



Samenwerking!

technicians/engineers
→ @ industry
@ academia

funding
policy makers
funding authorities

science community

••• kans op orders afhankelijk van betrokkenheid in de R&D fase!

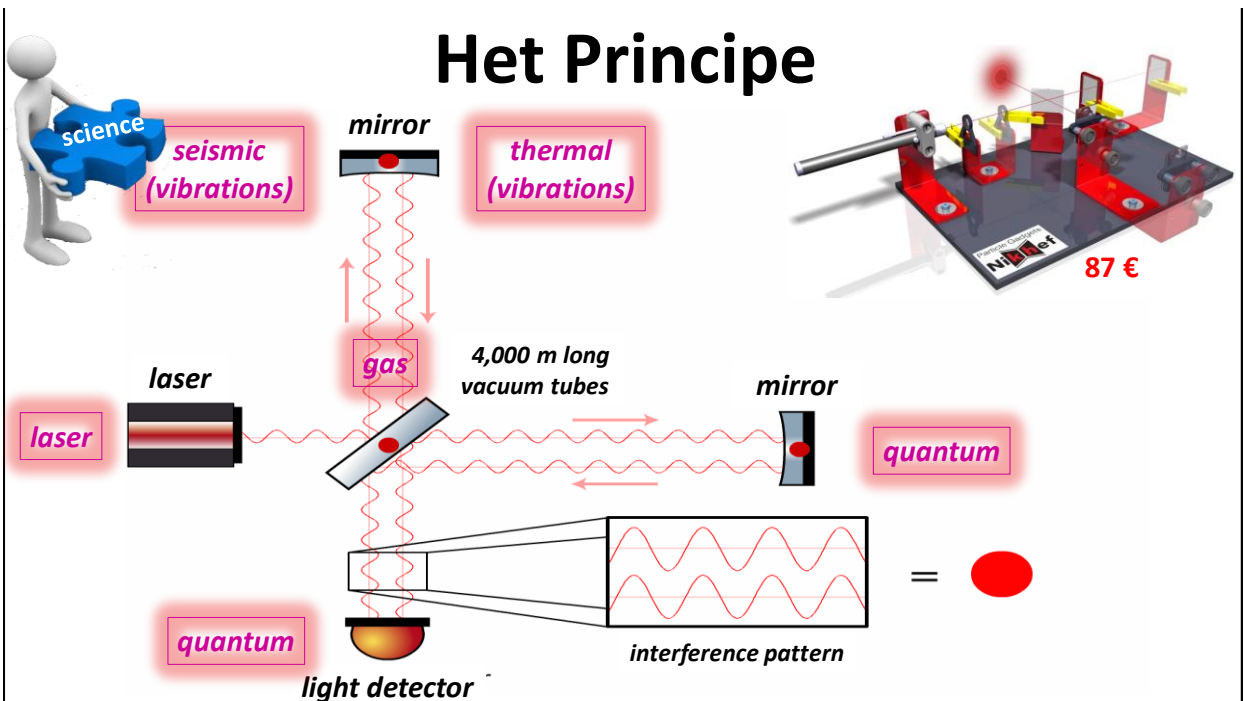
specificaties
ervaring ↑
kostprijs ↓



Preamble: waarom zo enthousiast?

Einstein (1916): voorspelt bestaan zwaartekrachtgolven: rimpelingen in de ruimte-tijd structuur

LVC (2015): 1^e directe meting zwaartekrachtgolven: rimpelingen in de ruimte-tijd structuur



Het Principe

seismic (vibrations)

thermal (vibrations)

