____ door te stampen en voelen met hun voeten. Dit laatste wordt ook seismologische communicatie genoemd.

De geluidsgolven geproduceerd door het gerommel van olifanten (geval 2) liggen *hoger/ lager* dan het gehoorspectrum van de mens. Dit wil zeggen dat deze geluidsgolven van olifanten onder de 16 Hz zitten.

Waarneming ultrageluiden:

Bij echolocatie zendt een vleermuis geluidsgolven *hoger/ lager* dan 20 000 Hz uit. De mens kan dit dus *wel/ niet* waarnemen. De uitgezonden geluidsgolven worden *weerkatst/ opgenomen* door de omgeving. De vleermuis neemt de weerkatst geluidsgolven terug op en zo heeft hij een goed beeld wat er zich rond hem bevindt.

Besluit:

Infrageluiden zijn geluiden met een frequentie lager dan 16 Hz die de mens *niet/ wel* kan horen.

Voorbeeld: **Olifanten** produceren infrageluiden die kilometers ver kunnen worden waargenomen. Zo kunnen de mannetjes die alleen leven, toch communiceren met de vrouwtjes verderop.

Ultrageluiden zijn geluiden met een frequentie *hoger/ lager* dan 20 000 Hz. De mens kan deze geluiden *niet/ wel* waarnemen.

Voorbeeld: de **echolocatie** van vleermuizen.

Is het mogelijk om bijvoorbeeld de ultrageluiden van de vleermuizen hoorbaar te maken voor de mens?

Ja/Neen

Op welke manier? Bekijk eventueel nog een keer de video <https://www.youtube.com/watch?v=kp5jyZtoTlg>

.....
Ultrageluiden kunnen omgezet worden naar een lager frequentiegebied dat hoorbaar is voor de mens.

We zullen later ontdekken dat dit ook mogelijk is voor het geluid geproduceerd door de sterren.

Hoek 2: Resonantie in het slakkenhuis

Onderzoeksvraag 1:

Wat is resonantie?

Benodigdheden:

- Laptop
- Twee stemvorken

Werkwijze:

Deel 1

- Neem de twee stemvorken en zet ze voor elkaar zoals in de foto
- Sla op een stemvork, laat het trillen en demp die na 2 seconden met je hand
- Luister en observeer de tweede stemvork

Deel 2

- Zet nu een klem op de stemvork die je niet zal aanslaan
- Herhaal het experiment

Waarneming:

Deel 1:

Ging de tweede stemvork die je niet aansloeg ook trillen in dit geval?

Dit komt omdat de tweede stemvork dezelfde resonantiefrequentie heeft als de eerste. Dat is zijn **eigenfrequentie**.

Deel 2:

Ging de tweede stemvork die je niet aansloeg ook trillen in dit geval?

Waarom? Wat is er gebeurd met de **eigenfrequentie** van de tweede stemvork?

.....

Die is veranderd door het plaatsen van de klem.

Besluit:

De 2de stemvork gaat meetrillen als ze (**dezelfde/een andere**) **eigenfrequentie** heeft als de eerste. Als je de massa van de 2de stemvork verandert, verandert de eigenfrequentie ervan. Ze resoneert dan (**wel/niet**) meer mee met de eerste.



Onderzoeksvraag 2:

Wat resonanceert er mee in onze oren op verschillende frequenties zodat we verschillende frequenties kunnen horen?

We zoeken de mee-resonerende stemvorken in het oor! Noteer nog eens welk onderdeel van het oor verantwoordelijk is voor het horen van de juiste frequentie.

.....
Het basilaire membraan in het slakkenhuis (de cochlea)

Bekijk deze animatie van de cochlea: <https://www.youtube.com/watch?v=dyenMluFaUw>

Wat gebeurt er als geluid met een bepaalde frequentie naar het membraan toekomt?

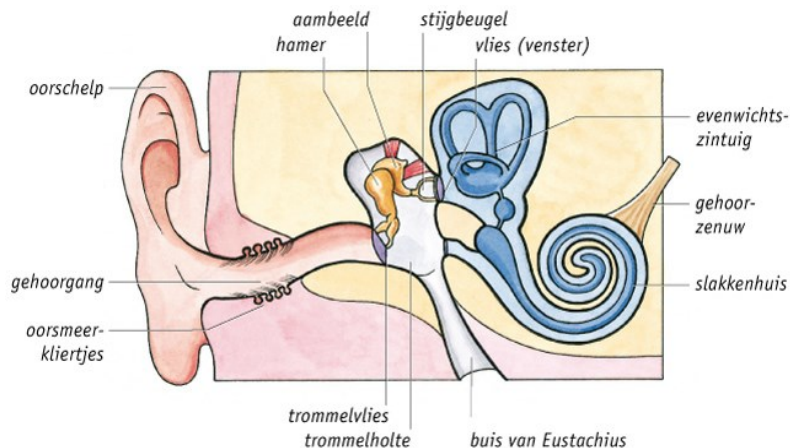
.....
Het membraan trilt

Waar trilt juist het membraan in het geval van hogere frequenties?

.....
Aan de basis, d.w.z. aan de kant van de stijgbeugel

Waar trilt juist het membraan in het geval van lagere frequenties?

.....
Aan de apex, d.w.z. aan de kant ver van de stijgbeugel



We zeggen dat het membraan resonanceert in verschillende plaatsen met verschillende frequenties: dit komt doordat de stijfheid van het membraan varieert van de basis naar de apex.

Het fenomeen resonantie kan je waarnemen in verschillende natuurlijke fenomenen.

Besluit:

Vul aan in eigen woorden.

Elk object heeft **eigenfrequenties** waarop die kan resoneren. Het basilaire membraan

.....
Resoneert op verschillende frequenties in verschillende plaatsen.

Doordat het membraan maar binnen een bepaald frequentiegebied resonanceert,

.....
Kunnen wij maar binnen dat bepaald gebied horen.

Reflectiemoment

De mens neemt geluiden waar met frequenties tussen de 16 Hz en de 20 000 Hz = gehoorspectrum.

Frequenties van onze spraak liggen tussen 125 en 8000 Hz.

Het menselijk gehoorspectrum verkleint bij het ouder worden!

Ultrageluiden = geluiden met een frequentie hoger dan 20 000 Hz die we niet kunnen horen.

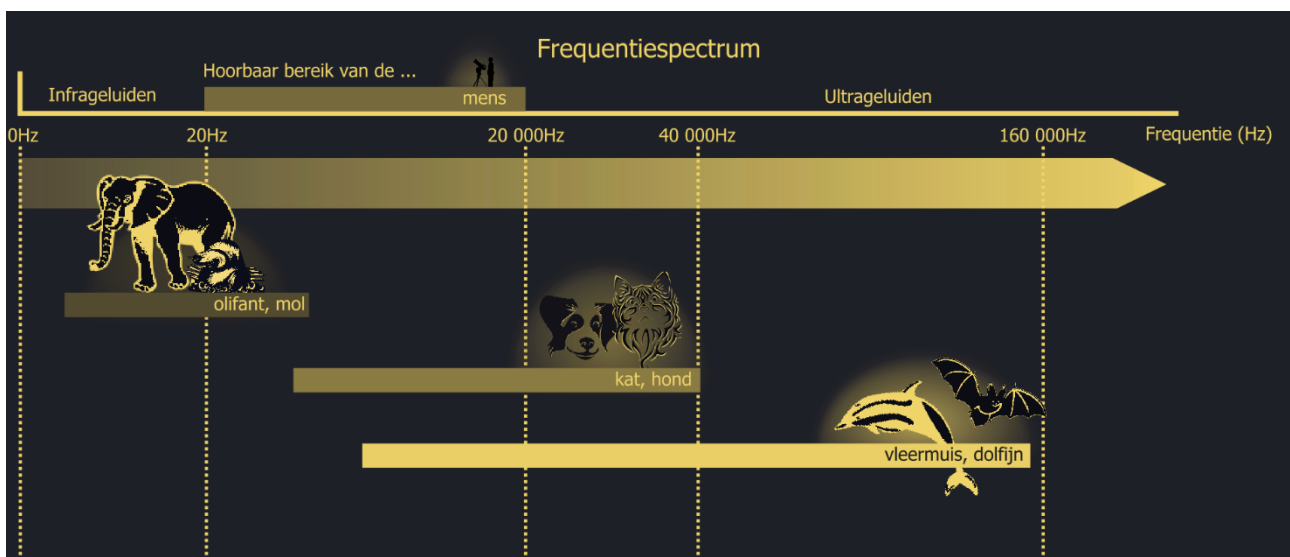
Infrageluiden = geluiden met een frequentie lager dan 16 Hz die we ook niet kunnen horen.

Bv: olifanten produceren infrageluiden die kilometers ver waarneembaar zijn.

Echolocatie= "Zien" met je oren.

Ultratonen met zeer hoge frequenties (+100 000 Hz) kaatsen terug en worden opgevangen.

Bv: vleermuizen (oriëntatie) en dolfijnen (lokaliseren van prooi).



Verwerking: vergelijking met sterren

Met welke frequenties trillen de sterren? **1 keer/dag of 1 keer/jaar**

- Gaat het om infrageluid/ ultrageluid/ hoorbaar geluid? **Infrageluid**
- Wat moeten we volgens jou doen om deze trillingen van de sterren dan wel te kunnen horen? Denk aan het filmpje over de vleermuizen: daar wordt ook een toestel gebruikt om de ultrageluiden van vleermuizen hoorbaar te maken.

.....
De frequentie van de trillingen vermenigvuldigen met een factor zodat die binnen het gehoorspectrum van de mens komt te liggen!

Dit is ook wat wetenschappers effectief doen om de trillingen van de sterren hoorbaar te maken! In leerstation 6 zal je deze sterrengeluiden ook leren programmeren.

- Je hebt gezien in het filmpje over de vleermuizen dat men hen kan herkennen door te luisteren naar hun geluid. *Zou dit ook mogelijk zijn met sterren volgens jou?*
- Een eerste, grove manier om sterren van elkaar te onderscheiden op basis van hun geluid is de **frequentie** waarmee ze trillen... Denk terug aan de olifanten en de vleermuizen.

Wie van de twee produceert ultrageluiden (hogere frequenties?)

Wie van de twee infrageluiden (lagere frequenties)?

Welke van de twee is groter/kleiner?

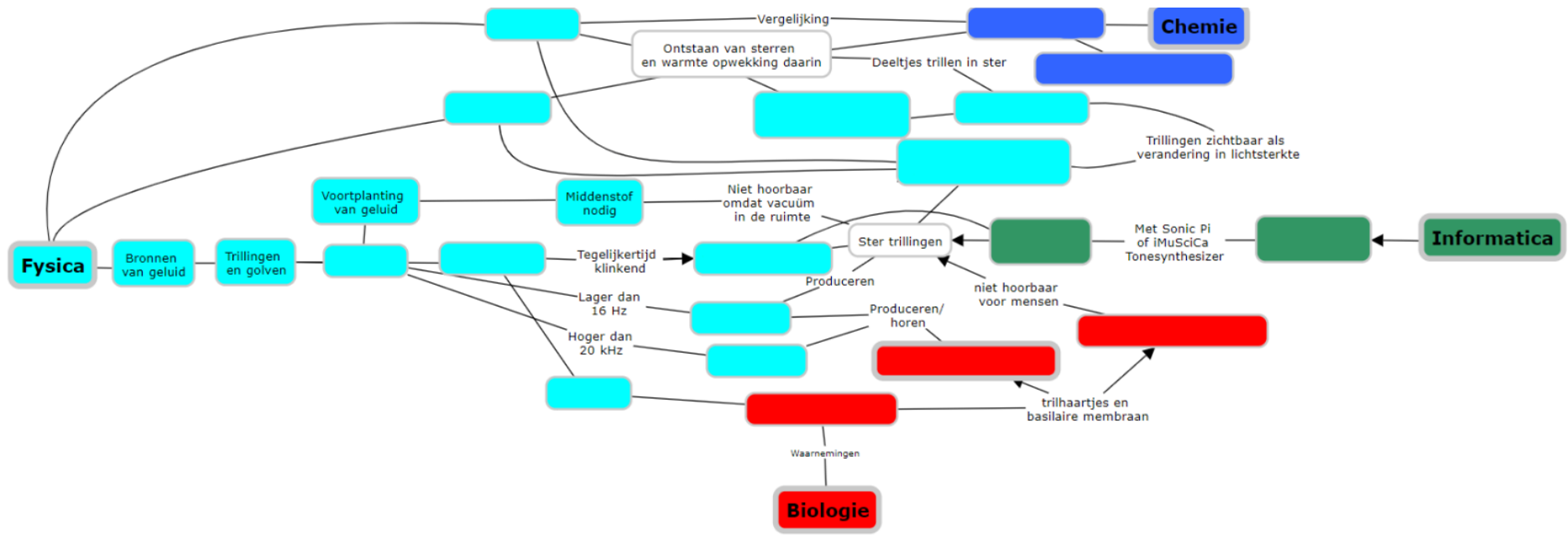
Is er dan misschien een verband tussen de grootte en de frequentie van het geproduceerd geluid?

