

## **Sternenrest**

*(sterren maken geen muziek)*

Bronnen (PDF bestand bij 'Muziek')

Na korte beschrijvingen van asteroseismologie (1), kosmologie (2) en sonologie (3) door Willem Boogman, volgt een overzicht van de bronnen (4) waaruit hij heeft geput bij de ontwikkeling van de muziek. Voor de overzichtelijkheid zijn de bronnen gerubriceerd per onderdeel van de muziek. Het overzicht besluit met enige informatie over Wave Field Synthesis (5).

### **I. Asteroseismologie**

Asteroseismologie, een nog vrij jonge tak van de sterrenkunde, bestudeert ('logie') de trillingen ('seismo') van een ster ('aster'). Op deze manier kan men meer te weten komen over de structuur en de evolutie van sterren.

Uit observaties van sterren in hun verschillende levensfasen was hierover globaal het een en ander bekend, maar reële gegevens over het inwendige van de ster zelf waren tot voor kort niet te krijgen omdat het niet mogelijk is rechtstreeks in het inwendige van een ster te kijken. Asteroseismologen zijn in staat zich een beeld te vormen van wat er zich feitelijk afspeelt in een ster door haar oppervlaktetrillingen te observeren en te bestuderen. De fysische aspecten van deze trillingen komen overeen met die van de geluiden gemaakt door muziekinstrumenten en de menselijke stem. Zoals een sonoloog de vorm en constructie van een muziekinstrument zou kunnen afleiden van het geluid dat zij produceert (en andersom), zo kan de asteroseismoloog uit de door de ster voortgebrachte trillingen haar vorm en constructie afleiden. De wijze waarop een lichaam trilt wordt namelijk geheel bepaald door de eigenschappen van dat lichaam, of het nu een instrument, de stem of een ster is. Asteroseismologie is de enige manier om met grote precisie de inwendige structuur van een ster bloot te leggen.

Waarom trilt een ster? Om een lichaam te laten trillen moet energie omgezet worden in een mechanische beweging. Een ster doet dat ondermeer als volgt. Kernfusie produceert in de sterkern energie die wordt uitgestraald. Deze straling ondervindt weerstand van bepaalde gaslagen in de ster. Op deze plek ontstaat een tijdelijke verhoging van de druk en temperatuur waardoor de ster uitzet. Zodra de tegengehouden energie kan ontsnappen – door de toegenomen hitte verandert de conditie van de gaslaag – verlaagt de druk waardoor de ster weer samentrekt. Deze drukvariatie plant zich vervolgens voort als geluidstrilling door de ster. Geluidstrillingen sterven gewoonlijk uit. En dat gebeurt ook meestal bij sterren. Maar sommige sterren zijn in staat een geluid lang aan te houden zodat de asteroseismoloog het kan detecteren.

Het gaat niet te ver om te beweren dat sommige sterren tonen voortbrengen, al kunnen we die niet horen.

### **2. Kosmologie**

Kosmologen vermoeden het bestaan van geluidsgolven bij het ontstaan van het universum. In beginsel ontstaat dit geluid op dezelfde manier als bij een ster. Geluidsgolven zouden zijn opgewekt door kleine dichtheidsfluctuaties in de oersoep waarin zij trillende sporen trekken. Door de snelle exponentiële uitbreiding van het nog prille heelal werden deze geluidsgolven gigantisch uitgerekt met behoud van hun oorspronkelijke karakteristiek. Deze karakteristiek is terug te vinden als temperatuurverschillen in de kosmische achtergrondstraling, het oudste nog te meten overblijfsel van wat wij de 'oerknal' zijn gaan noemen. Door deze geluidsgolfkarakteristieken te bestuderen kan men meer te weten komen over de fysische structuur van de oerknal. Tevens heeft men ontdekt dat de afdruk die deze geluidsgolven hebben nagelaten in de achtergrondstraling de richels vormen waarop materie samenklontert in de vorm van sterrenstelsels, sterren, planeten, enzovoort, in de verder overwegend lege ruimte. Met andere woorden: de verdeling van materie in de

kosmos is niet willekeurig maar is het gevolg van trillingen in de eerste fase van het ontstaan van het universum.

