

De tre satellitter er forbundet af laserstråler. Der er 2,5 millioner kilometer imellem dem.

Illustration: © University of Florida / Simon Barke

LISA ■ En rumdetektor med over to millioner kilometer lange arme.

Er astrofysikerne blevet vanvittige? Nej, de vil bare virkelig gerne måle gravitationsbølger.

En detektor større end Solen

GUNVER LYSTBÆK VESTERGÅRD

Månen er lidt over 380.000 kilometer væk og Solen godt 150 millioner. Det er de afstande, vi skal jonglere med, når vi taler om den futuristiske rumdetektor LISA. Dens arme bliver 2,5 millioner kilometer lange, og den skal placeres i samme afstand til Jorden, som der er, når Mars er tættest på.

Derude i det stille, kolde kosmos vil tre satellitter svæve. De vil blive forbundet til hinanden via laserstråler, og tilsammen får vi en trekant så stor, at det vil tage lyset godt otte sekunder at rejse fra den ene til den anden ende. Men det er ikke det mest imponerende ved instrumentet.

LISA er et akronym for Laser Interferometer Space Antenna, og den skal måle gravitationsbølger, små skvulp i selve rummet. Inden i satellitterne lurepasser små guldterninger som surfere i vandet. Skyller en gravitationsbølge ind over dem, rider de på den, og laserstrålerne registrerer, at de har flyttet sig – blot en milliardtedel af en millimeter.

Projektet lyder som strøtanker i hovedet på astrofysikere med storhedsvanvid, men i januar godkendte det europæiske rumagentur, ESA,

denne gyldne trekant til 13 milliarder kroner, og ESA og NASA sætter i samarbejde byggeriet i gang i 2025.

Planen er, at LISA skal pakkes ned i en af verdens største raketter, Ariane 6 (som godt nok ikke har haft sin jomfrurejse endnu) og skydes ud i rummet i 2035.

»Gravitationsbølger åbner et nyt vindue til vores univers. Det er helt vildt, hvad der sker lige nu,« siger professor i astrofysik Thomas Tauris fra Aalborg Universitet, der er en af hovedforfatterne til et 300 sider langt dokument, der overbeviste ESAs top om at søsætte LISA.

Gravitationsbølger er en ny sans for astronomerne. Med dem kan de studere de største og voldsomste objekter i universet som supernovaeksplosioner, kollisioner mellem sorte huller og måske selveste Big Bang. Er LISA-forskerne ekstra heldige, kommer de også til at drille Albert Einstein.

Instrumentets rejse begyndte med et pudsigt radiosignal for 50 år siden.

3,5 METER

Den amerikanske studerende Russell Hulse var af sin vejleder Joseph Taylor blevet sendt ned til Arecibo-teleskopet i Puerto Rico for at lede efter snurrende neutronstjerner kaldet pulsarer.

Neutronstjerner er stjerner næsten kun bestående af tætpackede neutroner. De har typisk en masse lidt større end Solens, men er klemt

inde på et område mindre end København.

Hulse var godt frustreret, da han hen over sommeren 1974 ikke kunne få målingerne af en pulsar til at passe.

»Der var ikke noget Eureka – mere 'for hulen da, hvad er der galt?'« har han senere beskrevet.

Pulsaren viste sig ikke at være én, men to neutronstjerner klos op ad hinanden, og nu gibbede det i de fysikere, som var eksperter i Einsteins generelle relativitetsteori, for med sådan en binær pulsar kunne de teste teorien om gravitationsbølger.

Albert Einstein foreslog dem i 1916, fortrød 20 år senere for til sidst at ombestemme sig igen. Einsteins rationale var, at hvis tyngdekraften i virkeligheden opstår, fordi store, tunge objekter laver »buler« i rumtiden, som andre objekter falder ned i, så må hele rummet komme til at gynges, hvis noget asymmetrisk giver sig til at snurre rundt.

Tænk på en amerikansk fodbold. Stiller man den på højkant og snurrer den rundt, er dens masse symmetrisk omkring sin omdrejningsakse. Men lægger man den ned, sker der ting og sager. En snurrende, vandret amerikansk fodbold er ikke symmetrisk omkring omdrejningsaksen, og dens ujævne massefordeling

med buler i hver sin ende kan skabe ravage i selve rummet – hvis den er tung nok.

Nu er neutronstjerner jo ikke formet som amerikanske fodbolde, men det er de næsten, hvis der er to af dem tæt på hinanden, og når de tramper rundt kraftigere og hurtigere, sker fænomenet. Gulvet gynger.