.....

In leerstation 3 heb je al geleerd dat grotere voorwerpen een lagere toon produceren dan kleinere voorwerpen. Dit verband tussen de grootte en de frequentie van het geproduceerd geluid lijkt ook te bestaan bij dieren.

Wel, bij sterren is er ook een grof verband tussen grootte en frequentie van de trillingen... dit is dus een eerste informatie die we kunnen bekomen door te luisteren naar de sterren.

Concept



Leerstation 5: timbre van muziekinstrumenten en sterren

Experiment: de verschillende eigentrillingen van een draaibuis

Onderzoeksvraag:

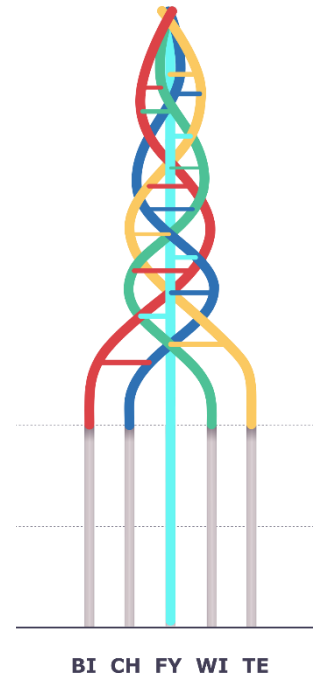
Kan je op hetzelfde instrument meer dan één eigentrilling opwekken, zonder iets te veranderen aan het instrument?

Hypothesevorming

Bekijk dit filmpje:

https://www.youtube.com/watch?v=McCDWYgVyps&feature=emb_title

Kan je een andere toon produceren op een instrument zonder iets aan het instrument te veranderen (geen gaten open of dicht doen, de lengte niet veranderen, ...)?



Werkwijze

Neem de draaibuis en draai zeer rustig met de draaibuis tot je een klank hoort. Zorg zeker dat je nog niet te snel draait.

Je hoort een toon, *welke frequentie heeft deze toon?* Meet met de iMuSciCA workbench en noteer:

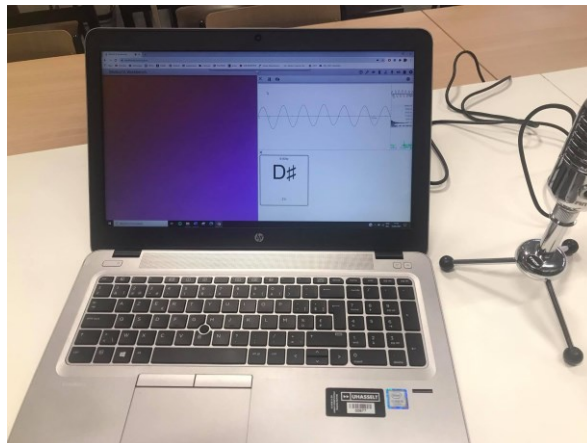
..... Hz

Draai nu iets sneller met de buis, wat valt je op? Wordt de toon continu hoger of gebeurt dit plots?

.....

Als je nog sneller draait, hoor je plots een andere toon. Is deze hoger of lager dan de vorige toon? Meet ook de frequentie en noteer Hz

Je merkt dus dat een draaibuis niet enkel een geluid kan produceren met een toonhoogte, maar meerdere verschillende tonen. *Komen dezelfde tonen telkens terug?*



Blijf nu steeds sneller draaien aan de draaibuis. Meet telkens de frequentie van de tonen.

Begin te noteren vanaf de 2^{de} eigentrilling. De grondtoon kan je niet horen omdat je de buis veel te traag zou moeten ronddraaien, deze is dus al ingevuld.

	fn (Hz)	Verschil (Hz)	fn/f1
1 ^{ste} eigentrilling	f1 = 220	/	/
2 ^{de} eigentrilling			
3 ^e eigentrilling			
4 ^e eigentrilling			

Is het verschil constant?

Wat merk je aan de verhouding f_n/f_1 ? Zie je een patroon?

.....

Je merkt op dat de tonen allemaal een geheel veelvoud zijn van de eerste eigenfrequentie. De 1ste eigenfrequentie noemen we ook de grondtoon.

Besluit

Voorwerpen of instrumenten kunnen niet enkel op hun grondtoon of 1^{ste} eigenfrequentie trillen, maar ook op gehele veelvoud van de grondtoon.

De verschillende tonen waarop een instrument trilt noemen we de verschillende **eigenfrequenties** of **eigentrillingen**. Indien deze ook gehele veelvoud zijn van de grondtoon, noemen we ze **harmonieken**.

1^e eigentrilling = grondtoon

2^e eigentrilling

3^e eigentrilling

...

Klankkleur of timbre van een muziekinstrument

Neem 3 muziekinstrumenten en de iMuSciCA Workbench. Probeer op elk instrument de noot *La* te bespelen. Controleer met de workbench of de frequentie van de toon 440 Hz is.



Wat neem je waar? Klinkt elke toon van de verschillende muziekinstrumenten hetzelfde of heeft elk instrument een karakteristieke klank?

.....

Je hoort niet steeds dezelfde klank. Elk instrument klinkt een beetje anders. Dit komt omdat elk instrument een andere klankkleur of timbre heeft. Daardoor klinkt een *La* op een gitaar anders dan op een stemvork of een ander instrument.

Het 'van Daele' woordenboek beschrijft timbre als volgt.



tim·bre (*het; o; meervoud: timbres*)

- 1 het eigenaardige in het geluid dat ervoor zorgt dat de hoorder het instrument of de spreker herkent; = klankkleur

Herinner je je de opdracht in groepen waar jullie de stem van elkaar moesten herkennen, een muziekinstrument en een object? Wat wij eigenlijk kunnen herkennen is het timbre van een stem, van een instrument of een object.

Timbre lijkt misschien een eigenaardig fenomeen, maar we kunnen het gemakkelijk verklaren. We zullen doorheen deze les onderzoeken wat timbre is en hoe we het timbre van een muziekinstrument kunnen meten en weergeven.

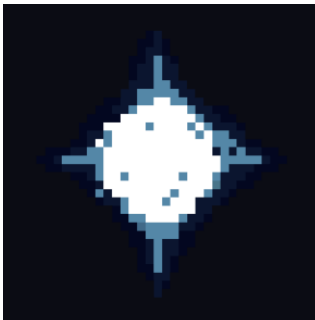
Timbre van een ster

Ook voor sterren geldt dit. Er bestaan verschillende soorten sterren en deze kunnen anders klinken: verschillende soorten sterren hebben een verschillend timbre of klankkleur. Is het dan mogelijk om ze te herkennen op basis van hun geluid?

Luister naar de 2 volgende sterren.

Probeer aan de hand van de workbench de toonhoogte te achterhalen, gebruik hiervoor de Tuner.

RR Lyrae ster KQUMA



Zonachtig-trillende ster KPLR 000757137



Wat is de toonhoogte van de sterren?

Circa 530 Hz

Klinken beide sterren hetzelfde?

Nee

Hebben beide sterren hetzelfde timbre? Zou je die sterren kunnen herkennen op basis van hun timbre?

.....

De twee sterren hebben een verschillend timbre: het is dus mogelijk om ze te herkennen op basis hiervan.

Timbre van een muziekinstrument meten

Gebruik de iMuSciCA workbench om de golfvorm van een toon weer te geven. Gebruik de 2D geluidsvisualisatie. Bespeel een toon en meet de golfvorm.

1. Produceer een toon op twee verschillende muziekinstrumenten: b.v. een stemvork en een viool.
Tip: je kan een keyboard gebruiken om de klank van verschillende instrumenten te produceren met dezelfde toonhoogte. Je kan de frequentie meten met de Tuner op de iMuSciCA workbench.
2. Pauzeer zodat je de golfvorm kan bestuderen.
3. Benoem de assen juist in onderstaande grafieken.
4. Teken de golfvorm over.

Stemvork

Sla de stemvork aan. Meet de toonhoogte met de Tuner: Hz **440 Hz**

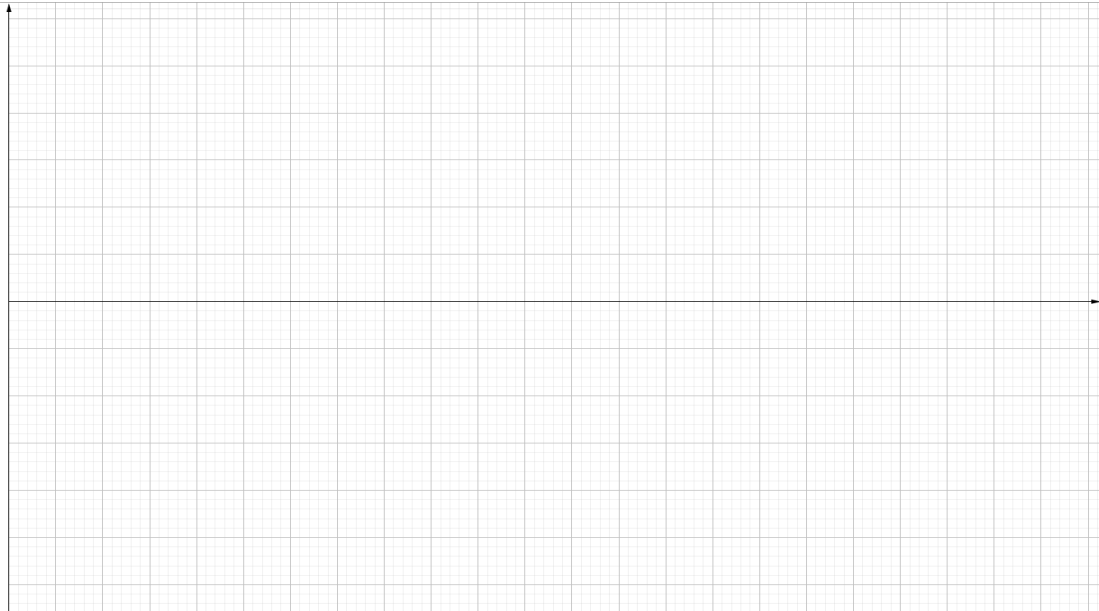
Meet de golfvorm met de 2D geluidsvisualisatie: bestudeer en teken de golfvorm hieronder.



Viool

Sla de snaar van de viool (op een keyboard) aan. Meet de toonhoogte met de Tuner: Hz

Meet de golfvorm met de 2D geluidsvisualisatie: bestudeer en teken de golfvorm hieronder.



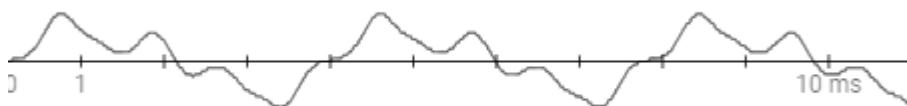
Hebben de 2 golfvormen exact dezelfde vorm?

Hoe ziet de golfvorm van de stemvork eruit? Beschrijf in eigen woorden:

Hoe ziet de golfvorm van de viool eruit? Beschrijf in eigen woorden:

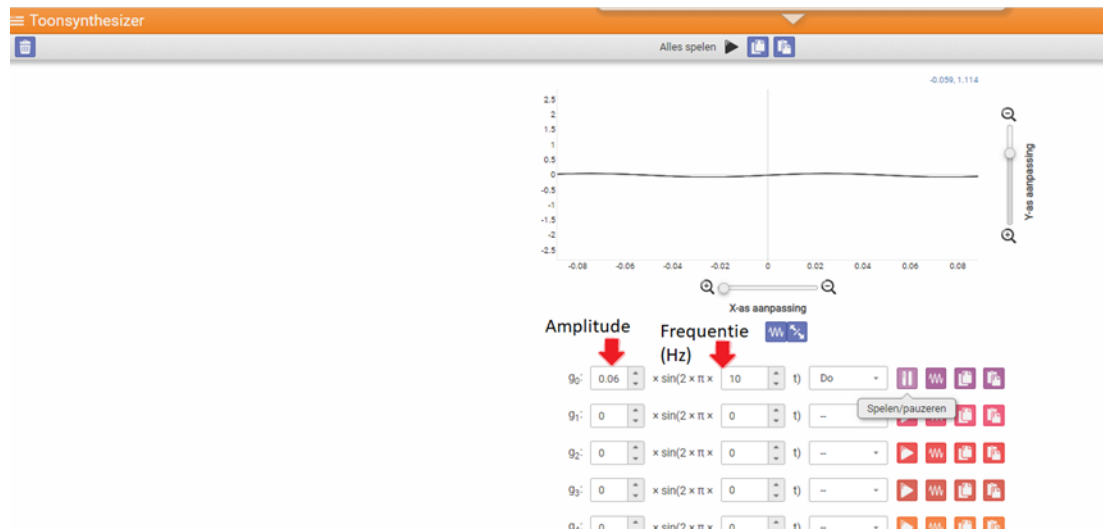
De golfvorm van een zuivere toon is een perfecte sinus, zoals bij de stemvork.

