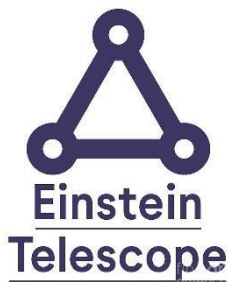


## DOMEIN 3 - TRILLINGSDEMPING



Openstellingstekst

Domein 3: Trillingsdemping

Uitdaging: Ontwikkeling en demonstratie van geavanceerde trillingsisolatiesystemen voor de kern en hulpoptiek van de Einstein Telescope

*Versie 1.0 (8.4.24)*

## **Openstelling Trillingsdemping**

De openstellingstermijn, zoals bedoeld in artikel 8, lid 1 van de R&D regeling technologiedomeinen Einstein Telescope voor het technologiedomein Trillingsdemping loopt vanaf het moment van publicatie van de gewijzigde R&D regeling tot en met 31 mei 2024 om 23:59. Het subsidieplafond, zoals bedoeld in artikel 11, lid 2 van de R&D regeling technologiedomeinen Einstein Telescope bedraagt € 2.750.000,00.

## **Uitwerking technologiedomein Trillingsisolatie**

### **1. Introductie**

Om de waarnemingsgevoeligheid van de Einstein Telescope (ET) te kunnen bereiken, moet het grootste deel van het instrument gemaakt zijn van uiterst nauwkeurige componenten, drastisch geïsoleerd van alle storingsbronnen en in het bijzonder van seismische bewegingen. Alleen op die manier kan ruis dusdanig worden verminderd dat het mogelijk is zwaartekrachtgolven te meten. Binnen dit domein staat de ontwikkeling van geavanceerde trillingsisolatiesystemen voor de kern- en hulpoptiek van de Einstein Telescope centraal. Hieronder staat een nadere toelichting.

### **2. Uitdaging samengevat**

Om aan de eisen voor ET-suspensies te voldoen, zijn nieuwe mechanische ontwerpen/configuraties van seismische isolatoren nodig: de ontwikkeling van verbeterde traagheids- en relatieve verplaatsingssensoren, de implementatie van geavanceerde besturingsmethoden en vooruitgang op het gebied van dataconversie-elektronica met lage frequentie en weinig ruis. Voor ET-Low Frequency (ET-LF) interferometers moeten oplossingen worden bedacht om overvloedige trillingen te verminderen die worden doorgegeven via de mechanische interface tussen de cryokoelers en de cryogene stadia van de spiegelophanging.

### **3. Uitdaging van trillingsisolatie in meer detail**

Grondtrillingen zijn een belangrijke bron van ruis in aan de aarde gebonden laserinterferometer-detectoren voor zwaartekrachtgolven. Omgevingsgeluid van seismische aard, veroorzaakt door natuurlijk microseismiek en menselijke activiteiten, zou verplaatsingen van de optica van de interferometers veroorzaken die tien orden van grootte groter zijn dan het effect dat verwacht wordt van gravitatiegolfsignalen. Om deze reden worden seismische isolatiesystemen gebruikt als mechanische interface tussen de omgeving en de optiek van de detector.

Seismische isolatoren zijn complexe mechatronische systemen die compatibel zijn met ultrahog vacuüm (UHV) en die de volgende hoofdfuncties hebben: langzame grootschalige positionering en uitlijning; onderdrukken van trillingsruis onder de gevoeligheidseisen in de waarnemingsband van de detector (10Hz-10kHz voor interferometers van de huidige generatie zoals LIGO en VIRGO); verminderen van de totale RMS-beweging van elk hangend optisch element, in het bijzonder de bijdragen van veerresonanties en oceanische micro-seismische piek. Deze functies worden bereikt door een actief bestuurd platform van zes vrijheidsgraden te combineren met een keten van passieve mechanische filters, waarvan de laatste fase de

hangende optiek zelf is. Meerdere besturingslagen, op spiegelniveau en stroomopwaarts langs de keten, worden gebruikt om de uitlijning van de detector te regelen op basis van globale (geleverd door de optische sensoren van de interferometer) en lokale (verplaatsingssensoren) foutsignalen. In de Einstein Telescoop stelt de uitbreiding van de waarnemingsband voor zwaartekrachtgolven tot 3 Hz ons voor grote technologische uitdagingen, omdat de prestaties met enkele orden van grootte moeten worden verbeterd ten opzichte van de allernieuwste technieken voor het isoleren van laagfrequente trillingen.

De uitdaging wordt verdeeld in twee thema's:

### **Thema A**

#### **Geavanceerde verplaatsings- en traagheidssensoren met ultralage ruis voor actieve trillingsonderdrukking**

Cruciaal, voor het verminderen van overtollige ruis van koppelingen in de besturing van de globale vrijheidsgraden van de interferometer (longitudinale en angulaire uitlijning), is de onderdrukking van residuele RMS-bewegingen van de hoofdoptiek van de detector tot op nanometerniveau. Deze eis heeft te maken met beperkingen in het dynamische bereik van actuatoren en het vermogen van mechanische filters om een dergelijke door controle veroorzaakte ruis buiten de waarnemingsband van de interferometer te houden. De oplossing voor dit probleem vereist een multilaterale aanpak:

- Reductie van de RMS-beweging van het seismische platform: actieve trillingsisolatie is gebaseerd op terugkoppeling en feed-forward ruisonderdrukking op basis van foutsignalen van versnellingsmeters met hoge resolutie; betere prestaties kunnen worden bereikt door de ontwikkeling van laagfrequente (0,01-1Hz) ultralage ruis inertiële rotatiesensoren om kantelvervuiling uit versnellingsmetersignalen te onderdrukken.
- Vermindering van de RMS-beweging van de keten van mechanische filters: verbeterde demping van de starre lichaamsmodi van de passieve isolatieketen kan worden bereikt met nieuwe geoptimaliseerde mechanische configuraties met lokale controles op basis van relatieve verplaatsingssensoren met ultralage ruis.
- Verbetering van het dynamische bereik van de feedback actuatoren: vermindering van de krachtinvoer moet gepaard gaan met verbetering van de dynamica van de actuatoren, met name die dicht bij de spiegel.