Der skal meget lidt asymmetri til, før der opstår gravitationsbølger. Et »bjerg« på en millimeters højde på en ellers glat pulsars overflade er nok. Når disse pulsarer med selv mikroskopiske bjerge bliver svære at finde, siger det noget om, hvor ekstremt blankpolerede pulsarer normalt er.

Tilbage til de to neutronstjerner fra 1974. Hvis de udsendte gravitationsbølger, ville de komme tættere og tættere på hinanden – tre en halv meter om året mere nøjagtigt.

Det var netop, hvad Arecibo-teleskopet målte, og så var der en nobelpris på vej til Hulse og Taylor.

Men gravitationsbølger var stadig ikke direkte observeret, så straks gik eksperimentalistene i gang med at udtænke en detektor, som kunne måle dem »rigtigt«. Ideerne blev til LIGO, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory i USA, som i 2016 målte gravitationsbølger fra to sorte huller, der åd hinanden. LIGOs fædre blev naturligvis også belønnet med en nobelpris.

Kun når gravitationsbølgerne får rummet til at ryste som et voldsomt jordskælv, lige når



Det her er højteknologi, ingen har lavet før.

ALLAN HORNSTRUP
Astrofysiker

kollisionen mellem to tunge objekter sker, kan LIGO og de få andre gravitationsbølgedetektorer på Jorden dog måle dem. De fanger for tiden et dusin af dem om måneden.

»Så var der heldigvis også nogle fremsynde astrofysikere, der allerede i 1980'erne tænkte, om vi ikke skulle prøve at måle de lavfrekvente gravitationsbølger, som de her binære systemer udsender i millioner af år før selve kollisionen,« siger Tauris. »Det vil sige den tid, hvor systemet bare står og brummer i vores galaktiske baghave.«

Neutronstjerneerne fra 1974-opdagelsen vil for eksempel først støde sammen om 301 million år. I al den tid vil de udsende lavfrekvente gravitationsbølger, men de er så sagte, at de på Jorden forsvinder i baggrundsstøj.

»Når du har noget, der sådan set bare står på gulvet, vil der være biler, mennesker, seismisk aktivitet og sågar lettende fly, som vil få instrumentet til at ryste en smule,« siger ESAs Nora Lützgendorf, der leder LISA-projektets videnskabelige gruppe.

Ude i rummet er der til gengæld masser af fred og ro, så den sidste million år før kollisionen kan LISA begynde at måle 1974-neutronstjerneerne.

TERNINGSPILLET

LISA-missionen blev foreslået første gang i 1993. Dengang var drømmen fem millioner kilometer lange arme, men det blev alligevel for ambitiøst.

Tyske Karsten Danzmann fra Max Planck-institutet i Hanover stod sammen med en mindre gruppe bag forslaget. Han udtalte for et par måneder siden til Scientific American, at folk for 31 år siden mente, projektet var tabeligt. »Men jeg sagde 'bare vent'.«

Aldrig har vi lavet noget, der teknologisk kommer i nærheden af LISA.

Guldterningerne skal svæve frit inden i satellitterne i et totalt tomrum beskyttet mod alle tænkelige forstyrrelser.

»Da vi lavede den første model, var vi nødt til at bede folk om at forlade lokalet, fordi bare deres kropsvarme påvirkede opstillingen,« siger Allan Hornstrup, der er leder af astrogruppen ved DTU Space. Gruppen skal hjælpe med at bygge den elektronik i satellitterne, som måler, om guldterningerne har flyttet sig og dermed er blevet påvirket af en gravitationsbølge.

»Den største udfordring har helt klart været stabiliteten. Der er to terninger i hver satellit og laserstråler på kryds og tværs, så det er noget af et cirkus,« siger Hornstrup.

I 2015 sendte ESA testmissionen LISA Pathfinder op med én satellit og to guldterninger. Det lykkedes at holde elektronikken så stabil, at afstandspræcisionen var fem gange bedre end forventet.

»Det her er højteknologi, ingen har lavet før. Vi skal bruge de nyeste metoder inden for højhastighedselektronik, men samtidig bruge materialer, som kan tåle at komme i rummet,« siger Hornstrup om udfordringen.

KANNIBALER OG SORTE HULLER

Hvad er det så, der gemmer sig derude, som både USA, Europa og også Kina (kun kineserne ved, hvor langt de er, men de har også planer om en LISA-lignende rumdetektor) er så ivrige efter at se?