De golfvorm van een samengestelde klank van 2 of meerdere tonen, is een samengestelde golf: dit is de som van verschillende sinus-golven Dit zie je bijvoorbeeld bij de viool.



Golfvorm van een samengestelde klank

Gebruik nu de toonsynthesizer op de iMuSciCA workbench: hiermee kan je geluiden 'synthetiseren', een beetje zoals een muzikant.



Construeer een samengestelde golf van 2 tonen met respectievelijk 100 Hz en 200 Hz. Produceer eerst de twee afzonderlijke tonen en teken ze hieronder. De amplitudes van beide tonen moeten even groot zijn (kies bijvoorbeeld een amplitude = 1). Vergeet niet om de assen te benoemen.

100 Hz



200 Hz



Construeer nu de golfvorm van de samengestelde klank. Dit is de klank die je hoort als je beide tonen tegelijk laat klinken: de som van de twee tonen dus.



Hoe ziet er deze resulterende golfvorm nu uit? Lijkt die op de golfvorm van de stemvork, of meer op die van de gitaar?

.....

Wat is de frequentie van de samengestelde klank? Meet met de tuner:

..... Hz

Het is dus mogelijk om een samengestelde golfvorm te verkrijgen door verschillende aparte golven, elk met een bepaalde frequentie (en amplitude), op te sommen. Wat je hoort is ook de som van de verschillende frequenties: het timbre. Toch meet je met de tuner maar een frequentie, namelijk de grondtoon. Dit is ook wat we waarnemen.

Zo is het ook bij muziekinstrumenten: als je een La speelt op een gitaar, een viool of op een fluit dan betekent dit dat de grondtoon een La is. Maar de andere eigenfrequenties, of harmonieken, klinken ook mee. In dit geval klinken de harmonieken wel tegelijkertijd.

Probeer nu om in de toonsynthesizer nog andere frequenties toe te voegen, bijvoorbeeld 300 Hz, 400 Hz, bekijk het resultaat en luister. Wat kan je zeggen over de samengestelde golfvorm?

.....

Eigenfrequenties zorgen voor de klankkleur van een instrument.

Herinner je nog dat een instrument/voorwerp of ster trilt op zijn eigenfrequenties?

Als we een instrument anders bespelen, bijvoorbeeld de draaibuis sneller draaien, horen we een hogere toon die een veelvoud is van de grondtoon. Dit zijn de 2e, 3e, ... eigenfrequenties of harmonieken.

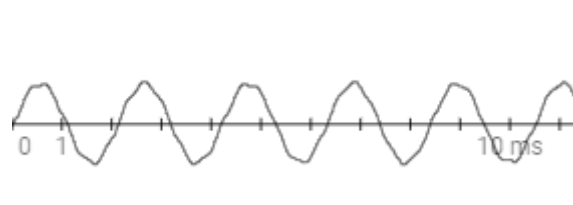
Is er misschien een verband tussen eigenfrequenties en timbre? We gaan dit bekijken aan de hand van een xylofoon.

De grafiek rechtsonder geeft de metingen weer die je krijgt als je het timbre van één plaatje van de xylofoon meet (bijvoorbeeld met de 3D geluidsvisualisatie op de iMuSciCA workbench).

Je kan zien dat de gemeten grondtoon in dit geval ongeveer 440 Hz is. De klank die je hoort is eigenlijk een samengestelde klank: je meet immers ook nog 2 andere tonen met een hogere frequentie dan die van de grondtoon. Een toon met een frequentie van ongeveer 2600 Hz en een toon met een frequentie van ongeveer 7000 Hz.



De klank die je hoort is weergegeven door de samengestelde golf:



De eerste toon die we meten is de 1ste eigenfrequentie of grondtoon.

De tweede toon die we meten is 2600 Hz. Als je 440 vermenigvuldigt met **6** krijg je 2600 Hz. Dit komt dus overeen met de **zesde eigenfrequentie.**

Als je 440 Hz vermenigvuldigt met **16** krijg je 7000 Hz. De 3de toon is dus de **16^{de} eigenfrequentie.**

Dit betekent dat het timbre of de klankkleur van een xylofoon bepaald wordt door 3 eigenfrequenties die tegelijkertijd klinken, namelijk de 1ste, 6e en 16e eigenfrequenties. De andere eigenfrequenties hoor je niet.

Kijk nu ook naar de amplitude van elke eigenfrequentie: zijn deze allemaal gelijk of verschillen ze?

..... *ook de amplitudes verschillen*

Elk voorwerp en elk muziekinstrument zal anders klinken. Door te meten op welke eigenfrequenties een voorwerp trilt en met welke amplitude kan je het timbre achterhalen. De klank die je hoort - de klankkleur - is de som van de verschillende samenklinkende frequenties.

Timbre meten

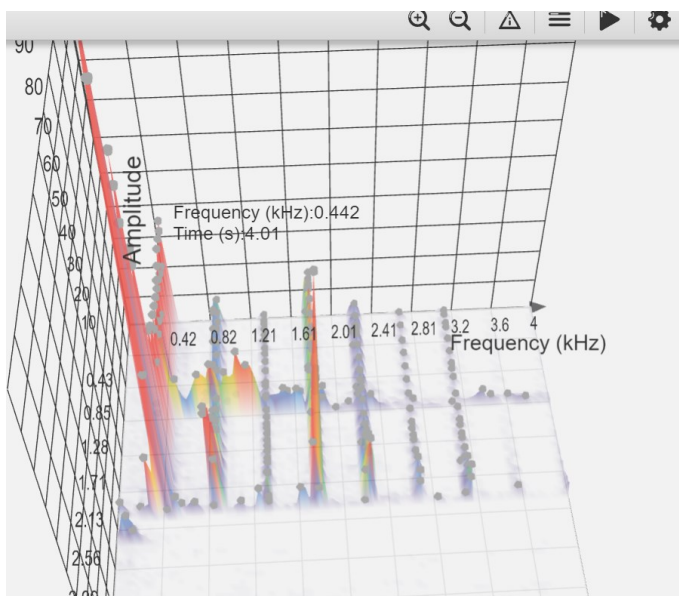
We gaan nu het timbre meten van enkele muziekinstrumenten. Dit kan je doen met de 3D geluidsvisualisatie op de iMuSciCa workbench. Dit noemen we ook het 'spectrum'.

Speel telkens dezelfde toon – b.v. een A (La) – op het muziekinstrument en meet zowel de golfvorm met de 2D geluidsvisualisatie als het timbre met de 3D geluidsvisualisatie.

Begin met:

- Stemvork
- Fluit
- Viool (gebruik een keyboard)

Voorbeeld van meting met de 3D geluidsvisualisatie: spectrum van een La (440 Hz) op een viool.



Op de 3D geluidsvisualisatie meet je de frequentie en de relatieve amplitude.

De **relatieve amplitude** is de verhouding tussen de amplitude van een bepaalde frequentie en die van de frequentie met hoogste amplitude waaraan we een waarde van 1 geven. Je kan dus een relatieve amplitude van 1 geven aan de frequentie met de hoogste amplitude. Een frequentie met een amplitude die bijvoorbeeld de helft is van de hoogste, zal dan een relatieve amplitude hebben van 0,5.

Stemvork

Hoe ziet de golfvorm er uit?

Meet de frequentie en relatieve amplitude van de verschillende eigenfrequenties en schrijf ze in de tabel:

Eigenfrequentie	Frequentie (Hz)	Relatieve Amplitude
1		
2		
3		

Fluit

Hoe ziet de golfvorm er uit?

Meet de frequentie en relatieve amplitude van de verschillende eigenfrequenties en schrijf ze in de tabel:

Eigenfrequentie	Frequentie (Hz)	Relatieve Amplitude
1		
2		
3		

Viool

Hoe ziet de golfvorm er uit?

Meet de frequentie en relatieve amplitude van de verschillende eigenfrequenties en schrijf ze in de tabel:

Eigenfrequentie	Frequentie (Hz)	Relatieve Amplitude
1		
2		
3		
4		

Wat merk je aan de verschillende eigenfrequenties bij een bepaald instrument? Zijn deze gehele veelvoudigen van elkaar?

.....

Wat vind je opmerkelijk als je de drie instrumenten vergelijkt? Als de golfvorm eenvoudig is, zoals bij de stemvork, is het spectrum ook eenvoudig met weinig eigenfrequenties of juist complex, met veel eigenfrequenties?

.....

Wat kan je zeggen over de waarde van de amplitude voor een bepaalde eigenfrequentie, bij de verschillende instrumenten?

.....

Herhaal nu dezelfde oefening met een **trommel**.

Hoe ziet de golfvorm er uit?

Meet de frequentie en relatieve amplitude van de verschillende eigenfrequenties en schrijf ze in de tabel:

Eigenfrequentie	Frequentie f_n (Hz)	f_n/f_1	Relatieve Amplitude
1			
2			
3			
4			

Wat kan je zeggen over de verhouding tussen de eigenfrequenties? Zijn deze gehele veelvouden van elkaar?

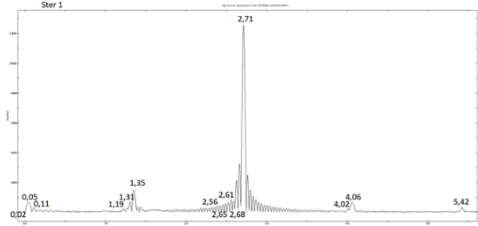
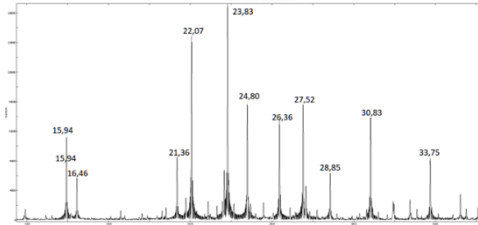
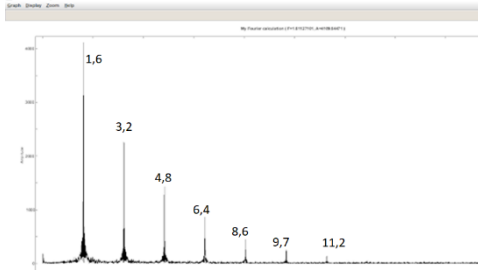
.....

De eigenfrequenties bij een instrument zoals een trommel zijn geen gehele veelvouden en dus niet harmonisch. Een trommel is **minder toonhebbend** dan een harmonisch muziekinstrument.

Heeft dit ook een invloed op het spectrum en op de golfvorm? Wat kan je hierover zeggen?

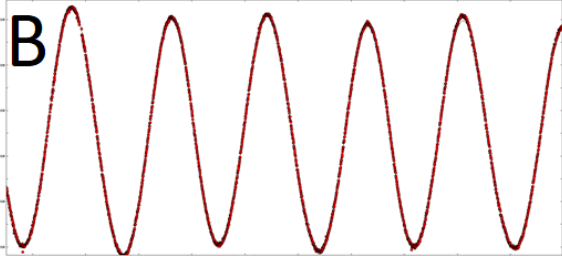
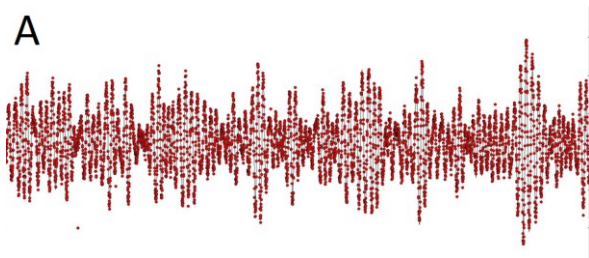
.....

Ook sterren hebben een eigen karakteristieke klankkleur. Hier zie je 3 voorbeelden van het timbre van een ster. Probeer ze te verbinden met de juiste golfvorm. *Tip*: maak gebruik van wat je hierover geleerd hebt: een eenvoudigere golfvorm komt overeen met een eenvoudiger spectrum...

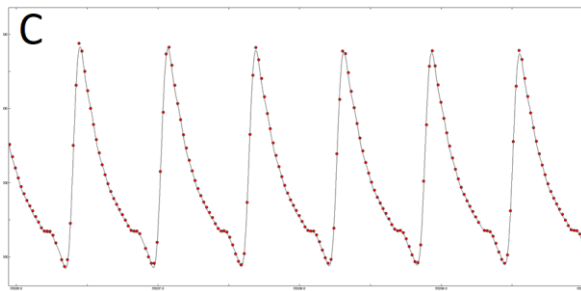
Type ster	Spectra van bepaalde types sterren	Golfvorm? Noteer de juiste letter	Klank? Noteer de juiste letter
BETA Cephei ster		B	C
Delta Scuti ster code ster: kplr 011021188		A	B
RR Lyrae ster code ster: kplr 005559631		C	A

Golfvorm:

A



C



Klank:



3 verschillende sterren elk met een compleet ander timbre!