mirror

gas

4,000 m long vacuum tubes

mirror

quantum

laser

laser

quantum

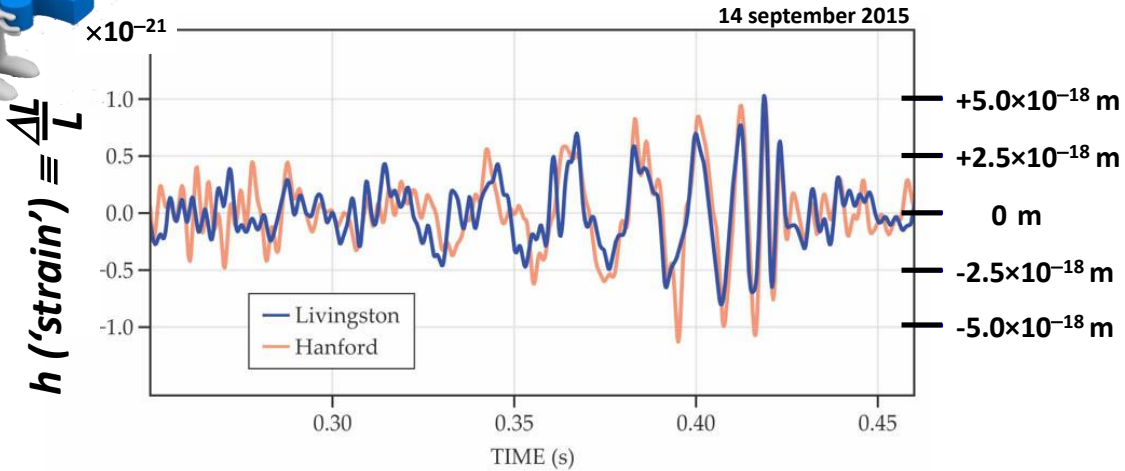
light detector

interference pattern

87 €



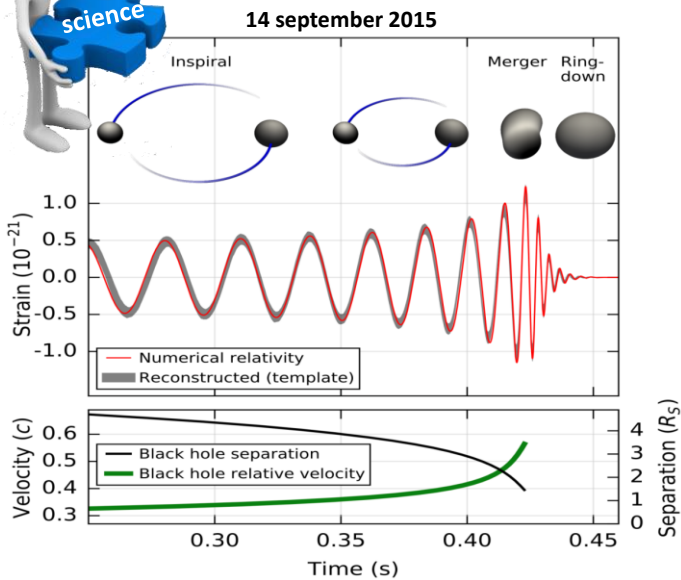
Het vrijwel onmogelijke gemeten!



D
I
S
P
L
A
C
E
M
E
N
T



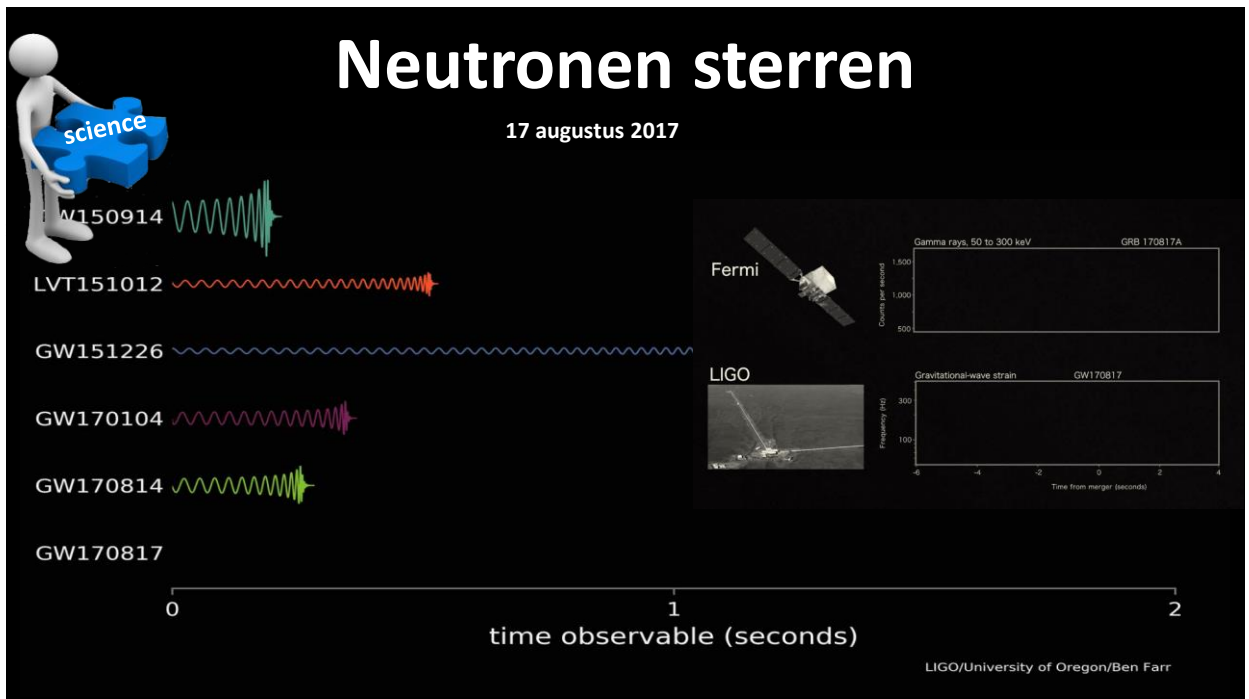
Eerste detectie: zwarte gaten



1,3 miljard jaar geleden
=
1,2 × 10²² km

de details
voor: **29 & 36 M_{Zon}**
na: **62 M_{Zon}**

3 M_{Zon} 'verbrand'
in minder dan 1 s!





Neutronen sterren



Zwaartekrachtsgolven in de Prijzen!

THE  KAVLI PRIZE
2016 Astrophysics Laureates



2017 Physicaprijs 2017

Jo van den Brand wint Physicaprijs 2017



De Physicaprijs 2017 is toegekend aan Jo van den Brand vanwege zijn pioniersrol in Nederland in het zoeken naar zwaartekrachtsgolven en in het bijzonder voor zijn bijdragen aan de revolutionaire eerste directe detectie van een zwaartekrachtsgolf in 2015. Jo van den Brand is werkzaam op het Nihkef in Amsterdam en is als hoogleraar verbonden aan de VU. Van den Brand zal de prijs in ontvangst nemen tijdens het congres FYSICA 2017 dat op vrijdag 7 april plaatsvindt in De Oosterpoort in Groningen (www.fysica.nl). Hij zal dan ook de bijbehorende Physicalezing uitspreken.

