

Af Christine Pepke Gunnarsson, KVANT

## Jagten på den 9. planet

**ASTRONOMI.** Astronomer har i længere tid holdt øje med tegn på en 9. planet i vores solsystem, altså efter Neptun (Pluto mistede som bekendt sin titel som planet i 2006). Det er bevægelsen af små asteroider bag Neptun (Trans-Neptuniske Objekter), der tyder på, at der er en planet, som påvirker dem med sin tyngdekraft. Asteroiderne er i kredsløb omkring Solen, og astronomerne mener, at de for at være i de baner, de er i, som følge af den 9. planets påvirkning, må have været i solsystemet i mere end en milliard år. Det er lang tid, og derfor undrer det astronomerne, at asteroiderne ikke er blevet udstødt af solsystemet fx ved kollision med andre planeter eller har forladt deres baner pga. tyngdekraften fra andre planeter. Da den 9. planet endnu ikke er blevet observeret direkte (fx ved i et teleskop at se lyset fra Solen blive reflekteret på planeten), må astronomerne bruge simulationer for at undersøge tilstedeværelsen af planeten.



Astronomerne arbejder med simulationer af den 9. planet for at forklare asteroidernes baner, hvis altså planeten eksisterer. De foreslår, at en planet, der er ca. fire gange Jordens størrelse, ca. 10 gange Jordens masse og med en omløbstid omkring Solen på mellem 10.000 og 20.000 år, kunne forklare banebevægelserne. Simulationerne forudsiger desuden en proces (resonanshop), der kan forklare, at asteroiderne stadig er i solsystemet. Processen går ud på, at asteroiderne hopper mellem stabile baneresonanser med den 9. planet.

En baneresonans opstår, når objekter i kredsløb omkring samme sol periodisk påvirker hinanden med deres tyngdekraft, da deres kredsløbsperioder er i et indbyrdes forhold. Fx er Pluto og Neptun i en 2:3 baneresonans, da Pluto færdiggør to kredsløb omkring Solen i samme tidsrum, som Neptun færdiggør tre kredsløb. Astronomerne fandt også ud af, at Neptun ville forstyrre en asteroide i dens baneresonans, men i stedet for at sende asteroiden ud af solsystemet, var der et objekt, passende med en 9. planet, der fangede asteroiden i en anden baneresonans. Astronomerne har også foreslået, at den 9. planet kunne have haft en indflydelse på de andre planeters banehældning, og de har foreslået planeten som en forklaring på, hvorfor objekterne i Kuiper-bæltet bevæger sig i en retning modsat alt andet.

For nylig er der kommet endnu et bevis på den 9. planets eksistens. Et objekt kaldet Caju (2015 BP<sub>519</sub>) viser tegn på indflydelse fra en stor planet. Caju er speciel, da den af alle Trans-Neptuniske Objekter har den højeste banehældning i forhold til vores solsystems plan. Cajus baneplan er næsten vinkelret på solsystemets plan, og da Caju blev observeret, forsøgte forskerne at beregne dens bane, hvilket kun lykkedes ved at tilføje den 9. planet til simulationerne. Nu mangler de så bare at finde den 9. planet.

Kilde: J. C. Becker et al: Discovery and Dynamical Analysis of an Extreme Trans-Neptunian Object with a High Orbital Inclination, arXiv:1805.05355

& J. C. Becker et al: Evaluating the Dynamical Stability of Outer Solar System Objects in the Presence of Planet Nine, The Astronomical Journal (2017), bind 154, nr. 2

## Ingen tegn på annihilation af mørkt stof

**PARTIKELFYSIK.** Efter 10 års søgning er der ikke fundet nogen tegn på annihilation af mørkt stof-partikler, konkluderer forskere fra High Energy Stereoscopic System (HESS)-teleskopet i Namibia. De har i det sidste årti søgt efter gammastråling fra Mælkevejens center, hvilket kunne være et tegn på annihilation af mørkt stof. Mørkt stof er som bekendt stof, der ikke kan observeres direkte, da det ikke vekselvirker med elektromagnetisk stråling, men beregninger viser, at stoffet må eksistere for at forklare, hvordan synlige objekter bliver påvirket af en tyngdekraft. Mørkt stof udgør ca. 85% af alt stof i universet. En favoritkandidat for mørkt stof er de hypotetiske WIMP (weakly interacting massive particle)-partikler.