Vul in:

De ster **BETA Cephei** trilt op **maar enkele**/veel eigenfrequenties. Het spectrum ziet er **eenvoudig** / complex uit. Leg uit:

Er is een frequentie met een hoge amplitude en dan enkele frequenties met heel kleine amplitudes.

Hierdoor ziet de golfvorm van de klank er eerder ingewikkeld/**simpel** uit zoals in golfvorm A/B/C. De klank is **harmonisch**/chaotisch.

De ster **DELTA Scuti E** trilt op maar enkele/**veel** eigenfrequenties. Het spectrum ziet er eenvoudig / **complex** uit. Leg uit:

Er zijn verschillende frequenties met verschillende amplitudes. De frequenties lijken geen gehele veelvoud van elkaar te zijn.

Hierdoor ziet de golfvorm van de klank er eerder **ingewikkeld**/simpel uit zoals in golfvorm A/B/C. De klank is harmonisch/**chaotisch**.

De ster **RR Lyrae** trilt op maar enkele/**veel** eigenfrequenties. Het spectrum ziet er **eenvoudig** / complex uit. Leg uit:

Er zijn verschillende frequenties maar deze lijken wel gehele veelvoud van elkaar te zijn: het spectrum ziet er ordelijk uit.

Hierdoor ziet de golfvorm van de klank er eerder ingewikkeld/**simpel** uit zoals in golfvorm A/B/C. De klank is **harmonisch**/chaotisch.

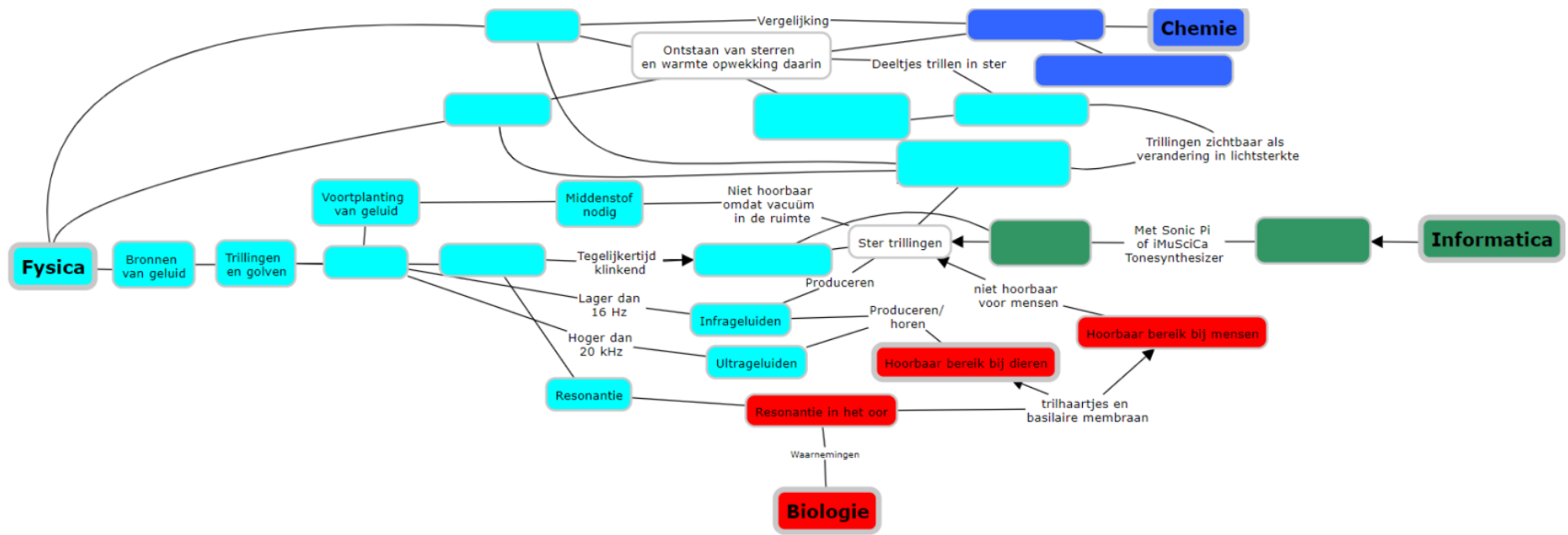
Reflectiemoment

Elk voorwerp, instrument of ster klinkt anders, dit komt doordat ze een ander **timbre of klankkleur** hebben.

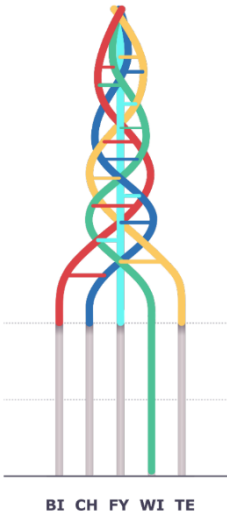
Door te meten op **welke eigenfrequenties** een voorwerp trilt en met welke **amplitude**, kan je het timbre achterhalen.

De klank die je hoort is een samengestelde klank van de verschillende samenklinkende eigenfrequenties.

Concept



Leerstation 6: Geluid van een ster nabootsen



Wat is een algoritme?

We gaan proberen om het geluid dat een ster maakt, na te maken. We doen dit door te programmeren. We moeten alle stappen die de computer moet doen, tot in detail beschrijven. Dit stappenplan noemen we een **algoritme**.

Een **algoritme** beschrijft de verschillende stappen die nodig zijn om vanuit de probleemstelling de oplossing te bereiken.

Voorbeelden:

Je denkt er waarschijnlijk niet meer over na, maar hieronder staan alle stappen die je nodig hebt om muziek op je smartphone te zetten. Probeer eens de juiste volgorde te vinden. Je mag per twee werken.

6	Kies in het snel menu de opdracht 'kopiëren'
7	Dubbelklik op het pictogram voor je smartphone
4	Selecteer de bestanden die je naar je smartphone wilt kopiëren
1	Verbind je mp3-speler met de computer
8	Klik rechts en kies in het snel menu voor 'plakken'
3	Open de map met muziekbestanden
5	Klik rechts op de geselecteerde bestanden
2	Ga naar 'deze computer'

Probeer nu eens zelf het algoritme te beschrijven hoe je van een zak aardappelen naar een pakje friet werkt.

- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
 - 5.
 - 6.
 - 7.
 - 8.
 - 9.
 - 10.
 - 11.
 - 12.
- Schil de aardappelen.
Was de aardappelen.
Verwarm de frietketel.
Snij de aardappelen in reepjes.
Gooi de aardappelreepjes in het mandje.
Laat het mandje in de frietketel zakken.
Laat de frieten een zevental minuten bakken.
Doe de frieten in een kom.
Bak de frieten een tweede maal.
Wacht totdat de frieten goudgeel zijn.
Schud de frieten op.
Serveer de frieten.

Sterrengeluiden programmeren

We zagen al dat sterren met verschillende eigenfrequenties tegelijkertijd trillen. In Sonic Pi gaan we een algoritme schrijven om het geluid van een ster te kunnen namaken.

Oefening 1: Hoe kan ik een frequentie programmeren?

We maken een ster met twee eigentrillingen. We beginnen met de eerste frequentie te programmeren. We kiezen ééntje van 300 Hz.

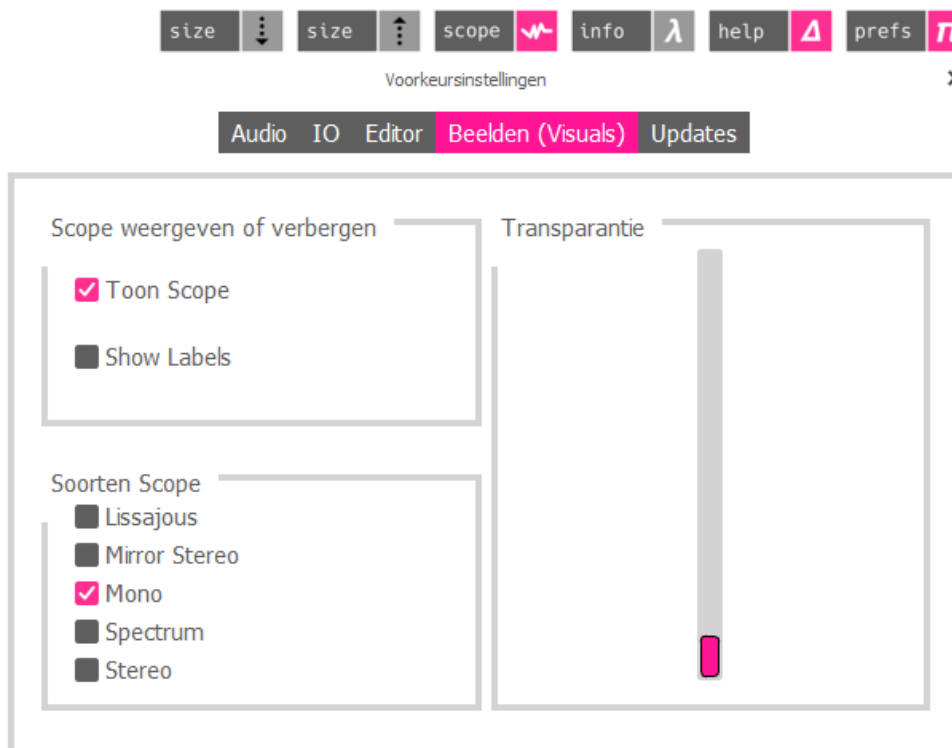
Typ:

```
play hz_to_midi 300
```

Druk op de RUN-knop.

Wat hoor je?

(Tip: Klik op het SCOPE-icoon en druk opnieuw op RUN. Nu kan je de golfvorm van 300 Hz ook zien. Het kan zijn dat je de onderstaande instellingen moet overnemen, klik op 'prefs', selecteer 'visuals' en neem de instellingen over.)



Oefening 2: Hoe kan ik een toon aanhouden?

Je moet het programma aanpassen zodat het ongeveer 30 seconden gaat duren.

Typ:

```
play hz_to_midi 300, sustain: 30
```

Voeg nu eens een 2^e frequentie toe van 180 Hz en ook deze moet 30 seconden te horen zijn.

```
play hz_to_midi 180, sustain: 30
```

Variabelen:

Je weet nu hoe je een frequentie moet programmeren, maar als ik verschillende frequenties ga gebruiken kan mijn algoritme onoverzichtelijk worden. Je gebruikt hiervoor **variabelen**. Je kan dit vergelijken met een ladekast, elke lade is een nieuwe variabele waarin je een frequentie kan opslaan. Open je je variabele later in je algoritme, gaat je frequentie bewaard zijn.



Oefening 3: Variabelen

Als je codeert is het makkelijker om met variabelen te werken. Zo hoef je maar één keer een getal in te geven i.p.v. die steeds aan te passen doorheen je code. Wij zullen onze variabelen F1, F2, F3, ... noemen, net zoals het aantal trillingen van een ster.

Typ:

```
F1=hz_to_midi 300
```

```
F2=hz_to_midi 180
```

```
play F1, sustain: 30
```

```
play F2, sustain: 30
```

Druk op de RUN-knop en kijk naar de 'scope'. Je kan met meer variabelen werken als je ster meer eigentrillingen heeft.

Oefening 4: Amplitudes (luider en stiller)

Wanneer we het timbre van een muziekinstrument of een ster meten, merken we dat de amplitude van elke eigenfrequentie anders is.

We moeten dus de amplitude opnieuw aan het programma toevoegen. Dit doe je met de 'amp:'-instructie.

Als we F2 maar de helft zo luid willen als F1 dan typ je:

```
F1=hz_to_midi 300
```

```
F2=hz_to_midi 180
```

```
play F1, sustain: 30
```

```
play F2, sustain: 30, amp: 0.5
```

Wat merk je op aan de 'scope', de golfvorm?

De verschillende eigentrillingen beïnvloeden de uiteindelijke golfvorm *wel degelijk/niet*. Is dit wat je verwacht had op basis van wat je hebt geleerd over timbre? Leg uit.

.....

Oefening 5: Zonachtig trillende ster nabootsen.

Je gaat nu enkele sterren geluiden programmeren van echte sterren!

Zoals eerder gezien, de echte frequenties van de sterren zijn te laag om deze te kunnen horen: het gaat om frequenties onder de 20 Hz, dus onder het bereik van het menselijke oor. Daarom zal je de frequenties gebruiken die al omgezet zijn geweest naar het hoorbaar bereik van de mens: in onderstaande tabellen worden in het blauw de omgezette frequenties in Hz weergegeven. De oorspronkelijke frequenties van de sterren (in cycli/dag) werden vermenigvuldigd maal een bepaalde factor om deze oorbare frequenties te bekomen.