### 3. Sonologie

Geluid is net als licht een trillingsverschijnsel. We hebben echter voornamelijk een totaalindruk (een 'toon') waarin de trillingspatronen als het ware zijn geïntegreerd. Intieme omgang met geluid, zoals door musici, laat vermoeden dat er een hele microwereld 'onder' deze oppervlakte schuilgaat. Veel verschijnselen die daarop wijzen moeten zelfs hanteerbaar worden gemaakt om goed te kunnen musiceren, zoals stemmingen, boventonen en ruis. Natuur- en wiskunde hebben uiteindelijk deze microwereld in kaart gebracht. Hierdoor zijn we in staat langs elektronische weg, waaronder de computer, de wereld achter de tonen waar te nemen.

Tegenover de microwereld van toontrillingen staat de immense schaal waarop de door asterozeismologen en kosmologen ontdekte geluidsgolven zich manifesteren: hier zijn trillingen en hun eigenschappen zo enorm groot dat we hen niet meer kunnen horen maar alleen nog maar zien! Toch gehoorzamen deze bewegende 'berglandschappen' aan dezelfde geluidsfysische wetten als bijvoorbeeld de stem.

### 4. Bronnen

#### **Sternenrest, part I : *Seeds of Structure***

- Animations: [http://map.gsfc.nasa.gov/m\\_or/m\\_or2.html](http://map.gsfc.nasa.gov/m_or/m_or2.html)
- Ferreira, Pedro G.: *The State of the Universe, A Primer in Modern Cosmology*; London 2006
- Hinshaw, Gary: *WMAP data put cosmic inflation to the test*; May 2006, op <http://physicsweb.org/articles/world/19/5/5>
- *Hoe sterren en planeten ontstaan* (+ animatie) op <http://www.astronomy.nl/tour/7/7binfo.html>
- <http://www.science.uva.nl/onderwijs/wns/onderwijsCD/sterrenkunde/syllabus/jsindex.html>
- Luminet, Jean-Pierre: *A Cosmic Hall of Mirrors*; September 2005, op <http://physicsweb.org/articles/world/18/9/3>
- Nasa website: <http://map.gsfc.nasa.gov/index.html>
- *Shadow of a Large Disc Casts New Light on the Formation of High Mass Stars; Massive Star Observed that Forms through a Rotating Accretion Disc*, op <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2004/pr-12-04.html>
- *Stellar Birthing grounds*, op <http://www.lancs.ac.uk/ug/axfordh/stars.html>

#### **Sternenrest, part II : *GLAS (after the star HD 129929)***

- Aerts, Conny e.a.: "Asterozeismology of HD 129929: Core Overshooting and Nonrigid Rotation" in *Science*, 2003, Vol 300, pp 1926-1928
- Aerts, Conny e.a.: "Asterozeismology of the  $\beta$  Cep star HD 129929" in *Astronomy & Astrophysics* (parts I & II)
- Aerts, Conny: *Kosmische symfonieën*, inaugurale lezing Radboud Universiteit Nijmegen, april 2005
- Aerts, Conny: *Asterozeismologie: ook hier een rol voor amateurs*, op <http://www.kennislink.nl/web/show?id=87943>
- Aerts, Conny: *Asterozeismology of massive stars: a basic introduction*, <http://www.ster.kuleuven.be/research/asteroseism/webasterobis.pdf>
- Burrows, Adam e.a.: *A New Mechanism for Core-Collapse Supernova Explosions* op <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0510687v2>
- Burrows, Adam : homepage, <http://www.astro.princeton.edu/~burrows/>
- Ferreira, Pedro G.: *The State of the Universe, A Primer in Modern Cosmology*; London 2006
- *Geluidsgolven als start van een supernova?* op