Van den Brand is tijdens zijn carrière werkzaam geweest in het hele spectrum van de subatomaire fysica: van de kernfysica, via de (versnellergerelateerde) deeltjesfysica naar de astrodeeltjesfysica waarin hij nu werkzaam is. Hij is niet alleen technisch sterk onderlegd, ook is hij in staat om achterliggende theorieën tot op de bodem uit te spitten. Zijn talenten komen goed van pas in het veld van de directe detectie van zwaartekrachtsgolven, dat een combinatie is van een enorme technologische uitdaging en een zeer breed fundamenteel-fysisch onderzoeksprogramma.

In 2007 werd Jo van den Brand, en daarmee Nihkef, officieel lid van de Virgo-collaboratie die vlakbij Pisa in Italië een laserinterferometer met drie kilometer lange armen heeft om de passage van een zwaartekrachtsgolf te kunnen detecteren. De groep van Jo van den Brand heeft zich een vooraanstaande rol binnen de collaboratie verworven, cruciale onderdelen worden door het Nihkef geleverd. Niet alleen qua instrumentatie speelt de groep van Van den Brand een belangrijke rol, ook is zij sterk in de data-analyse.

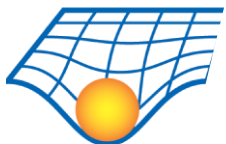


2017 Physics Nobel Prize

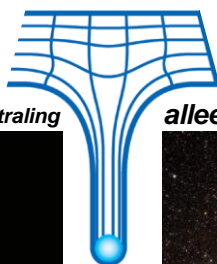
Onderzoekspalet



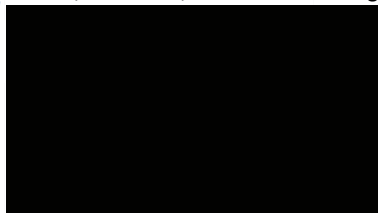
zon



neutronenster



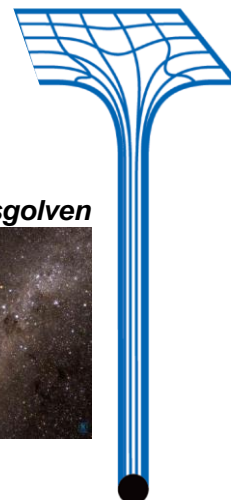
zwaartekrachtsgolven
& licht, neutrinos, kosmische straling



alleen zwaartekrachtsgolven



zwartgat



Fundamentele fysica

Algemene relativiteitstheorie
Zwartegaten
Quantum zwaartekracht

Astrofysica

Neutronensterren
Populaties
Ontstaan binaire systemen
Multi-messenger astrofysica

Kosmologie

Hubble constante (uitdijen van Universum)
Zwaartkrachtsgolven van prille Universum?

Surprises!

Politiek **ET** EINSTEIN TELESCOPE Funding



Nationale Roadmap
Grootschalige
Wetenschappelijke
Infrastructuur



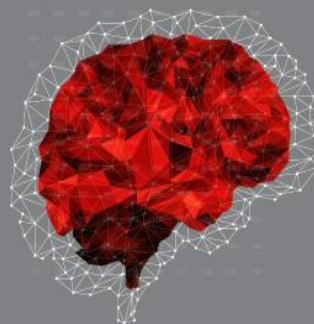
ET 1 out of 33



KNAW-AGENDA
GROOTSCHALIGE
ONDERZOEKSFACILITEITEN

ET 1 out of 13

nationale
wetenschaps
agenda



ET 'game changer'

Consortia in wording: B-D-NL & EU



B-D-NL

MoU met meeste Belgische universiteiten




Europa

Jo van den Brand
Virgo spokesperson

Lol voor Einstein Telescope: nu ~ 400 leden

INVESTERINGEN


100 M€ (Σ afgelopen jaren)
30 M€ (komende upgrades)



Kalender

NL deel funded: 2018 NWO-Groot grant

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	...	2032
Virgo	60-80 run3	upgrade	65-115 run4	upgrade	~250 Mpc run5, run6,	
<i>14,5 M€ (initiële fase, 3-4 jaar)</i>					<i>Funded: 2018 Interreg Vlaanderen/Nederland grant</i>					
ETpathfinder	cleanroom	vacuum & cryo optics & attenuators		● first lock		upgrades and R&D projects			...	
<i>Opportunities: 2018 NWA call (submitted) & Interreg EMR call (to be submitted in 2019) & NWO-Klein ...</i>										
<i>1 G€ (constructie baseline ontwerp)</i>										
Einstein Telescope					ESFRI status				...	
				site decision			construction			... science ...



Industrie (& maatschappij)

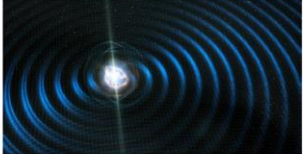
Relevante technologieën

begin oktober 2018 beschikbaar

technopolis group

Vertrouwelijk
Impact assessment of the Einstein Telescope

Final draft report, 12/09/2018



Impact assessment of the Einstein Telescope
Final draft report, 12/09/2018
technopolis group September 2018

Zaak van Barendse
Lianeke Baas
Jensje Oudema
Goert van der Veen

www.technopolis-group.com

- €€ *Tunnels op 200-300 m diepte*
- € *Vacuüm (10^{-9} mbar)*
 - *Cryogeen (125 K? of 10 K?)*
 - *Trillingsdemping*
 - *Optica*
lasers, spiegels, quantum tricks, etc.
 - *Materialen*
substraten, coatings, fused silica, etc.
 - *Sensors*
seismisch, gravity, photodiodes, etc.
 - *Algoritmen & Controls*



De weg naar extreme gevoeligheid

Virgo

I.