Eerste ster: een zonachtig-trillende ster.

Hieronder vind je informatie over de zonachtig-trillende ster KPLR 2018392: een ster die een beetje trilt zoals onze Zon.

Ter info: KPLR 2018392 is de 'Kepler-naam' van die ster, een soort identificatiecode gegeven door astrofysici bij de waarneming.

Gebruik de nodige info uit de tabel om het geluid zo nauwkeurig mogelijk na te bootsen m.b.v. Sonic Pi.

In de eerste kolom vind je de oorspronkelijke frequentie in cycli per dag: zoals eerder gezien trillen de sterren met heel trage frequenties die niet hoorbaar zijn. Daarom worden deze frequenties eerst vermenigvuldigd met een bepaalde factor zodat ze in het hoorbaar gebied gaan vallen: deze berekende frequenties, in Hz uitgedrukt, vind je in de derde kolom.

Ten slot vind je de relatieve amplitude van elke eigenfrequentie in de laatste kolom.

	Oorspronkelijke frequentie (cycli/dag)	Frequentie (Hz)	Relatieve amplitude
F1	2,60	551	0,80
F2	2,77	589	0,77
F3	3,21	683	0,74
F4	3,10	659	0,60
F5	2,93	623	0,54
F6	2,79	592	0,55
F7	3,25	691	0,52
F8	3,27	694	0,49
F9	3,59	763	0,45
F10	2,29	487	0,46
F11	3,43	729	0,36

F12	2,89	615	0,50
F13	2,91	619	0,43

Hoe klinkt deze ster? Had je dit verwacht?

.....

.....

Tweede ster: een RR Lyrae ster

RR Lyrae ster KPLR 006186029			
	Oorspronkelijke frequentie (cycli/dag)	Frequentie (Hz)	Relatieve amplitude
F1	1,466	506	1,00
F2	2,932	1011	0,50
F3	4,399	1517	0,37
F4	5,865	2022	0,24
F5	7,331	2528	0,11
F6	8,797	3033	0,07
F7	10,264	3539	0,04
F8	1,459	503	0,03
F9	11,731	4045	0,02
F10	1,475	509	0,02

Hoe klinkt deze ster? Had je dit verwacht?

.....

.....

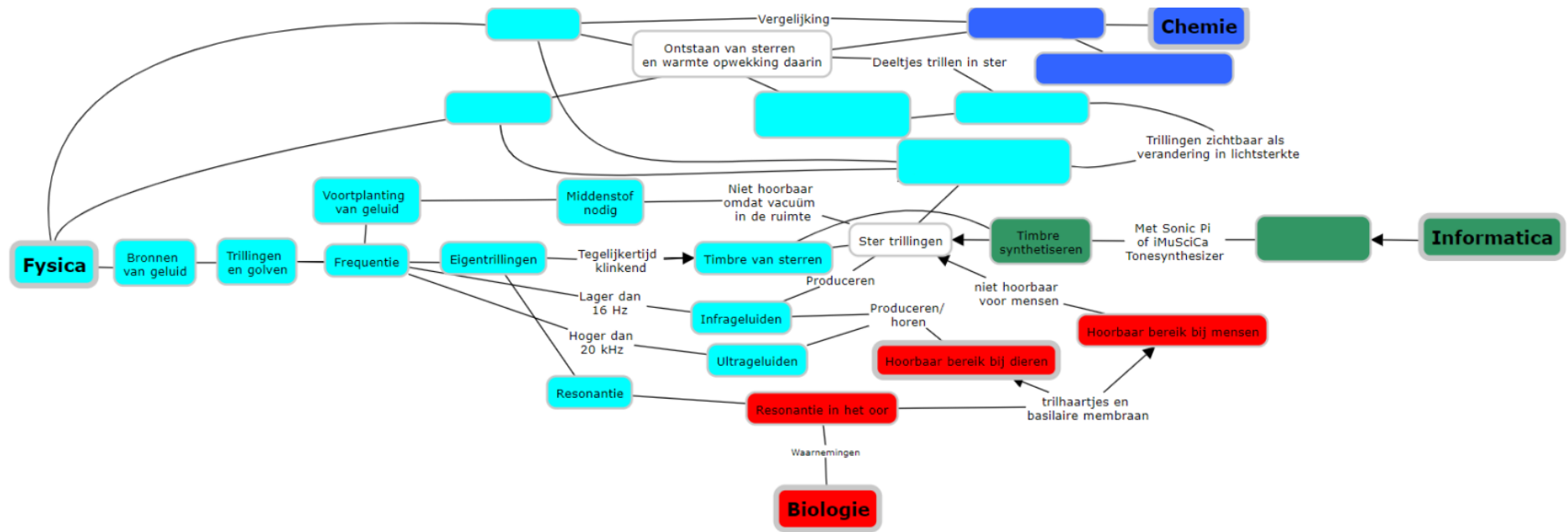
Oefening 6: een ster naar keuze

Hieronder vind je de info over 2 sterren terug, je mag kiezen welke je programmeert.

Delta Scuti KPLR 011021188			
	Oorspronkelijke frequentie (cycli/dag)	Frequentie (Hz)	Relatieve amplitude
F1	23,831	729	1,00
F2	22,069	675	0,84
F3	27,520	841	0,53
F4	24,795	758	0,52
F5	26,363	806	0,46
F6	30,826	943	0,46
F7	15,938	487,33	0,38
F8	33,747	1031,85	0,27
F9	21,359	653,08	0,26
F10	16,456	503,17	0,20
F11	28,849	882,09	0,20
F12	23,659	723,40	0,20
F13	27,661	845,76	0,17
F14	32,762	1001,74	0,12
F15	35,226	1077,07	0,11
F16	23,591	721,33	0,09
F17	21,792	666,34	0,08
F18	22,872	699,34	0,08
F19	25,583	782,24	0,07

Cepheïde ster Beta Doradus			
	Oorspronkelijke frequentie (cycli/dag)	Frequentie (Hz)	Relatieve amplitude
F1	0,10165	292	1,00
F2	0,30480	876	0,10
F3	0,40651	1168	0,06
F4	0,60949	1751	0,06
F5	0,50776	1459	0,05
F6	0,20290	583	0,04
F7	0,71142	2044	0,03
F8	0,91418	2627,00	0,01
F9	1,01628	2920,39	0,01

Concept

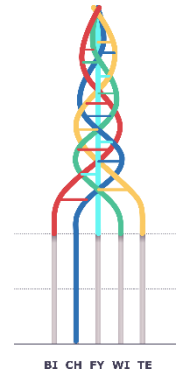


Leerstation 7: Waarom trillen sterren?

Ontstaan van sterren

In het universum bestaan er grote wolken van deeltjes. Men noemt dit vaak 'nevels'. Binnen deze nevels of wolken gaan alle deeltjes elkaar aantrekken.

Door welke kracht gaan deze wolken samentrekken?



Zwaartekracht.



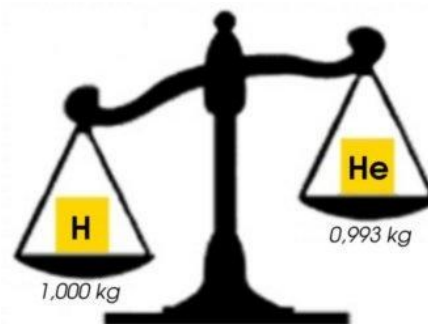
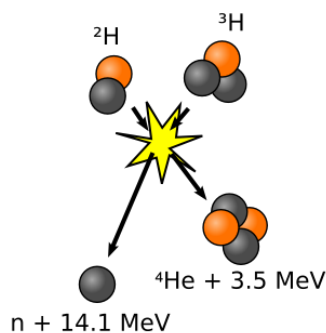
Door deze aantrekking zullen de deeltjes steeds dichter bij elkaar komen. Hoe dichter de deeltjes bij elkaar komen, hoe *hoger/lager* de temperatuur en druk gaat worden.

Wanneer de temperatuur en druk hoog genoeg zijn, kunnen de atomen en zelfs de kernen van die atomen botsen. De kernen van twee atomen kunnen dan zelfs fuseren tot een nieuwe zwaardere kern. Bij een kernfusie komt er veel energie vrij, de ster gaat warmte en licht uitstralen en ze wordt zichtbaar als ster.

Welke deeltjes vinden we in een atoomkern terug?

Hoeveel protonen heeft waterstof?

En helium?



Een waterstofatoom met één neutron gaat fuseren met een ander waterstofatoom met twee neutronen (dit is een zwaarder isotoop van waterstof bekend als tritium). Hierbij ontstaat een zwaardere kern nl.: helium met 2 neutronen er komt nog een overig neutron vrij en energie. De reactieproducten bij elkaar wegen een fractie minder dan de stoffen die de fusiereactie in zijn gegaan, hiervan komt energie vrij.

Deze energie zorgt ervoor dat de sterren blijven bestaan en werkt een beetje 'tegen' de zwaartekracht die de deeltjes aan elkaar trekt.

Demoproef: een model om de stertrillingen te visualiseren.

Benodigheden:

- Veer
- Statief met noot en extra staaf
- Gewichtjes

Werkwijze:

1. Bouw de opstelling op zoals op de foto hiernaast.
2. Breng de veer uit zijn evenwichtspositie door licht aan het gewichtje te trekken.

Waarnemingen:

Wat zie je gebeuren?

Een veer met een gewicht blijft in zijn **evenwichtspositie** omwille van de zwaartekracht en de tegenkracht van de veer (veerkracht). Bij de sterren zijn er ook twee tegengestelde krachten, welke? (Zie 'Ontstaan van sterren')

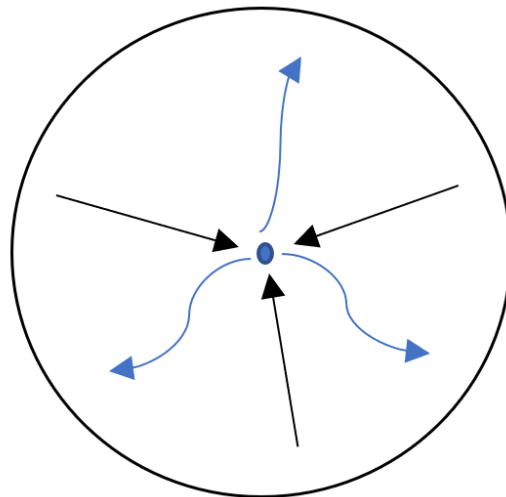
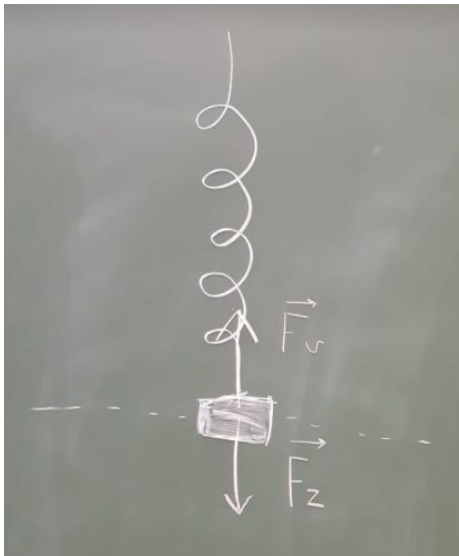


.....
Zwaartekracht en kracht uit de kernreacties.

Bij de veer wordt het **evenwicht verstoord** door aan de veer te trekken. Wat gebeurt er dan?

.....
De veer trilt.

Duid in onderstaande tekeningen deze verschillende krachten aan bij de opstelling met veer en gewichtje en bij de ster.