Al tidligere astronomi har stort set kun været baseret på lys – synligt lys, infrarødt lys, uv-lys, røntgen og radiobølger. Det er en informationsrig, men endimensionel kilde. Sorte huller og neutronstjerner lyser oftest ikke og er derfor gemt i mørket. Medmindre vi kan observere deres gravitationsbølger, og her er der basis for nogle gedigne overraskelser.

»Det ville være helt fantastisk morsomt, hvis

vi opdagede to neutronstjerner eller endda to sorte huller relativt tæt på vores solsystem,« siger Aalborgs Thomas Tauris, der fortæller, at ud over eksotiske naboer hungre astrofysikerne især efter gravitationsbølger fra lokale supernovaeksplosioner og fra to supertunge kolliderende sorte huller i galaksers centrum.

I den kvantitative afdeling er det stort set garanteret, at LISA dagligt vil se binære hvide dværge. Hvide dværge er døde stjerner, der ikke var store nok til at blive reinkarneret som neutronstjerner eller sorte huller. Alle kombinationer af hvide dværge, neutronstjerner og sorte huller er mulige LISA-fund: to hvide dværge, en hvid dværg og en neutronstjerne, en hvid dværg og et sort hul, en neutronstjerne og et sort hul og så videre. Måske den også finder et binært system, som er så tæt på at kolliderer, at forskerne kan varsle kollegerne hos LIGO om, at de skal holde sig klar.

»Vi regner med at kunne forudsige en kollision med et par timers nøjagtighed,« siger Tauris.

Er de ekstra heldige med deres guldterninger, vil LISA også kunne måle gravitationsbølger fra Big Bang. I artiklen »Hawkings sidste teori« forklares det for eksempel, hvordan disse moderbølger vil kunne bekræfte Hawkings idé om en evolutionær udvikling af naturkræfterne.

»Videnskabelige gennembrud med LISA er nærmest garanteret,« siger Gijs Nelemans, professor i astrofysik ved Radboud Universitet i Holland. Han har arbejdet med LISA i over 20 år. »Og jeg tror, de fleste vil sige, at den sejeste opdagelse vil være gravitationsbølger fra det tidlige univers.«

Så er der dem, som hepper på noget helt andet. At terningerne vil udfordre Einstein.

GAMLE EINSTEIN, HVOR ER FEJLEN?

Den generelle relativitetsteori er bizar. Dens forudsigelser om sorte huller og vuggende rum frastødte de fleste fysikere i årtier efter Einstein skrev den ned i 1915, men man kan ikke tage fra manden, at teorien er ualmindelig skudsikker. Fysikerne har forgæves forsøgt at lave huller i den, for problemet er, at den ikke kan være den endelige teori for tyngdekraften. Først og fremmest fordi den slet ikke passer sammen med kvantemekanikken.

CERNs monstrøse partikelaccelerator LHC bliver ved med at smadre atomer mod hinanden i håb om, at noget nyt fysik dukker op i slagget. Indtil videre uden held. LIGO har også kun set fænomener, som artigt adlyder relativitetsteorien.

Så nu er det LISAs tur.

»Den er en af de bedste maskiner til at teste den generelle relativitetsteori, så mange håber, at vi endelig vil se sprækker i den,« siger Nelemans.

Sprækkerne kan især vise sig de steder, hvor et supertungt sort hul i centrum af en galakse langsomt suger masse ud af en neutronstjerne eller en hvid dværg. Tyngdekrafterne er så ekstreme i det show, at vi kommer helt tæt på grænserne for teorien.

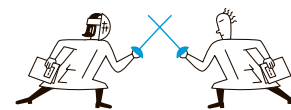
Et meget berømt citat fra Einstein lyder: »Gud spiller ikke terninger.« Det havde ikke noget med gravitationsbølger at gøre, men nu får himlen alligevel sit terningspil – og det kan ironisk nok ende med at blive Einsteins nemesis.

I indledningen til Nelemans ph.d.-afhandling fra 2001 står der:

»LISA-missionen er sat til at blive opsendt i 2011.«

Fysikerne har det med at sige »om ti år«, når de ikke ved, hvornår noget bliver færdigt, som han siger. Der er 11 år til 2035.

