

# Tyngdelov med et twist

- Einstein havde ret – igen

*En roterende genstand trækker rumtidens stof med sig rundt, forudså Einstein.*

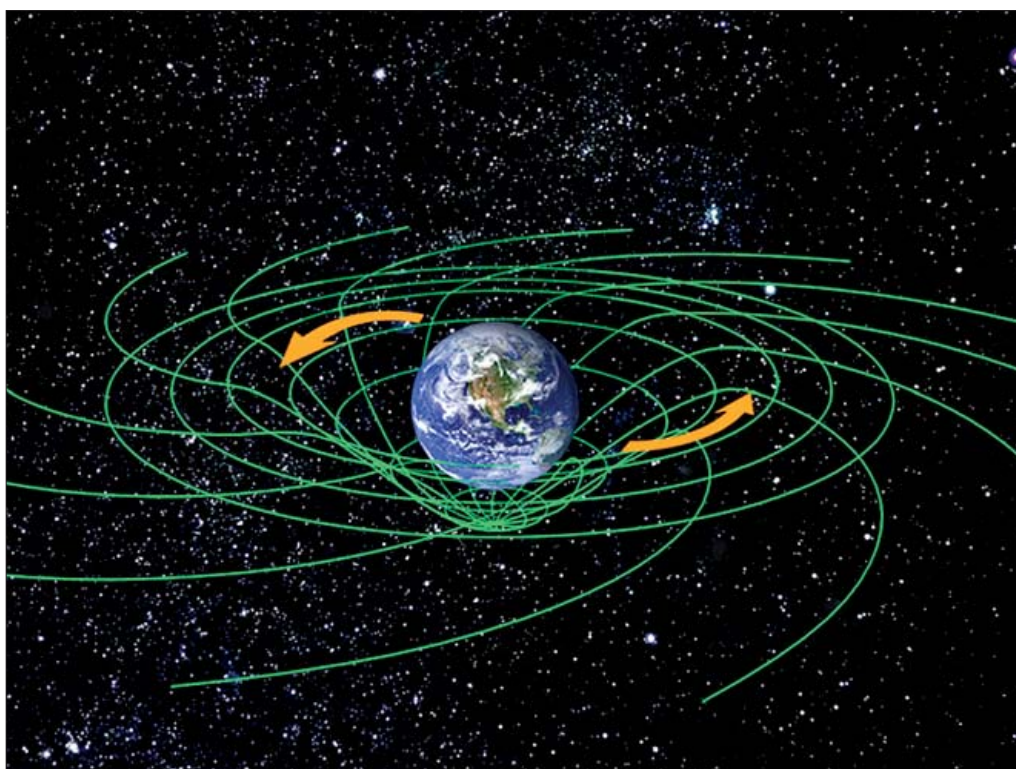
*Nu har det storstilede rumeksperiment Gravity Probe B – efter 45 år på tegnebrættet og mange genvordigheder – dokumenteret fænomenet.*

Af Ole Svendsen og Jens Krog

■ Fænomenet er en særlig form for tyngdekraft, som kort fortalt bevirker, at hvis man bevæger sig i nærheden af et roterende tungt objekt vil man opleve, at selve rummet, og dermed også én selv, bliver trukket med rundt om objektet i samme retning som rotationen foregår.

Der er tale om relativistisk effekt, idet to østrigske fysikere i 1918 beregnede den med udgangspunkt i Einsteins generelle relativitetsteori. Fysikerne hed Josef Lense og Hans Thirring, hvorfor effekten ofte kaldes *Lense-Thirring effekten*. Lige så ofte benævnes den "frame-dragging" effekten.

Observationer og forsøg har siden styrket teorien, og med de nyeste resultater fra Gravity Probe B har forskere fra Stanford University bekræftet eksis-



*Illustration af frame-dragging. Rumtiden trækkes rundt om Jorden pga. Jordens rotation.*

stensen af frame-dragging.