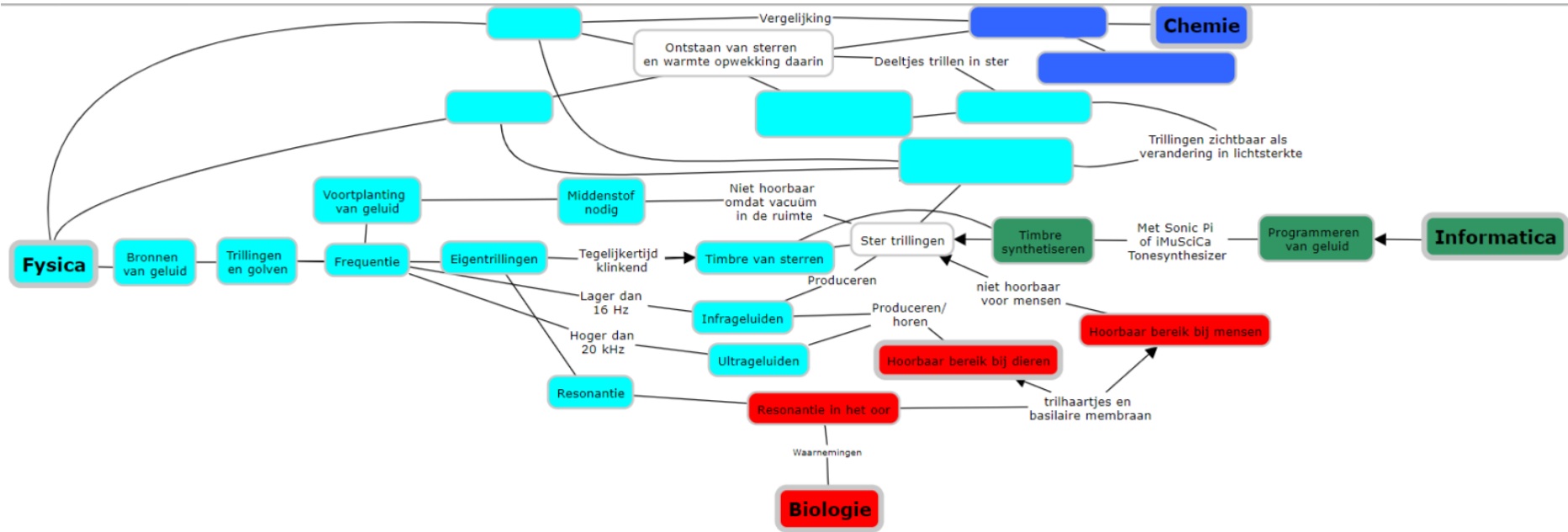


Hoe komt het dan dat sterren blijven trillen?

Door zwaartekracht krimpt de ster in, maar er is een tegenkracht door het warm worden van de ster. Dit mechanisme komt door de extra energie van de kernreacties. Er is dan een soort evenwicht in de ster die zo kan blijven bestaan.

De trilling van een ster wordt veroorzaakt door een 'storing' van dit evenwicht, met andere woorden een derde oorzaak die het evenwicht verstoort. Hierdoor blijft de ster dan trillen. De storing in een trillende ster is afhankelijk van het type ster.

Concept



Algemeen besluit

Evaluatie

Ga naar "goformative.com/join".

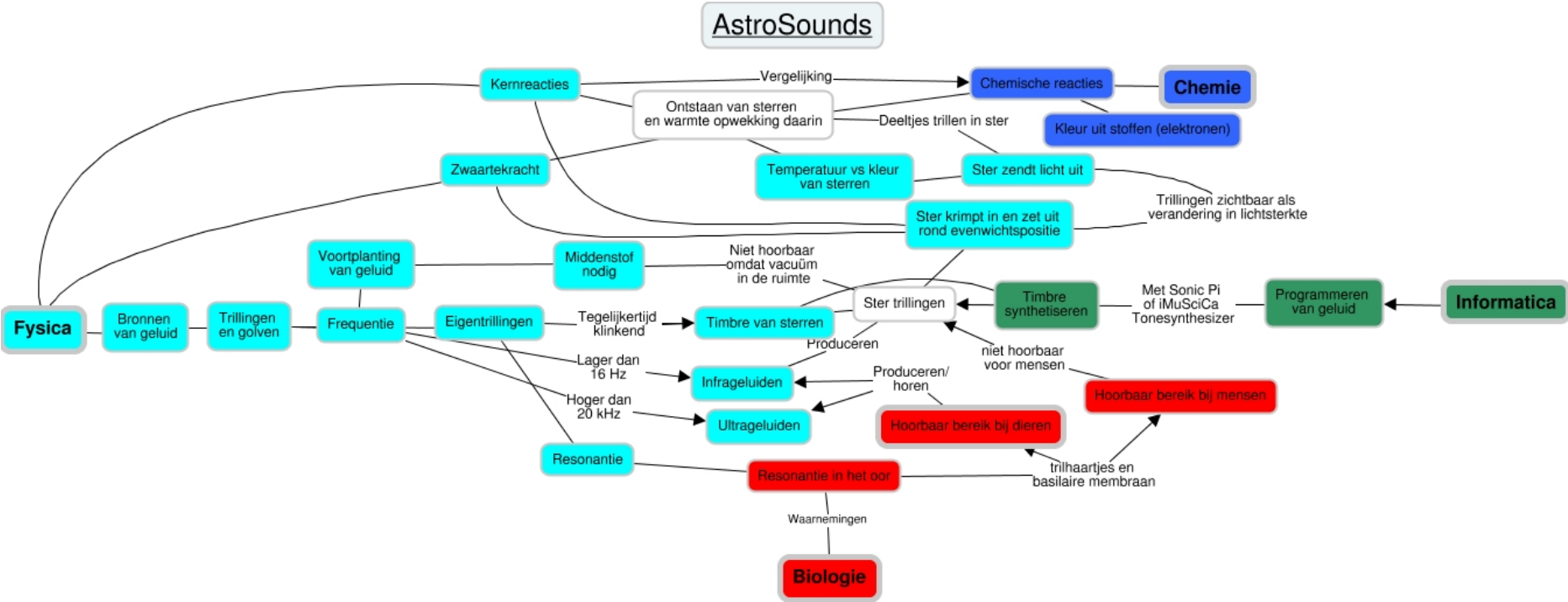
Gebruik de code "C9L6TS".

Formuleer je antwoord op de onderzoeksvraag

Hoe kunnen we stemmen, muziekinstrumenten en zelfs sterren herkennen op basis van hun klankkleur?

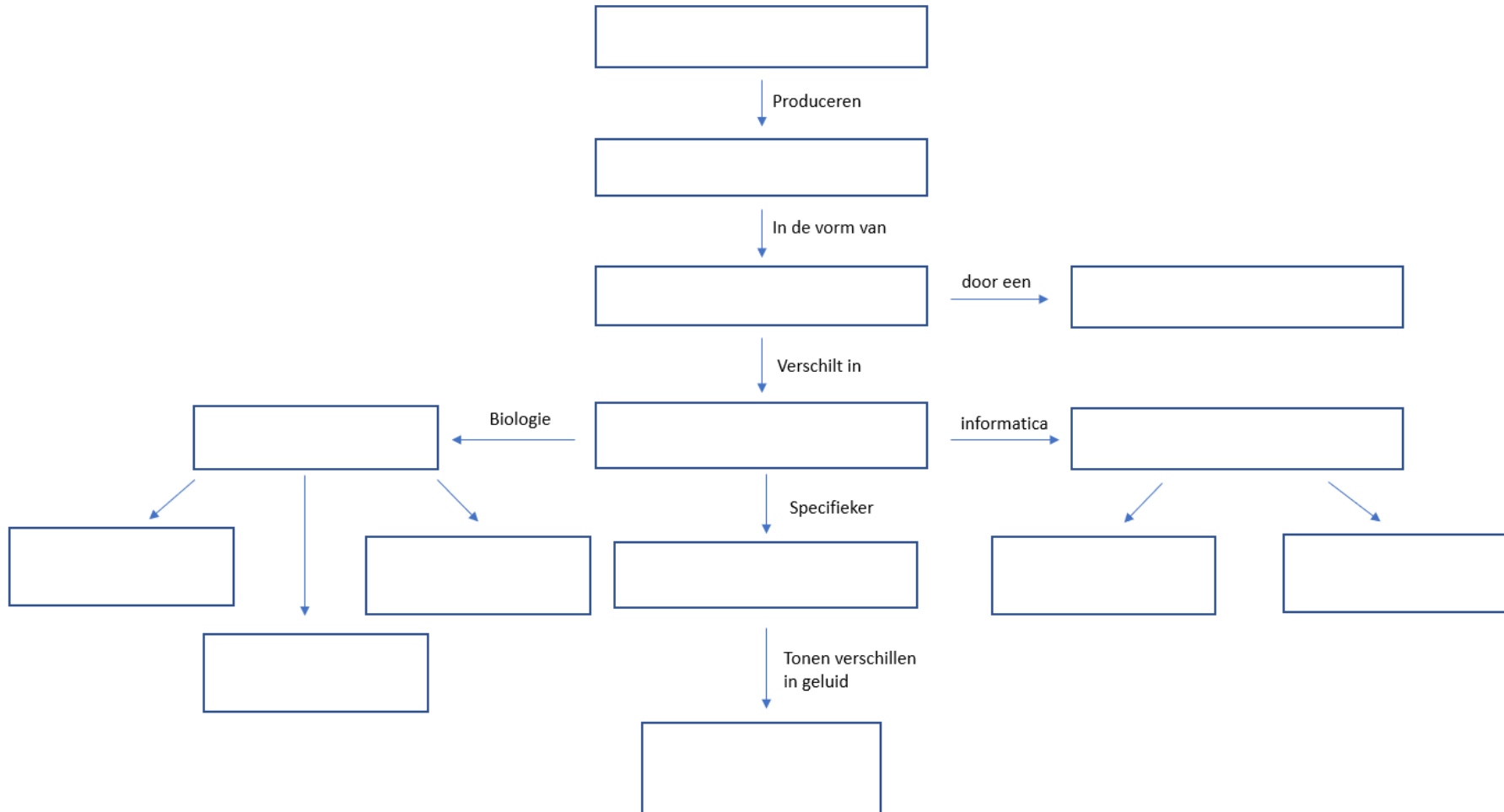


Oplossing conceptenmap

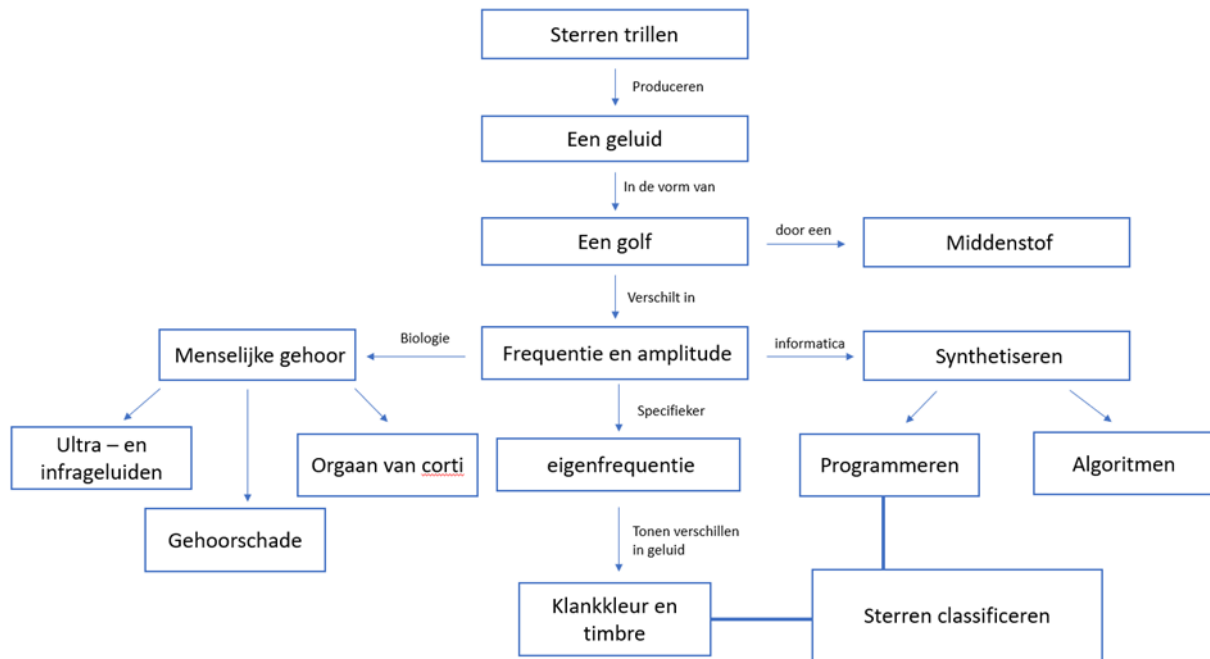


Hieronder een schematisch overzicht van het thema. Gebruik volgende woorden om in te vullen:

Sterren trillen, ultra – en infrageluiden – gehoorschade – synthetiseren – middenstof - sterren classificeren – eigenfrequentie - klankkleur en timbre - frequentie en amplitude - een golf - een geluid - orgaan van corti - menselijk gehoor - programmeren en algoritmen.



Oplossing:



Appendix A: exitcards

Appendix A1

- Leg in enkele zinnen uit wat geluid is.

- Hoe komt het dat wetenschappers weten dat een ster ook geluid maakt?

Appendix A2

- Begrijp je de volgende begrippen en concepten? Duid aan.
 - Geluid kan zich niet voortplanten door een vacuüm
 - Frequentie
 - Amplitude

- In welke eenheid wordt frequentie uitgedrukt? En wat geeft dit weer?

- Wat geeft de amplitude weer?