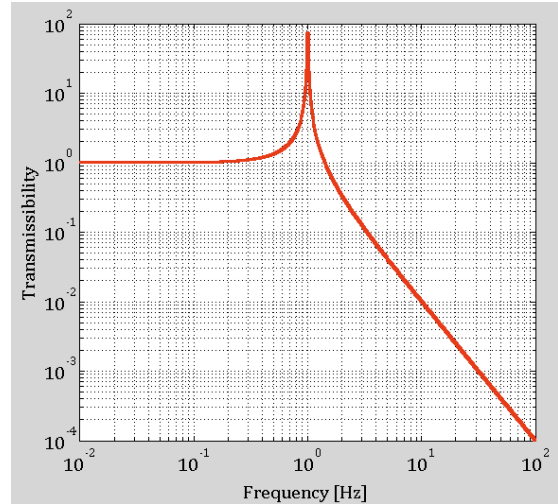
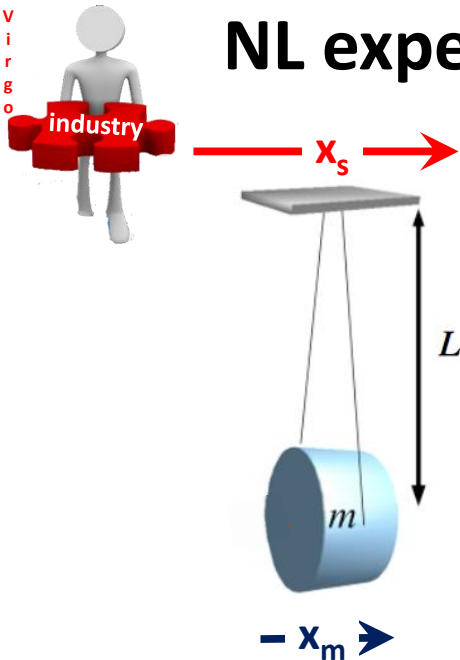
Advanced Virgo+

2018-2024

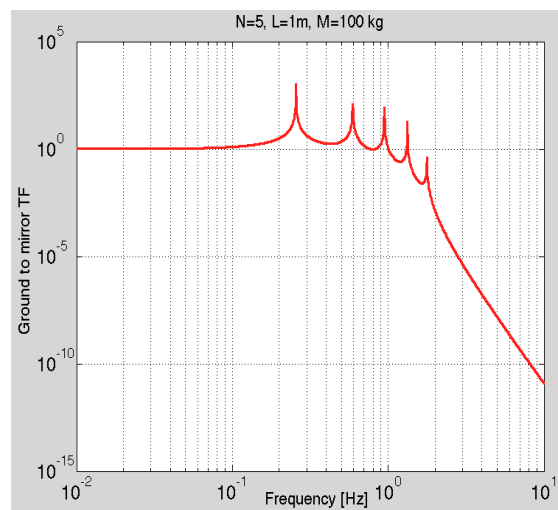
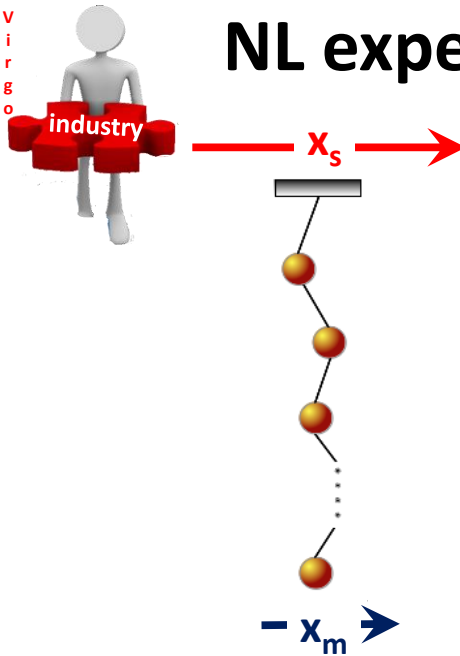


V
i
r
g
o

NL expertise (voorbeeld)

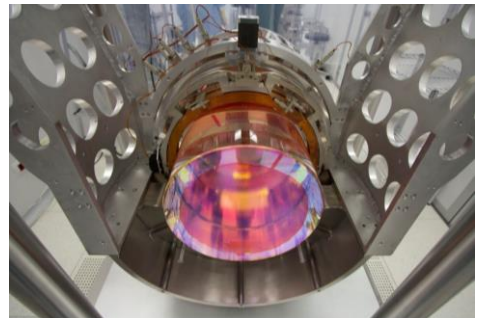
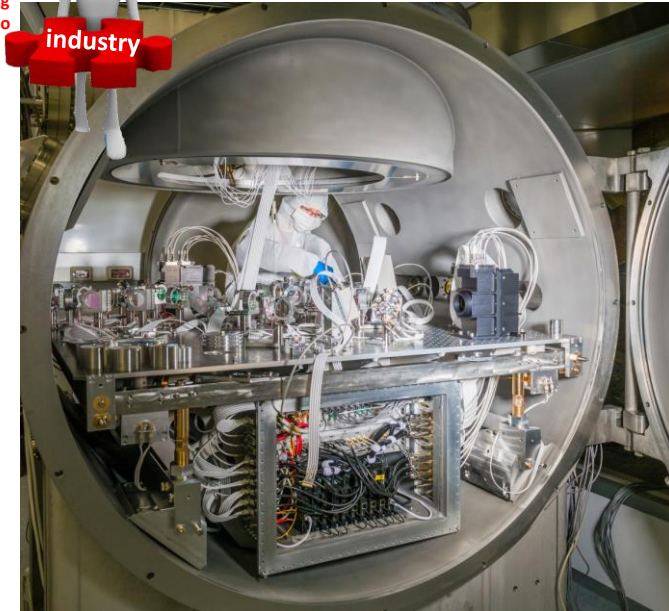
V
i
r
g
o