Det roterende objekt skal dog være meget tungt, før man mærker effekten. Når f.eks. en satellit bevæger sig i en bane om Jorden, påvirkes dens bane af,

at denne ekstra form for tyngdekraft trækker satellitten med rundt. Men ikke ret meget.

Selv jordkloden er næsten for let til, at dens frame-dragging effekt kan måles. (Faktisk vur-

derede Albert Einstein i 1953, at effekten er for svag til at ville kunne bekræftes ved hjælp af laboratorieforsøg.)

I hvert fald skal der ekstremt præcise instrumenter til. Og

det er netop, hvad der befandt sig i rumsonden Gravity Probe B, der blev sendt i kredsløb om Jorden i 2004.

### Mærkelige årsager

Når frame-dragging kaldes for en tyngdekraft er det fordi den afhænger af massen af det roterende legeme. Den hører ikke hjemme i den klassiske mekanik, som blev grundlagt med Newtons gravitationslov, hvor man kun anser tyngdekraft som det, der får æbler og andre objekter til at falde til Jorden, hvis man lader dem. Lense-Thirring effekten udspringer som nævnt af den generelle relativitetsteori, som Einstein formulerede i starten af 1900 tallet.

Den generelle relativitetsteori sammenknytter i Einsteins berømte feltligning begreberne tid, rum, masse og energi, og udover at forudsige den alment kendte tyngdekraft, som er resultatet af tilstedeværelsen af masse, forudsiger den også en række andre mærkelige effekter, hvoraf Lense-Thirring effekten kun er en enkelt.

Hvor den almindelige tyngdekraft forårsages af den blotte tilstedeværelse af legemer, som har en masse, skyldes Lense-Thirring effekten, at der er en strøm af masse.

Strømmen af masse opsætter en form for ekstra tyngdefelt, der påvirker legemer, som bevæger sig i nærheden af det roterende objekt. Feltet påvirker kun andre legemer, som også bevæger sig, og derfor kaldes denne type tyngdefelt ofte et gravitomagnetisk felt. Det minder nemlig i høj grad om det magnetfelt, som opstår omkring strømbærende ledninger. Strømmen af ladning inde i ledningen genererer et magnetfelt udenfor ledningen, som kan påvirke magneter eller bevægende ladninger i nærheden. I begge tilfælde er det altså essentielt, at det objekt, som påvirkes af feltet, også er i bevægelse.

### Søgen efter bekræftelse

Hvor H.C. Ørsted opdagelse af magnetfeltet skete før man havde en teori for fænomenet og derfor nærmest virker tilfæl-

digt, har videnskabsfolk længe været bevidste om de eksotiske tyngdefænomener, som Einsteins relativitetsteori forudsagde, og de har forsøgt at eftervise fænomenerne.

Som nævnt vil Lense-Thirring effekten forårsage, at satellitter vil få trukket deres bane rundt om Jorden i samme retning som Jorden roterer, og netop denne konsekvens var den første til at blive efterprøvet.

I hhv. 1976 og 1992 blev satellitterne LAGEOS 1 og LAGEOS 2 (Laser Geodynamics Satellites) sendt i kredsløb om Jorden, for at se om deres baner ændrede sig som forudsagt.

Problemet med Lense-Thirring effekten og de andre relativistiske effekter er, at de typisk er utroligt små i forhold til de effekter, vi til daglig udsættes for – så små, at LAGEOS-satellitterne med en gennemsnitlig afstand til Jorden på ca. 6000 km. kun ville få forskudt deres bane med ca. 1,9 meter om året. Dette krævede naturligvis meget nøjagtige målinger, og de blev foretaget med laserstationer placeret over hele Jorden.

Et andet problem var, at ujævnheder i Jordens tyngdefelt også gav anledning til ændringer af satellitbanerne af omtrent samme størrelsesorden. Det var altså uhyre vigtigt, at disse effekter var korrekt beregnede, da man ellers ville risikere at tage fejl af dem og frame-dragging effekten.

Da man i 2004 bekendtgjorde, at LAGEOS-satellitterne havde bekræftet tilstedeværelsen af Lense-Thirring effekten, var nøjagtigheden af målingerne derfor meget omdiskuterede.