»Men nu er det alvor,« tilføjer han. »Der er en rigtig plan og rigtige penge.«



FORSKERFEJLEN

Plan B er aflyst

MIKKEL WILLUM JOHANSEN

DET VAR MÅSKE ikke den bedste kommunikationsstrategi, geofysiker David Keith havde valgt. Da han i 2013 optrådte i det ultrapopulære talkshow The Colbert Report luftede han den idé at spraye 20.000 ton svovlsyre ud i atmosfæren, også selvom det ville dræbe tusindvis af mennesker.

»Men målet er ikke at dræbe folk,« forsikrede han. Tværtimod. Målet med svovlsyren var at afbøde den globale opvarmning ved hjælp af såkaldt *solar geoengineering*.

Til Keiths forsvar skal det siges, at han har gjort det klart, at der er brug for mere forskning, før man kan finde svovlsyren frem. Keith blev da også nogle år senere en af de ledende kræfter i det amerikanske universitet Harvards såkaldte SCoPEX-projekt, der skulle undersøge, om man kan mindske solens indstråling og dermed bekæmpe den globale opvarmning ved at spraye en film af partikler ud højt oppe i atmosfæren.



Værst af alt, hævder kritikerne, kan alene håbet om et teknologisk fix svække viljen til at sænke udledningen af CO₂.

Hidtil er det meste af den slags forskning foregået i laboratoriet, men med SCoPEX ville man lave eksperimenter i den virkelige verden. Til det formål byggede man en særlig ballon og spækkede den med måleinstrumenter. Desuden skiftede man svovlsyren ud med kalkstøv, da man håbede, at kalk ville have færre skadevirkninger end svovl. Det var så planen, at ballonen skulle flyve op i 20 kilometers højde, drysse en smule kalkstøv ud og bagefter måle, hvordan det opførte sig.

Projektet løb dog hurtigt ind i problemer. Den oprindelige plan var at lave testen i Arizona, men af forskellige årsager blev den flyttet til Kiruna i det nordlige Sverige, hvor den første flyvning skulle have fundet sted i 2021. Her mødte projektet dog så hård modstand fra miljøorganisationer og den lokale samiske befolkning, at testen måtte aflyses. Efter et par år i tænkeboks meddelte Harvard så i midten af marts i år, at projektet var skrinlagt på ubestemt tid.

DER ER MANGE GODE GRUNDE til at skrue kunstigt ned for Jordens termostat. Sidste sommers skovbrande i Sydeuropa er én. De smeltende poler en anden. Men der er også gode grunde til at være skeptisk over for tanken om at manipulere med atmosfæren. Samerne i Kiruna påpegede i deres protest mod projektet, at geoengineering er forbundet med store risici. Så store, at der, som de forklarede det, ikke findes gode grunde til at tillade SCoPEX »hverken i Sverige eller noget andet sted«.

Samerne står ikke alene med deres skepsis. Et åbent brev, der opfordrer til et globalt forbud mod solar geoengineering, er foreløbig blevet underskrevet af knap 500 forskere fra det meste af verden. Som kritikerne ser det, er forskningen en blindgyde. Det er umuligt at forudsige konsekvenserne, hvis vi begynder at pille ved det globale klima, og desuden mangler vi de politiske institutioner, der er nødvendige for at kunne styre processen.

Men værst af alt, hævder kritikerne, kan alene håbet om et teknologisk fix svække viljen til at sænke udledningen af CO₂. Det problem har fået Michael E. Mann, klimaforskeren bag den berømte hockeystavsgraf, til at hævde, at vi befinder vi os i den anden klimakamp. Hvor den første gik ud på at få folk til at indse, at menneskeskabte klimaforandringer er en realitet, går den anden ud på at få folk til at indse, at vi ikke kan løse problemet med et teknologisk fingerknips.

SKRINLÆGNINGEN af SCoPEX er en klar sejr for Mann og andre kritikere, men kampen er ikke slut. Harvard har stadig et forskningsprogram i solar geoengineering, og David Keith skiftede sidste år til University of Chicago, hvor han leder et nyt program, der skal undersøge tekniske trick til at undgå global opvarmning.

I forbindelse med lukningen af SCoPEX forklarede Keith til studentervisen The Harvard Crimson, at han opfatter solar geoengineering som en slags airbag. Det er muligt, at folk kører mindre forsigtigt, når de ved, at de har airbags, forklarede han. Men hvis vi ender med at køre galt med klimabussen, vil de nu være rare at have. Så klimaairbag eller CO₂-stop? Ingen tvivl om, at den anden klimakamp stadig er i fuld gang.