Appendix A3

- Een grote ster zoals een blauwe zal een hogere/lagere toon hebben dan een kleine witte dwerg ster. Leg ook uit.
- Begrijp je de volgende begrippen en concepten? Duid aan.
 - Sterren trillen (lichtsterkte)
 - Eigenfrequentie
 - Resonantie
 - Invloed van volume op de eigenfrequentie

Appendix A4

- Wat zijn infrageluiden en waarom kunnen mensen deze nooit horen?
- Hoe komt het dat we de infrageluiden van de sterren wel kunnen horen?
 - Het gehoorspectrum van de mens is aangepast om deze te kunnen horen
 - Het basilair membraam resoneert mee met deze lage frequenties
 - We vermenigvuldigen de frequentie van de ster met een factor zodat het binnen ons gehoorspectrum komt te liggen
- Leg uitgebreid uit hoe het komt dat de geluidsgolven in ons oor kunnen opgevangen worden. Welk orgaan speelt hier een rol bij? Hoe komt het dat we een onderscheid kunnen maken tussen hoge en lage tonen?

Appendix A5

- Produceert een instrument altijd enkel één zuivere toon, zijn grondtoon?

- Op welke vlakken kan het timbre van twee instrumenten verschillen?

- Kan je na dit leerstation het timbre van een instrument/ster achterhalen a.d.h.v. de iMuSciCA workbench?

Appendix A6

- Kan je een frequentie programmeren aan de hand van Sonic Pi
 - Ja
 - Neen
 - Ja maar ik heb meer uitleg nodig

- Weet je wat een variabele is en kan je het gebruiken in de oefeningen?
 - Ja
 - Ja maar kan het nog niet toepassen
 - Neen

- Kan je uit een tabel met meetwaardes, frequentie en amplitude, een sterrengeluid nabootsen?
 - Ja
 - Neen
 - Ja maar ik heb meer uitleg nodig

Appendix A7

- Hoe komt het dat sterren energie blijven produceren, welk proces zorgt hier voor? Op welke manier verliest een ster deze energie?

- Welke 2 krachten werken elkaar tegen in een ster zodat deze ster blijft bestaan?
 - Zwaartekracht en wrijvingskracht
 - Zwaartekracht en veerkracht
 - Zwaartekracht en de uitzettingskracht door het warm worden van de ster

- Wat is er nodig zodat de ster trilt? (Denk aan de veer)

Appendix B: QR-codes sterren

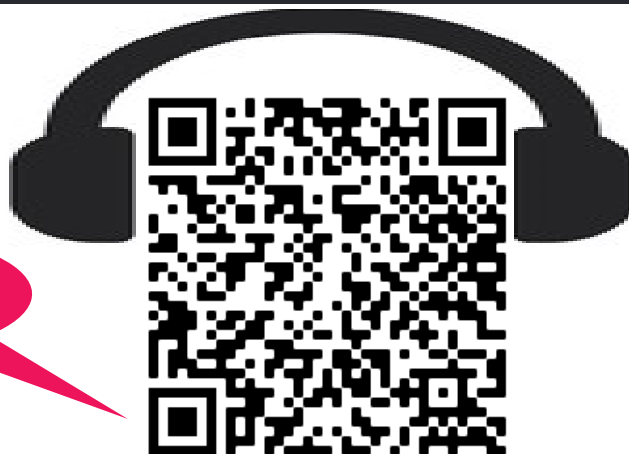
Cepheïde

Ster code: 202064435



Scan mij!

Cepheïde
Beta Doradus



Scan mij!

Cepheide

Ster code: 202064447



Scan mij!

Cepheide

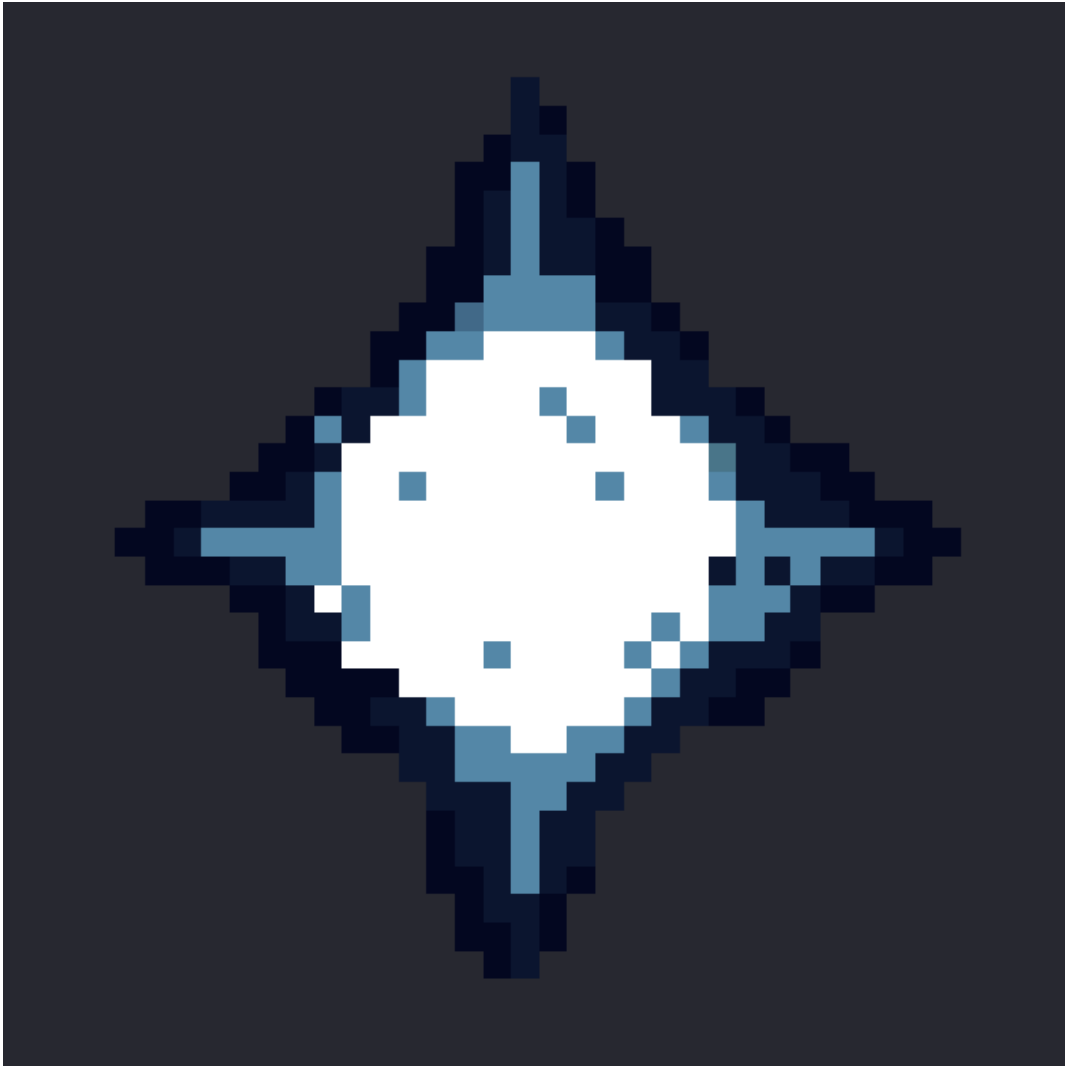
Ster code: EPIC 210622262



Scan mij!

RR Lyrae

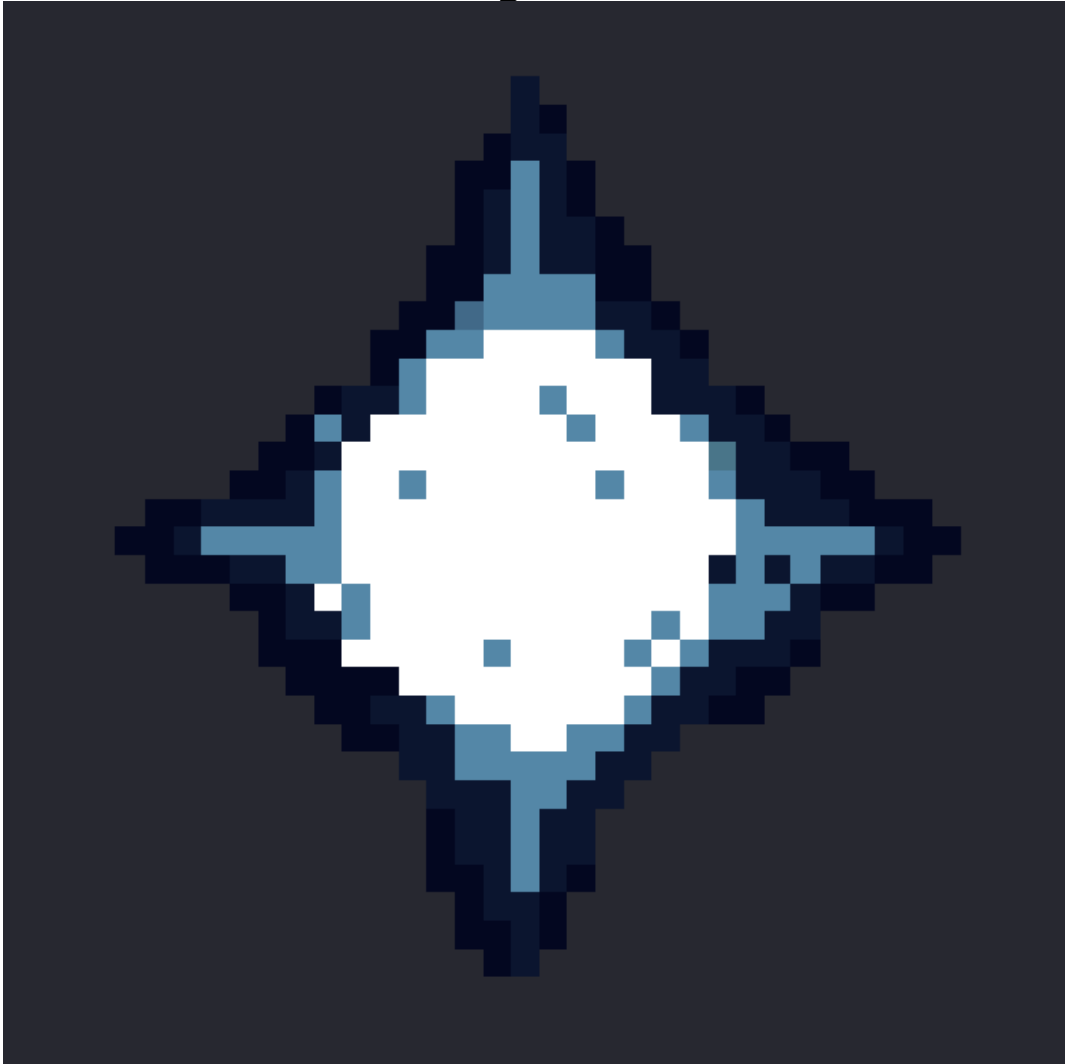
Prototype



Scan mij!

RR Lyrae

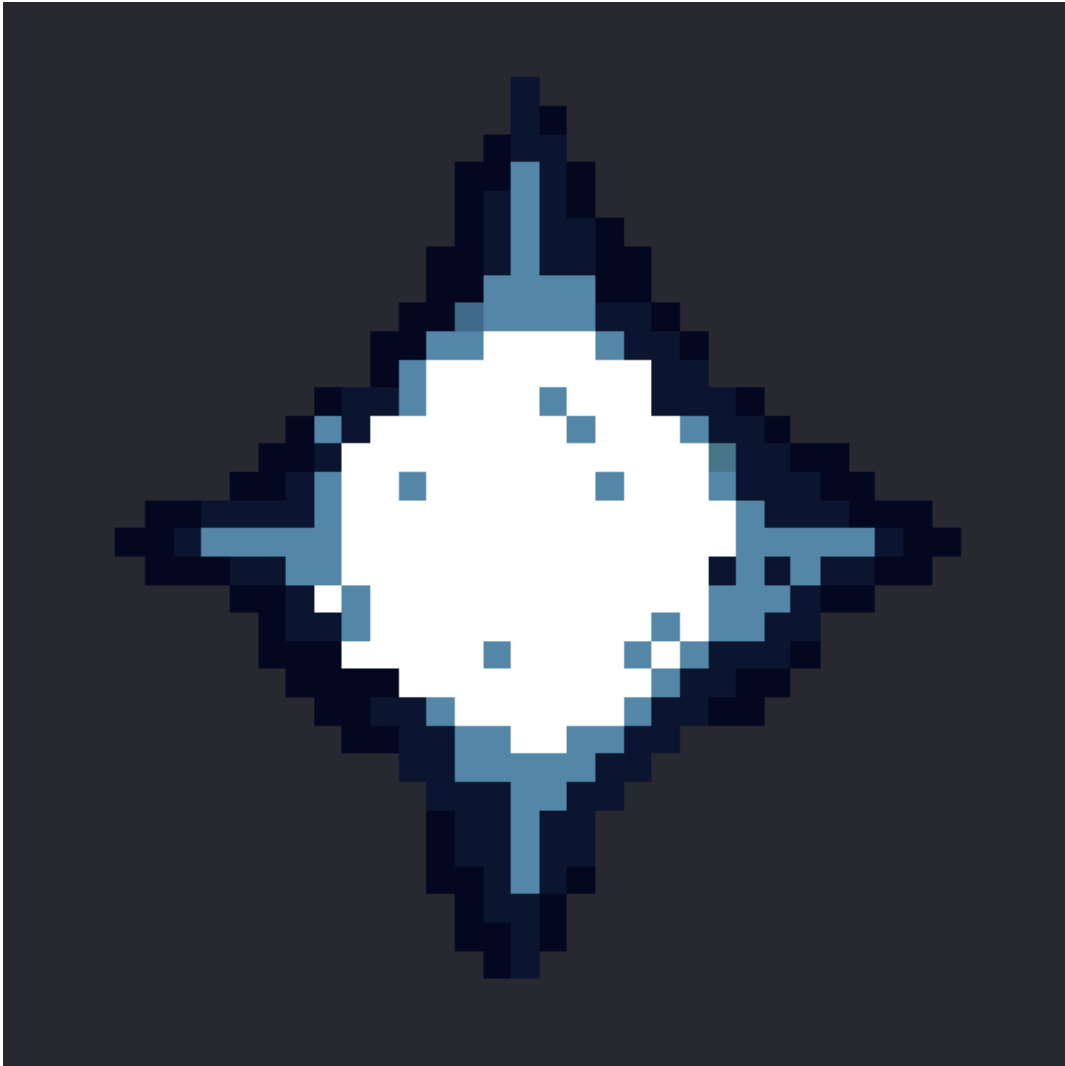
Ster code: kplroo6186029



Scan mij!