### Perfekte kugler

De nyeste målinger, foretaget med satellitten Gravity Probe B, der blev opsendt i 2004, anvendte en anden teknologi, nemlig nogle små gyroskoper monteret inde i satellitten. Disse små gyroskoper består af små kvarts-kugler overtrukket med niobium og er de mest perfekte sfærer, mennesker hidtil har kunnet skabe. Kuglerne er på størrelse med bordten-



Foto: Nasa

Her ses LAGEOS-1, som er den første af LAGEOS-satellitterne, der blev opsendt. Satellitten har form af en kobberkugle, lavet til at reflektere laserlys, sendt fra Jorden, for at bestemme satellittens position meget præcist.



Illustration: Katherine Stephenson, Stanford University and Lockheed Martin Corporation

## Gravity Probe B

Gravity Probe B projektet blev formelt afsluttet i 2010 og var enestående på flere måder: For det første er der tale om en teknologisk kraftpræstation, idet satellitten indeholder adskillige teknologier, som hver især udgør teknologiske og ingeniørmæssige tigerspring. For det andet er der tale om det længste og dyreste eksperiment i NASAs historie. Det blev påbegyndt i 1959 og har været stoppet flere gange pga. manglende finansiering; senest stoppede NASA projektet i maj 2010, men endnu en gang lykkedes det forskerholdet at skaffe et legat udefra – denne gang i form af 2,7 mio. dollars fra en saudisk prins – til at færdiggøre arbejdet. Den samlede pris for projektet løb op i 750 mio. dollars.