Når to WIMP-partikler kolliderer, kan de annihilere og udsende andre partikler, bl.a. gammastråling. En af de metoder, forskerne bruger til at lede efter mørkt stof, er ved at se efter emissionsspektrene af WIMP-partiklernes annihilation. Når WIMP-partikler annihilere, forventes det, at de producerer gammastråling ved meget høj energi. Bølgelængden af strålingen er bl.a. bestemt af WIMP-partiklernes masse (energi), og derfor ved forskerne, hvilke spektrallinier de skal lede efter i emissionsspektrene. Forskerne har skannet rummet efter emissionsspektrene fra WIMP-partiklernes annihilation omkring Mælkevejens center, da det her forventes, at der er en høj koncentration af mørkt stof. De har ledt efter spektrallinier fra WIMP-partikel-annihilationer, hvor WIMP-partiklerne har en energi i området 300 GeV – 70 TeV, hvilket er det mest sandsynlige energiområde for mørkt stof-partikler.

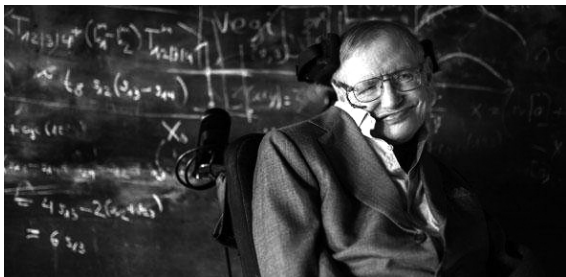
Konklusionen er, at der ikke er signifikant flere gammastråler fra det undersøgte område i Mælkevejen i forhold til baggrunden, men søgningen efter gammastråler fra WIMP-annihilationer har dog kunnet indsnævre de øvre grænser på tværsnittet af WIMP-annihilationen (tværsnittet af en partikelreaktion fortæller om sandsynligheden for reaktionen, da sandsynligheden er proportional med tværsnittet) og forbedrer derved de tidligere grænser med en faktor 6, hvilket kan hjælpe forskerne videre med at sortere mulige WIMP-kandidater ud.

Kilde: H. Abdallah et al: Search for  $\gamma$ -Ray Line Signals from Dark Matter Annihilations in the Inner Galactic Halo from 10 Years of Observations with H.E.S.S., Phys. Rev. Lett. (2018), bind 120, 201101

## Hawkings sidste teori

**KOSMOLOGI.** Den berømte fysiker Stephen Hawking gik bort den 14. marts i år, 76 år gammel. Hawking var til sin død en aktiv forsker, og et af de sidste projekter, han arbejdede på sammen med professor Thomas Hertog, er for nyligt blevet publiceret. Hawking og Hertog regnede på den evige inflation og multivers-teorien, som handler om, hvad der skete lige efter Big Bang. Det er et emne, som teoretiske fysikere har diskuteret meget, da der er delte meninger om det.

Lige efter Big Bang var der en periode kaldet inflation, hvor universet ekspanderede enormt meget på kort tid. Teoretisk burde inflationen fortsætte for evigt, men den er påvirket af kvantefluktuationer. Kvantefluktuationer er tidlige forandringer i energien i rummet (jf. Heisenbergs ubestemthedsrelation), og de er ansvarlige for, at et partikel-antipartikel-par kan skabes ud af vacuum og annihilere igen. Kvantefluktuationerne kan have fået nogle områder af universet til at være i en hurtigere inflation og nogle områder til ikke at opleve inflation. Globalt ville universet være i en evig inflation.



De områder, der er undtaget inflation, er fx vores univers; det synlige univers, dvs. den del af universet, vi kan se. Her er inflationen stoppet, og det har været muligt for stjerner og galakser at blive til. Ifølge evig inflationsteori har vi et stort multivers bestående af en masse små paralleluniverser, der alle opfører sig forskelligt, og hvori fysiklovene kan være forskellige. Dette store multivers vil dog hele tiden skabe nye universer, der også oplever inflation, og derfor vil hele strukturen vokse som en uendelig fraktal. Et sådant univers vil være meget ujævnt og kan sammenlignes med en ballon, der pustes op, hvor nogle små dele på overfladen ophører med at være elastiske og ikke udvider sig længere. Hele ballonen udvides, mens disse små steder giver en strittende overflade.

Problemet med multiverset er, at hvis de forskellige paralleluniverser har forskellige størrelser eller er uendelige, kan teorien ikke testes. I multiversteorien er alt muligt, og den fortæller ikke meget om, hvad vi skulle observere i vores eget univers for at bekræfte teorien. Desuden er det et problem, at den evige inflationsteori antager et univers, der udvikler sig ifølge Einsteins generelle relativitetsteori, hvor kvantefysik kun er en fluktuation. Da kvantefysik er væsentlig for at beskrive inflationen, burde Einsteins teori bryde ned i evig inflation.