<http://www.astroblogs.nl/2006/02/12/geluidsgolven-als-start-van-een-supernova/>  
 — *Helio- and Asteroseismology*, op  
[http://bigcat.ifa.au.dk/helio\\_outreach/english/engrays.html](http://bigcat.ifa.au.dk/helio_outreach/english/engrays.html)  
 — *Images/Animations*: <http://zenith.as.arizona.edu/~burrows/briley/>  
 — Kollath, Zoltan & Keuler, Jenő: *Stellar acoustics as an input for musical composition*, op  
<http://www.konkoly.hu/staff/kollath/stellarmusic/>  
 — Kurtz, D.W.: “Stellar pulsation: an overview” in *Distant Worlds; Communications in Asteroseismology*, Vol. 147, January 2006 Vienna 2006  
 — Naeye, Robert : *Exploding Stars Explained?* (2005), op  
<http://www.skyandtelescope.com/news/3310836.html?showAll=y&c=y>

### **Sternerest, part III : Liminale**

— Burgay, M e.a : *The Double Pulsar System J0737-3039*, op  
<http://sait.oat.ts.astro.it/MSAIS/5/PDF/142.pdf>  
 — Ferreira, Pedro G.: *The State of the Universe, A Primer in Modern Cosmology*; London 2006  
 — *Gamma ray bursts, Gravitationele golven en Magnetohydrodynamica* op  
[http://www.astro.ru.nl/nl/onderz\\_best/gamma\\_dut.html](http://www.astro.ru.nl/nl/onderz_best/gamma_dut.html)  
 — Graham-Smith, Francis and McLaughlin, Maura Ann: “A magnetopause in the double-pulsar binary system” op  
[http://www.ras.org.uk/images/stories/press/Smith\\_Mclaughlin.pdf](http://www.ras.org.uk/images/stories/press/Smith_Mclaughlin.pdf)  
 — McLaughlin, M.A. e.a: *THE DOUBLE PULSAR SYSTEM J0737-3039: MODULATION OF A BY B AT ECLIPSE*, op  
<http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0408297>  
 — *MiniGRAIL, Gravitational Radiation Antenna*, Kamerlingh Onnes Laboratory, Leiden University, The Netherlands, Scholieren Site, op  
<http://www.minigrail.nl/Scholieren/Bronnen-index.html>  
 — *Movies of Pulsars*, op  
<http://www.astron.nl/~stappers/wiki/doku.php?id=resources:movies>  
 — Naeye, Robert: *New Binary Neutron Star Will Test Einstein* (2003) op  
<http://www.skyandtelescope.com/news/3308446.html?page=1&c=y>  
 — Naeye, Robert: *Einstein Passes New Tests* (2005) op  
<http://www.skyandtelescope.com/news/3310106.html?page=1&c=y>  
 — *PSR J0737-3039* op [http://en.wikipedia.org/wiki/PSR\\_J0737-3039](http://en.wikipedia.org/wiki/PSR_J0737-3039)  
 — *Pulsars*, op <http://www.jb.man.ac.uk/research/pulsar/>  
 — *Remnants: Cassiopeia A*, op  
<http://www.spacetelescope.org/images/html/heic0609a.html>  
 — *RIT Study Confirms Supermassive Black Holes Produce Powerful Galaxy-Shaping Winds*, op  
<http://www.rit.edu/news/?r=45880>  
 — *The Sounds of Pulsars*, op  
<http://www.jb.man.ac.uk/~pulsar/Education/Sounds/sounds.html>

### **4. Wave Field Synthesis**

— Instituut voor Sonologie, <http://sonology.org/NL/wfs.html> *Wave Field Synthesis*  
 — Roebroeks, Erwin : *Behold, Here Comes The Music!*, *Muziek voorbij de luidspreker*, in “The 192 Louspeaker experience”, programmaboekje bij de presentatie van WFS van *The Game Of Life* (2006)  
 — Stichting The Game of Life, <http://www.gameoflife.nl/>  
 — Vries, Diemer, de and Boone, Marinus M.: *Wave Field Synthesis and analysis using array technology*, op  
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/6581/17564/00810838.pdf?arnumber=810838>  
 — Vries, Diemer, de and Baan, Jan : *AURALIZATION OF SOUND FIELDS BY WAVE FIELD SYNTHESIS*, op <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Pdf/DeVries.pdf>