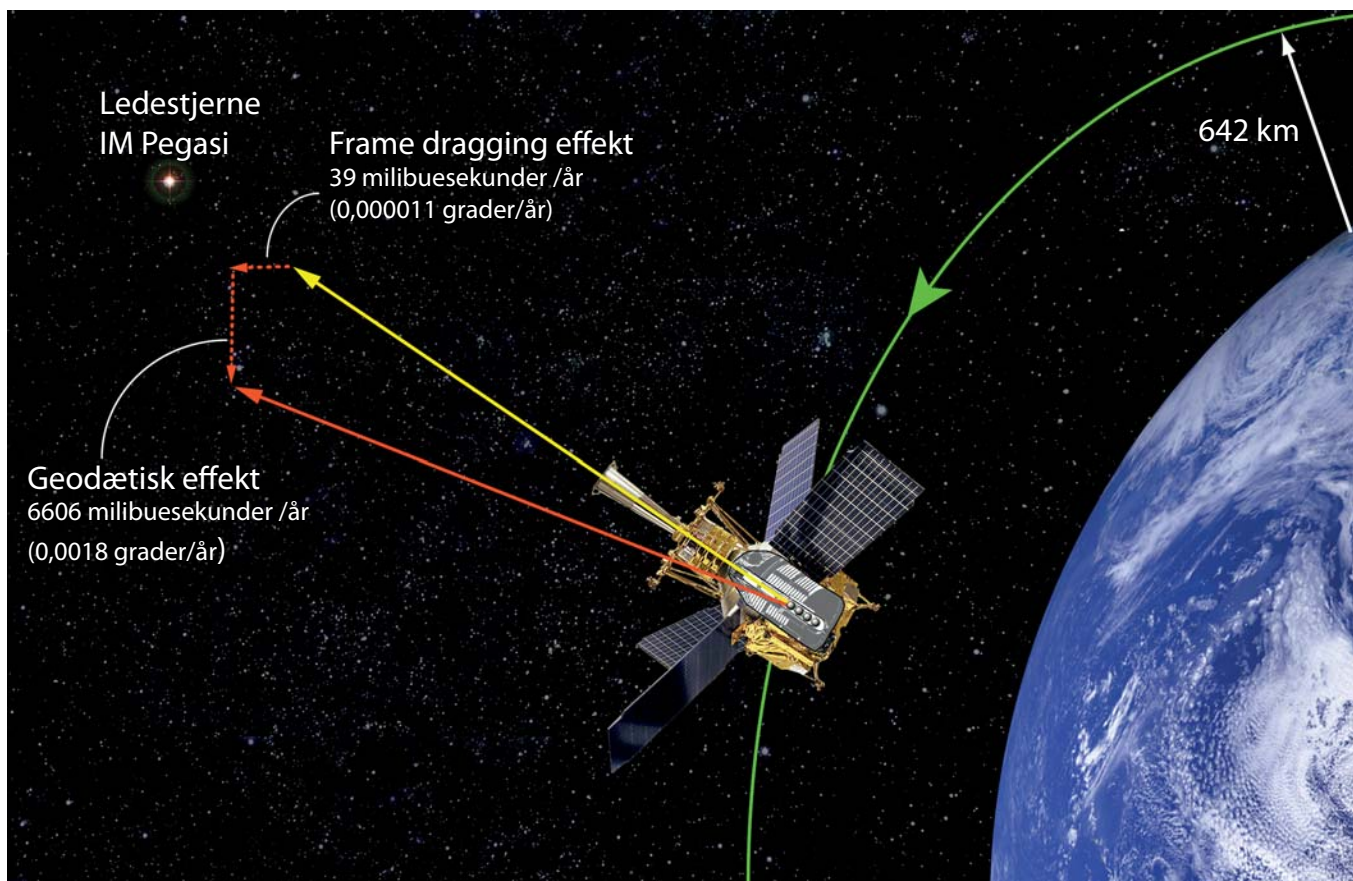


Illustration: Efter NASA &amp; Stanford University.

Illustration af Gravity Probe B i rumtiden udsat for frame-dragging af Jorden. Satellitten måler forskellen i orientering mellem en fjern stjerne, som ikke er påvirket af Jordens frame-dragging, og gyroskoperne, som følger rumtiden om Jorden. Dette gør det muligt at observere den effekt frame-dragging har på gyroskoperne og herfra udlede størrelsen af effekten. (De anførte værdier er de teoretiske).

Som det fremgår af figuren har missionen også målt en anden effekt – den geodætiske effekt – hvilket er blevet gjort med stor præcision. Frame-dragging er en langt svagere effekt end den geodætiske effekt, og derfor tilsvarende sværere at eftervisse.

nisbolde, og de største ujævnheder på dem er omtrent 40 atomer "høje", hvilket svarer til at Jordens største bjerg var 2,5 m højt.

Kuglerne opbevaredes i helium ved meget lave temperaturer omkring 2 Kelvin. Disse lave temperaturer gjorde for det første niobium-laget superledende, og kuglerne ville derfor, når de roterede, generere et meget ensartet magnetfelt omkring sig. For det andet var heliummet superflydende, så friktionen i systemet forsvandt og gyroskopernes rotation opretholdtes.

Med satellitten i polart kredsløb 642 km over jorden ville man altså kunne måle de relativistiske effekter ved at se på, hvordan kuglernes magnetfelt ændrede sig i løbet af det halvandet år, der gik, inden det flydende helium var fordampet. Satellitten bruger nemlig

et stjernesigte, så dens ene ende hele tiden peger mod stjernen IM Pegasi; hvis frame-dragging effekten ikke eksisterer, ville gyroskoperne konstant være rettet ind efter stjernen. Hvis Einstein derimod havde ret, ville gyroskopernes rotationsakser gradvist ændre sig på grund af Jordens masse og rotation.

#### Uklare resultater

Selv med dette meget præcise udstyr viste det sig dog besværligt at fastslå effektens tilstedeværelse, fordi magnetfeltet blev forstyrret af de ujævnheder, der trods alt var i gyroskopkuglerne. Og det viste sig også, at der var ujævnheder indvendigt i de beholdere, kuglerne roterede i.

Forskerholdet på Stanford har således siden 2005 arbejdet på at filtrere dataene for de utilsigtede effekter, for at se om effekten er til stede.