Hawking og Hertog er ikke fans af et fraktalt multivers. Deres nye inflationsteori er baseret på strengteori, hvor relativitetsteori, kvantefysik og tyngdekraft forenes ved at beskrive universets byggesten som små, vibrerende strenge. Strengteoriens holografiprincip siger, at universet er et stort og komplekst hologram, hvor den fysiske realitet i 3D (rum) matematisk kan projiceres til 2D (overflade). Hawking og Hertog udviklede en variation af holografiprincippet til at projicere tidsdimensionen i den evige inflation ud, og på den måde kunne de regne på den evige inflation uden at bruge Einsteins teori.

Med den nye teori udregnede de sandsynligheden for, om multiverset er som i den evige inflation (den strittende ballon), eller om det er mere glat i overfladen, og de fandt, at universet foretrækker at være glat. Deres resultat siger derfor, at evig inflation, som mange forskere ellers troede, nok ikke er det foretrukne for universet. Deres teori siger stadig, at vi har et multivers, men at det på stor skala er rimelig udjævnet, og at det er endeligt, hvilket gør det mere simpelt end den uendelige fraktalstruktur. Deres teori reducerer multiverset til en mindre gruppe mulige universer, og da et endeligt antal paralleluniverser er lettere at arbejde med end et uendeligt antal, gør det teorien lettere at forholde sig til, og da den er forudsigelig, kan den muligvis testes.

Hertog er nu interesseret i at bekræfte teorien, og han håber, at teleskoper vil kunne se nogle af teoriens forudsigelser i baggrundsstrålingen eller i de gravitationsbølger (krusninger i rumtiden), der blev skabt i Big Bang lige ved inflationen. Gravitationsbølger fra begyndelsen af universet har meget lange bølgelængder (da universet har udvidet sig, siden de blev sendt afsted), og derfor vil LIGO ikke kunne detektere dem, men det vil det planlagte europæiske rumbaserede gravitationsbølgeobservatorium LISA muligvis kunne.

Kilde: S. W. Hawking & T. Hertog: A smooth exit from eternal inflation?, Journal of High Energy Physics (2018) 147

## Satellitter vil måle vandet på Jorden

**GEOFYSIK.** To satellitter kaldet GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On) skal måle vandets kredsløb på Jorden. De blev opsendt med en SpaceX Falcon 9-raket den 22. maj fra Vandenberg Air Force Base i Californien og kommer i kredsløb omkring Jorden i en højde på 490 km og med en afstand mellem hinanden på 220 km. Satellitterne kan måle vandet på Jorden, da en lille variation i Jordens massefordeling vil ændre på, hvordan Jordens tyngdekraft påvirker afstanden mellem satellitterne. Hvis man ser bort fra effekter som fx jordskælv, er det nemlig kun vand, der kan ændre massefordelingen på Jorden hurtigt. Vandet på Jorden ændrer sig hele tiden, fx når is smelter, hvilket øger havenes masse, eller når det regner meget i en region, hvilket øger volumenet i grundvandsmagasinerne.



Ved at observere vandets cyklus kan man få et overblik over, hvordan vandet i forskellige områder på Jorden ændrer sig over tid og holde øje med og advare om fx tørke eller voldsom regn. Måleteknikken går ud på, at når de to satellitter bevæger sig over noget massivt, fx et bjerg, vil den første satellit blive tiltrukket af bjergets masse, og den vil blive trukket lidt længere væk fra den anden satellit. Når den anden satellit passerer bjerget, vil den også mærke en øget tyngdetiltrækning, og den vil komme tættere på den første satellit. Når begge satellitter passerer bjerget, vil de begge blive holdt lidt tilbage pga. bjergets tyngdekraft. Ved på den måde at flyve over de samme objekter flere gange, kan afstanden mellem satellitterne fortælle om masseændringer på Jorden.

Metoden kan desuden bruges til at måle vandet i vandreservoirer langt under jordoverfladen, som ikke kan ses på billeder fra rummet. Satellitterne kommunikerer med mikrobølger for hele tiden at måle afstanden mellem dem præcist, og deres præcision er på 1 cm i vandhøjde over områder på 340 km i diameter. Satellitterne skal desuden teste et laser-interferometer, som kunne øge præcisionen af afstandsmålingen mellem dem med en faktor 10. Det bliver for øvrigt den første demonstration af laser-interferometermålinger mellem satellitter i rummet.

Kilde: <https://www.nasa.gov/missions/grace-fo> & <https://phys.org/news/2018-05-twin-spacecraft-earth.html>