NL expertise (voorbeeld)

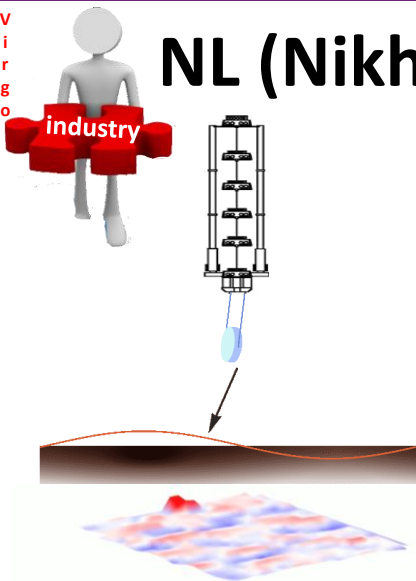


V
i
r
g
o

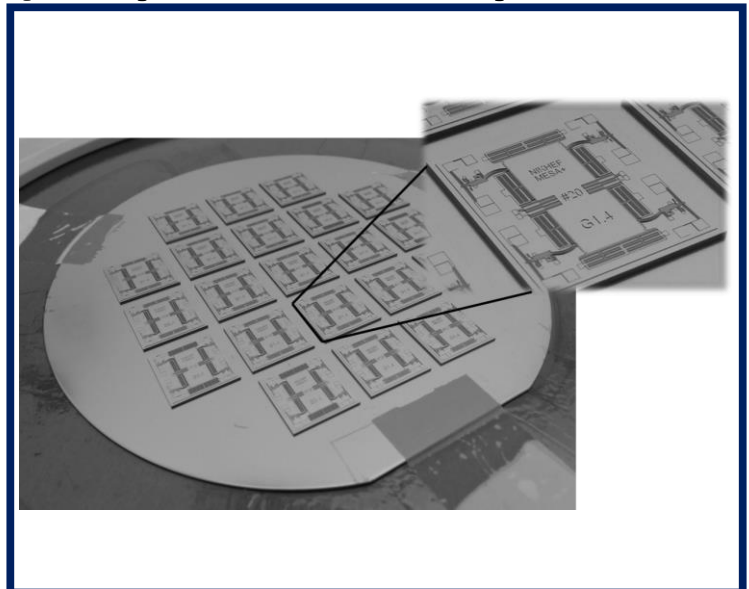
NL expertise (voorbeeld)

V
i
r
g
o

NL (Nikhef) expertise → spin-off



**Niet te onderdrukken:
Newtonian Noise**



Virgo

Focus nu: *tricking quantum noise*

industry

3 kilometer lange arm van Virgo

300 meter lange cavity

frequency dependent squeezer

optica
trillingsdemping
vacuüm

(precisie)
mechanica

Installatie: 2020

ET Pathfinder

ETpathfinder: de R&D facility voor ET

industry

II.

ETpathfinder

2019-2040+

DL NIEUWS REGIO SPORT LIFESTYLE VIDEO NICKY VERSTAPPEN DL

Prototype voor Einstein Telescope gebouwd in Limburg

06-09-2018 om 12:33 door Vikkie Bartholomeus Print

Afbeelding: WAGO

f t in

Het nationaal instituut voor subatomaire fysica Nikhef gaat in Limburg een prototype voor Einstein Telescope bouwen.

De Europese Unie heeft deze week vier miljoen euro beschikbaar gesteld voor het schaalmodel van de reusachtige ondergrondse detector van zwaartekrachtgolven die in het Heuvelland is gepland. Het prototype ET Pathfinder kost in totaal 14,5 miljoen euro en wordt in een hal bovengronds gebouwd.

Initieel focus op: *silicium spiegels*

thermal expansion [K⁻¹]


temperature [K]

thermal expansion

ideaal!

Temperature [K]	Thermal expansion [K ⁻¹]
0	0.0
100	-0.5
150	0.5
200	1.5
300	2.5
400	3.0
500	3.3
600	3.5
700	3.6
750	3.6

ET Pathfinder



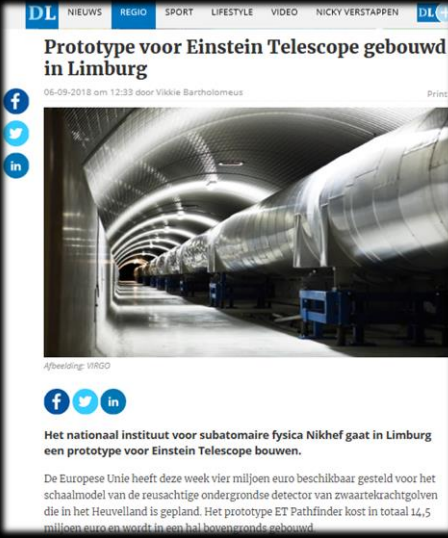
II.