### **Thema B**

#### **Actieve trillingsisolatie en controle-instrumentatie in de cryogene omgeving van ET-LF**

Drie van de zes interferometers van de Einstein Telescoop, de zogenaamde ET-LF's, zullen werken met spiegels die gekoeld zijn tot minder dan 20 K om de prestaties bij lage frequenties te optimaliseren. Dat temperatuurbereik vereist geleidingskoeling, wat betekent dat er een permanente mechanische verbinding (heat-link) tussen de cryokoeler en de laatste stadia van de ophanging, d.w.z. de spiegel en zijn stuurtrap, tot stand moet worden gebracht. Een ideale cryokoeler introduceert geen trillingen die het seismische omgevingsgeluid overschrijden. Dit is op zich echter geen garantie dat de warmteverbinding het restbewegingsniveau van de spiegel niet bederft. De oplossing voor deze complexe uitdaging ligt in de ontwikkeling van thermomechanische verbindingen met zeer lage stijfheid en lage effectieve massa en in de ontwikkeling van actieve trillingsisolatiemethoden, inclusief sensoren en actuatoren, voor de koude kant van de warmteverbinding zelf.

#### 4. Specifieke doelstelling(en) voor dit domein

Binnen dit domein zijn er twee specifieke uitdagingen waarbij de inbreng van het bedrijfsleven is gewenst. Het budget van deze call wordt gelijk verdeeld over beide onderwerpen.

Het beoogde project moet in eerder geval het volgende bevatten:

##### **Thema A - € 1.375.000,00**

- Inertiële rotatiesensoren met ultralage ruis voor actieve kantelisolatie. Om relevant te zijn voor de Einstein Telescope moet het instrument een resolutie bereiken die beter is dan 0,1 nanoradiaal over de gehele frequentieband van 0,01-1Hz, en compatibel zijn met een ultrahoog vacuümomgeving.
- Interferometrische relatieve verplaatsingssensoren met ultralage ruis, compatibel met ultrahoog vacuüm, voor lokale demping van starlichaamtrillingsmodi van de passieve seismische dempingstadi. De sensoren moeten een sub-picometerresolutie bereiken geïntegreerd over de 0.1-10Hz frequentieband.  
-----
- Interferometrische optische verbindingen voor het implementeren van laagfrequente stabilisatie van de relative positie tussen hulpoptica en kernoptica voor ruisonderdrukking door strooilicht. Het systeem moet de afstand kunnen meten tussen objecten die enkele tientallen meters van elkaar verwijderd zijn met een resolutie van één nanometer RMS geïntegreerd over de frequentieband van 0,01-10 Hz.

##### **Thema B - € 1.375.000,00**

- Cryogeen compatibele, hoog compliant, zeer betrouwbare thermomechanische interfaces voor het verbinden van cryokoeler en spiegelophangingstadi in ET-LF. De interface moet een actief trillingsisolatiesysteem bevatten (met sensoren en actuatoren) om de hoeveelheid geïnjecteerd seismisch geluid te verminderen.

#### 5. Gerelateerde projecten

In een aantal gerelateerde projecten is reeds vooronderzoek gedaan naar deze technologie:

- ET Technologies: In dit project werd, met betrekking tot trillingsdemping, gewerkt aan een cryogene compatibele actieve trillingsisolator voor de koude vinger van de cryokoeler in ET-LF; het technologiedemonstratiemodel is gepland om getest te worden in ETpathfinder.
- E-TEST: in dit project is een alternatief ontwerp voor het seismische platform bestudeerd en geïmplementeerd in een prototype op ware grootte. Het systeem bestaat uit een actief isolator met zes vrijheidsgraden die een omgekeerde slingertrap ondersteunt om de demping van de microseismische piek door de oceanen te versterken. De besturing van het systeem maakt gebruik van geavanceerde versnellingsmeters en verplaatsingssensoren op basis van laser interferometrische uitlezing. De isolator ondersteunt een cryogene dubbele slingerlading waarvan de tweede trap een

dummyoptiek van 100 kg is. Het prototype-experiment E-TEST bevindt zich momenteel in het Centre Spatiale de Liege (CSL).

- ERC OmniSense-project: in dit project wordt een seismometer met zes vrijheidsgraden en laserinterferometrische uitlezing ontwikkeld en gedemonstreerd bij de besturing van een actief trillingsisolatieplatform. Er wordt verwacht dat het nieuwe inertiaële detectieconcept aanzienlijke vooruitgang zal brengen in kantelstabilisatie. Het OmniSense-experiment wordt gebouwd op Nikhef, Amsterdam.
- ETpathfinder: deze faciliteit in Maastricht is de belangrijkste R&D-infrastructuur voor de Einstein-telescoop in de EMR Euregio. Het bestaat uit twee complete interferometers, met cryogene kernoptiek, met hetzelfde complexiteitsniveau als een zwaartekrachtgolfdetector. De spiegels worden opgehangen in ultrahoog vacuüm met behulp van ultramoderne technologie; de infrastructuur zal echter het testen van geavanceerde ophangingsregelingen en nieuw ontwikkelde componenten mogelijk maken.