RR Lyrae

KQUMA

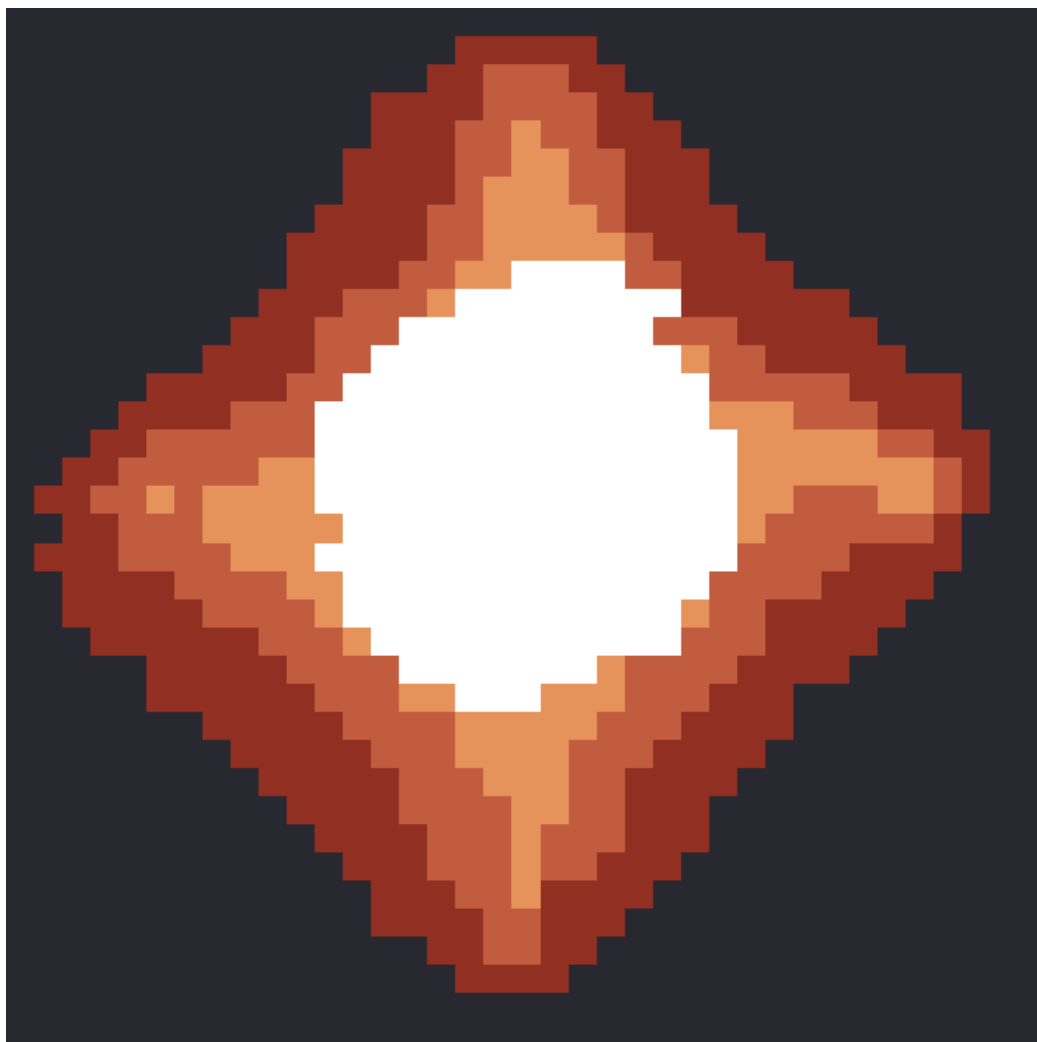


Scan mij!



Zonachtig trillende ster

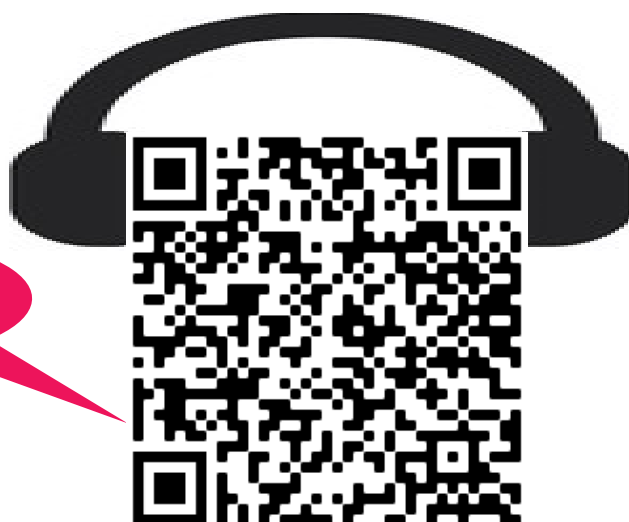
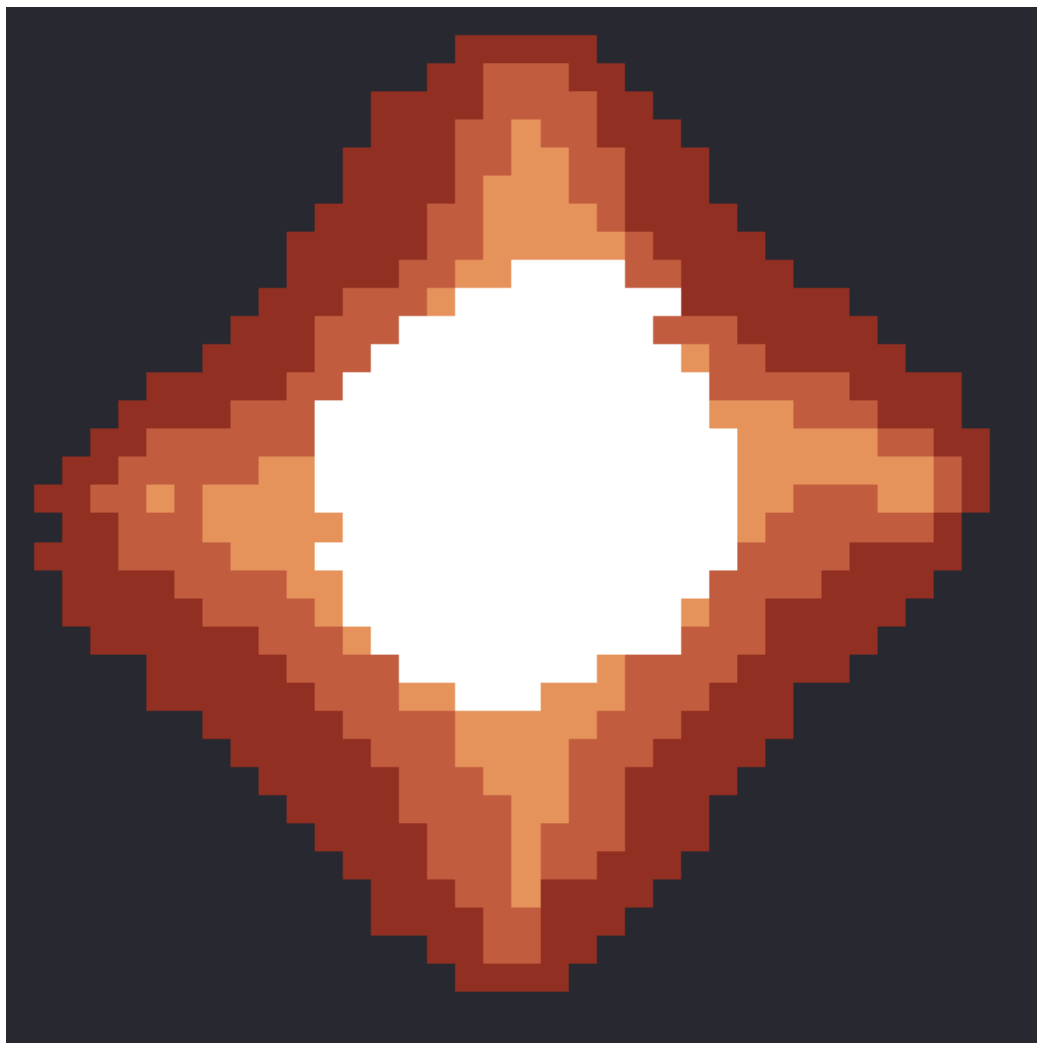
Ster code: KPLR2018392



Scan mij!

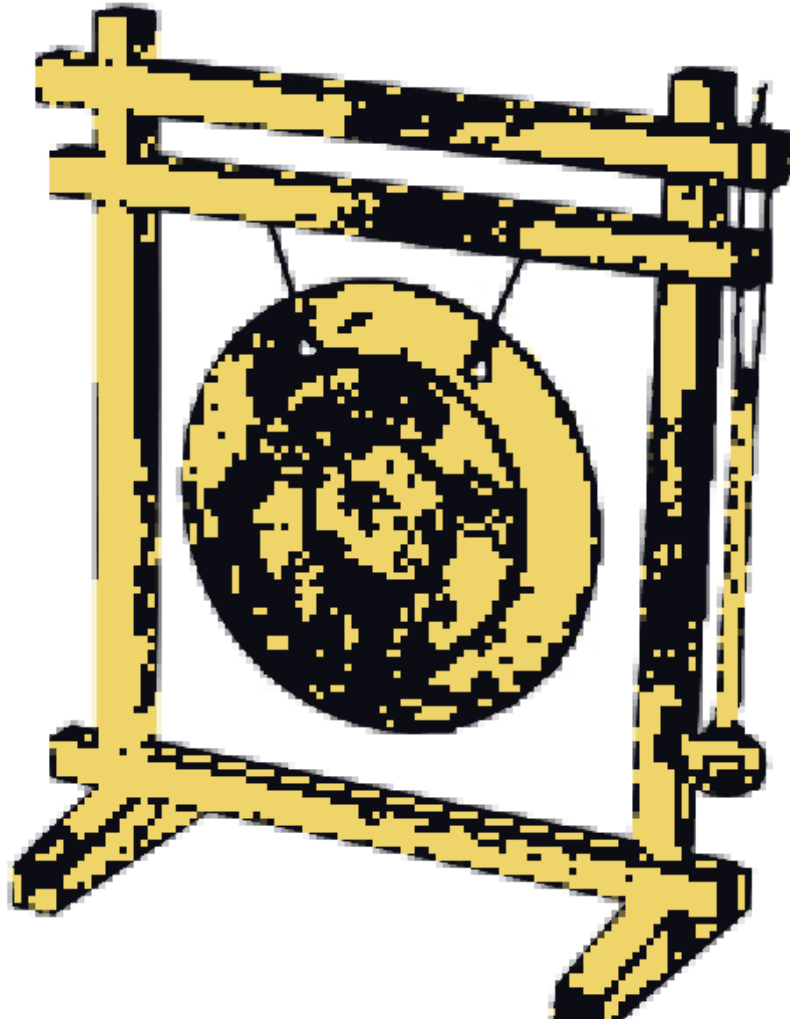
Zonachtig trillende ster

Ster code: KPLRo00757137



Scan mij!

Gong



Scan mij!



Hobo



Scan mij!