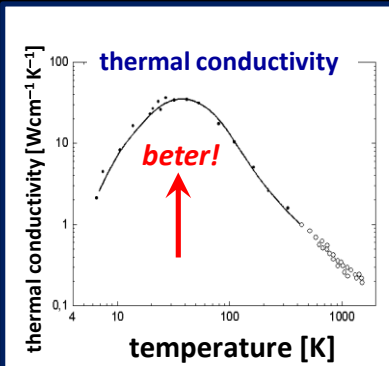
ETpathfinder

2019-2040+

ETpathfinder: de R&D facility voor ET


Initieel focus op:
silicium spiegels





⇒ via 125 K naar 10 K

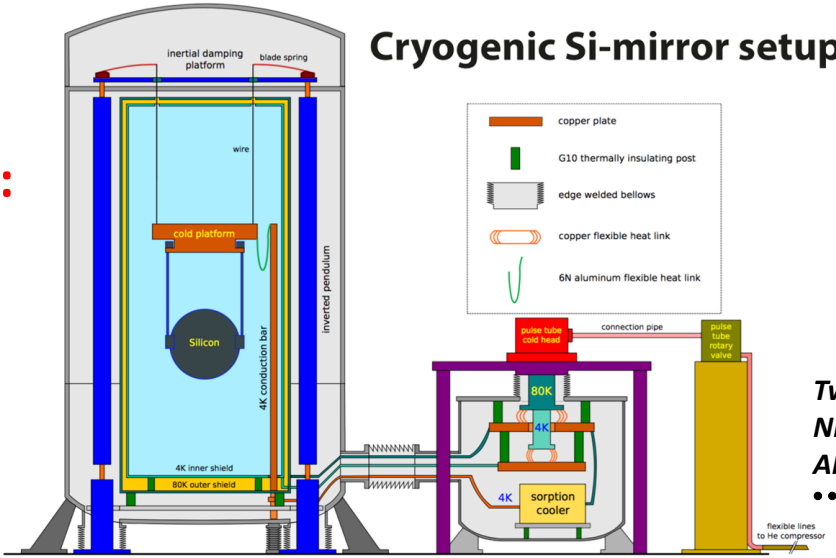
ET Pathfinder



Eerste stap:

ETpathfinder: de R&D facility voor ET

Cryogenic Si-mirror setup



Twente
Nikhef
AMOS
•••

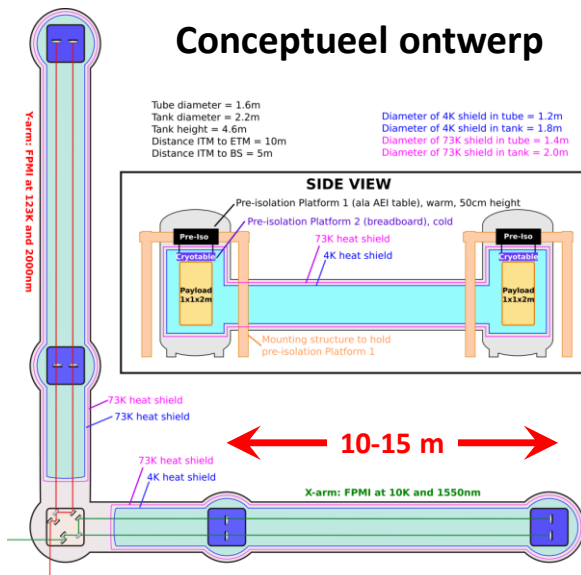
ET pathfinder



ETpathfinder: de R&D facility voor ET

Fase 1:

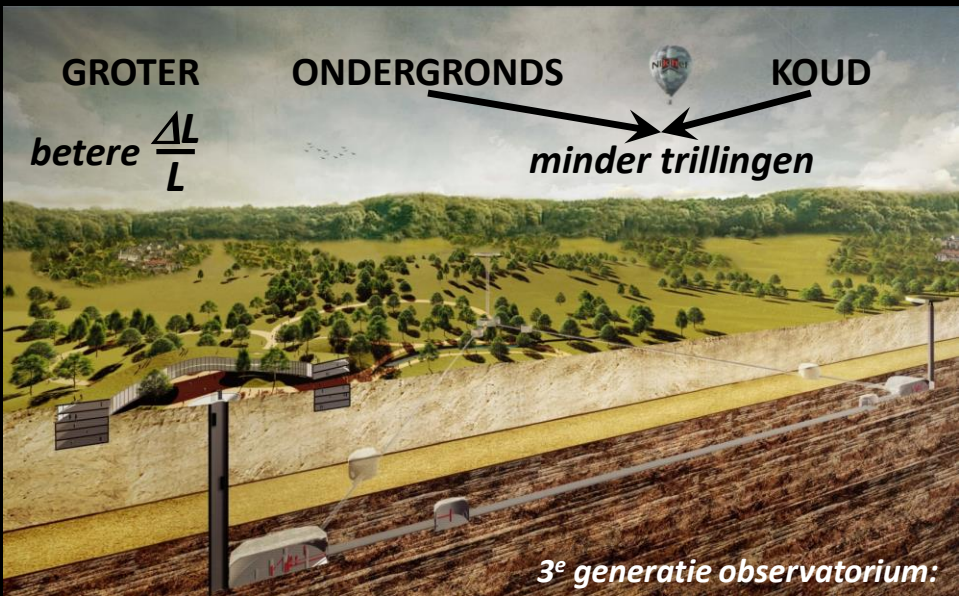
- grote/hoge cleanroom
- 125 K interferometer
- 10 K interferometer
- trillingsdempers
- cryogenics
- optics: laser, spiegels, ...
- controls (lang project)!



ET pathfinder



ET 10× beter ⇒ 10³× meer + SURPRISE!



III.

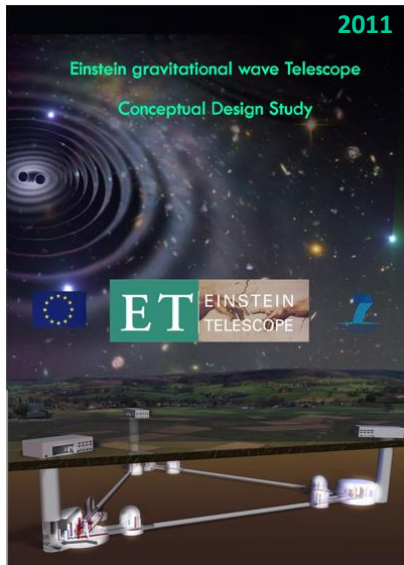
Einstein Telescope

<2011-2075?

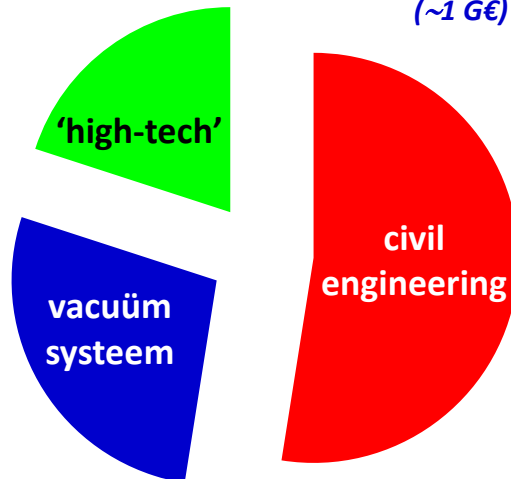
ET partner finder



ET 10× beter ⇒ 10³× meer + SURPRISE!



ruwe indicatie kostenverdeling (~1 G€)



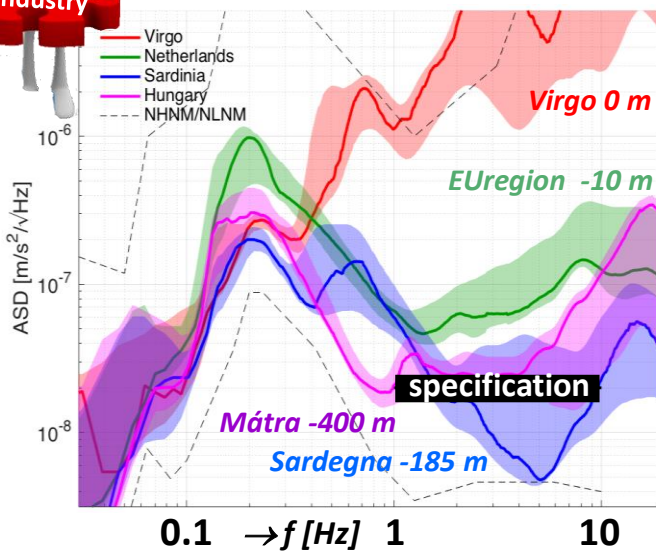
vereist update

work in progress

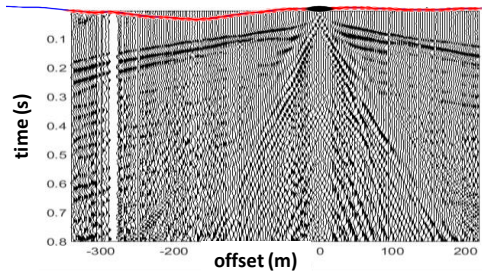
ET partner finder



ET 10× beter ⇒ 10³× meer + SURPRISE!



site qualificatie





ET 10× beter \Rightarrow $10^3 \times$ meer + **SURPRISE!**



civiele techniek

Tunnel HSL Liège–Aachen

(in volume vergelijkbaar met ET)

The bored section is 5,940 metres (6,500 yd), extended by covered sections of respectively 177 and 388 m. Dozens of geological layers of differing hardness had to be tunneled through, lime layers needing to be blasted through with dynamite. The tunnel reaches a depth of 127 m in some areas; it has an average ramp height of 1.7%, with a maximum of 2% at the entrance in Soumagne.

Dimensions:

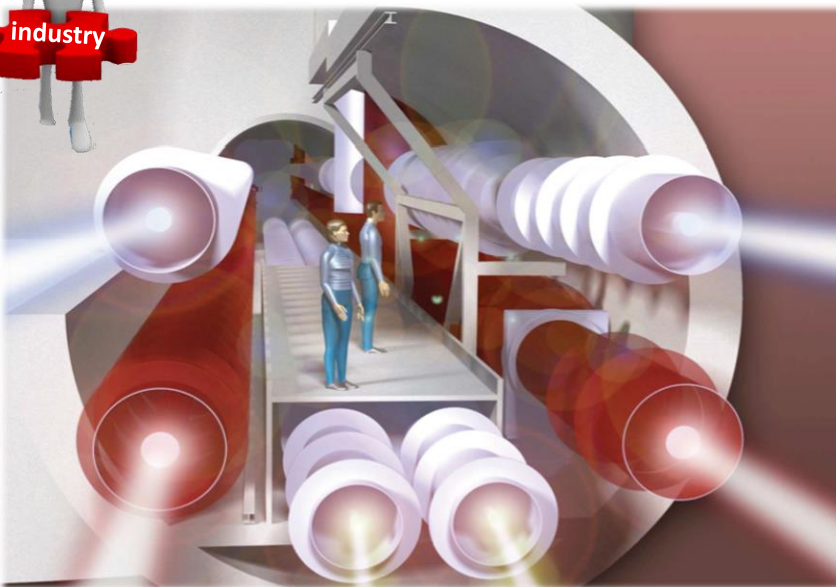
Length 5,94 km
Area 69 m²

Excavation:

Tunnel 670,000 m³
Concrete 210,000 m³
proofing 140,000 m³



ET 10× beter \Rightarrow $10^3 \times$ meer + **SURPRISE!**



vacuüm systeem

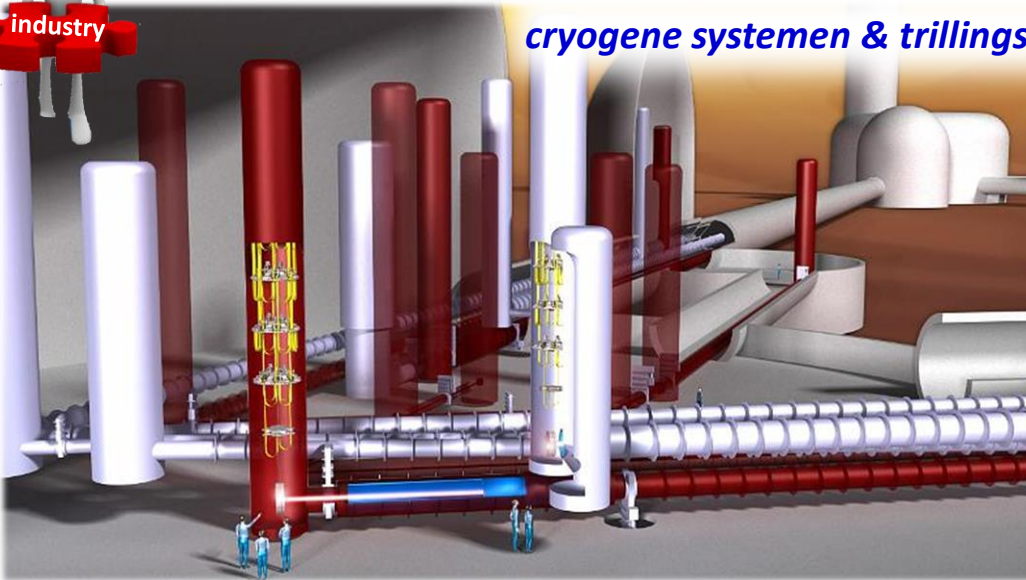
**enorme uitdaging
kosten & logistiek
(60+ km 'pijp')**

- RVS (binnenkant)
- Kans op R&D met LIGO-India
- Tata Steel?
- Kleppen?
- Cryotrap(s)?
- Pompen?
- ...

E
T
p
a
t
i
n
d
e
r



ET 10× beter ⇒ 10³× meer + SURPRISE!



cryogene systemen & trillingsdempers

extrem veel mechanica
momenteel komt veel uit Italië...

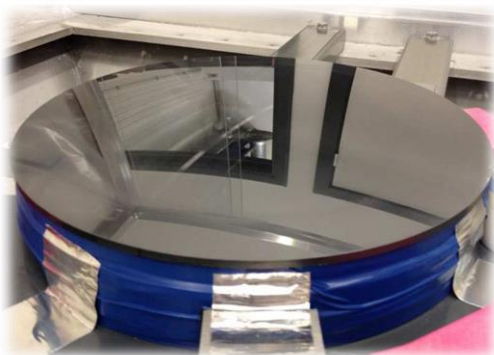
E
T
p
a
t
i
n
d
e
r



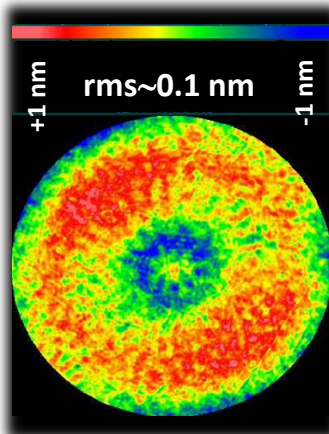
ET 10× beter ⇒ 10³× meer + SURPRISE!

**silicium
spiegels**
+ veel meer

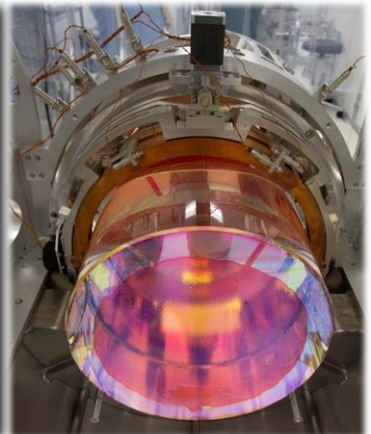
optica



polijsten



3D metrologie



coatings

Nieuwe technologieën/business kansen?

Uniek:

niemand anders meet 0,000000000000000001 meter variaties

Unieke combinatie: optica, mechanica, controls, analysis code + talent

Spin-off (soms speculatie maar ongetwijfeld meer):

- *Seismische sensoren (NL)*
- *Accelerometers (speculatief zowel in NL als in UK)*
- *Artefacts/noise analyses (algoritmes) → quality assurance (UK)*
- *M.b.v. nm-schaal trillingen volwassen stamcellen → botcellen (UK)*
- *Spiegel coatings (speculatief •••)*

Knowledge base:

Kleine 2000 wetenschappers wereldwijd – zeer breed technologie palet

Zwaartekrachtsgolven in de media