Og for nylig oplyste forskerholdet så, at de havde fundet bevis for, at gyroskopernes vinkel havde ændret sig med ca. 37,2 millibuesekunder i løbet af et år, med en usikkerhed 20 pct. Et millibuesekund svarer ca. til tykkelsen af et menneskehår set på 16 kilometers afstand.

Effektens ringe størrelse gør det stadig problematisk at detektere den, og vi har om Jorden ikke mulighed for at forbedre målingerne, da Jordens masse er så lille, at effekten ikke er nævneværdig i forhold til, hvordan den ville fremstå ved andre, mere massive, kosmiske objekter.

Der er lavet teoretiske udregninger på, hvordan frame-dragging vil tilkendegive sig nær massive roterende objekter, som f.eks. roterende sorte huller. De sorte hullers store masser giver naturligvis anledning til et meget voldsommere tyngdefelt,

og dermed væsentligt tydeligere frame-dragging. Hvis man kommer tæt nok på et sort hul vil man opleve, at det er umuligt ikke at bevæge sig i samme retning som hullet roterer.

#### Behov for ny forståelse

Einsteins udvikling af den generelle relativitetsteori var en nødvendig videreudvikling af Newtons klassiske tyngdelov, som ikke kunne forklare en række fænomener. For eksempel kunne man observere, at Merkurs bane udviste en besynderlig opførsel, idet det punkt på banen, hvor Merkur var tættest på Solen, hele tiden flyttede sig. Effekten ville langt hen ad vejen kunne forklares med, at der måtte være en ukendt planet tæt ved solen, men en sådan blev aldrig observeret.

Einsteins nye teori kunne derimod forklare opførslen uden at lave antagelser om

andre uobserverede objekter, fordi den indførte disse nye former for vekselvirkninger mellem tunge objekter.

I relativitetsteoriens første år var der mange forsøg på at bekræfte den ved at undersøge eksistensen af forskellige effekter som teorien forudsagde. Et af forsøgene brugte solformørkelsen i 1919 til at påvise, at lyset bliver påvirket af tyngdekraften (den geodætiske effekt). Her observerede man en stjerne lige ved siden af solen, selv om den reelt befandt sig bag solen. Lyset fra stjernen blev altså bøjet i Solens tyngdefelt og kunne derfor observeres af astronomer på jorden, selvom det skulle være blevet blokeret af solen. Ud fra relativitetsteorien har forskere altså udledt flere eksotiske fænomener, hvor kun et fåtal er observeret, senest frame-dragging.

### Teorien afprøves

At man nu stort set har kunnet bekræfte tilstedeværelsen af frame-dragging ved to forskellige forsøg, støtter altså teorien om effekten og dermed også



Foto: Don Harby

En af de næsten perfekte sfærer brugt i Gravity Probe B's gyroskoper, hvor de største ujævnheder er ca. 40 atomer høje.

selve Einsteins relativitetsteori.

Dette er væsentligt, for selvom der er stor tiltro til teorien inden for videnskaben, vil teorien altid stå overfor muligheden om opdagelse af fænomener, den ikke kan forklare, og dermed krav om revidering, ligesom Newtons oprindelige tyngdelov gjorde det før Einsteins.

Forskning inden for relativistiske effekter som denne, er altså væsentlig for vores fortsatte udbygning og revidering af vores forståelse af universet, selvom deres ringe størrelse ikke forklarer, hvorfor man på mystisk vis trækkes mod de hurtigst roterende eller største attraktioner i forlystelsesparken. ■

### Om forfatterne:



Ole Svendsen er specialestuderende i fysik ved Syddansk Universitet. [olsve07@student.sdu.dk](mailto:olsve07@student.sdu.dk)



Jens Krog er specialestuderende i fysik ved Syddansk Universitet. [jekro07@student.sdu.dk](mailto:jekro07@student.sdu.dk)

### Videre læsning:

<http://einstein.stanford.edu>  
[www.nasa.gov/mission\\_pages/gpb/](http://www.nasa.gov/mission_pages/gpb/)

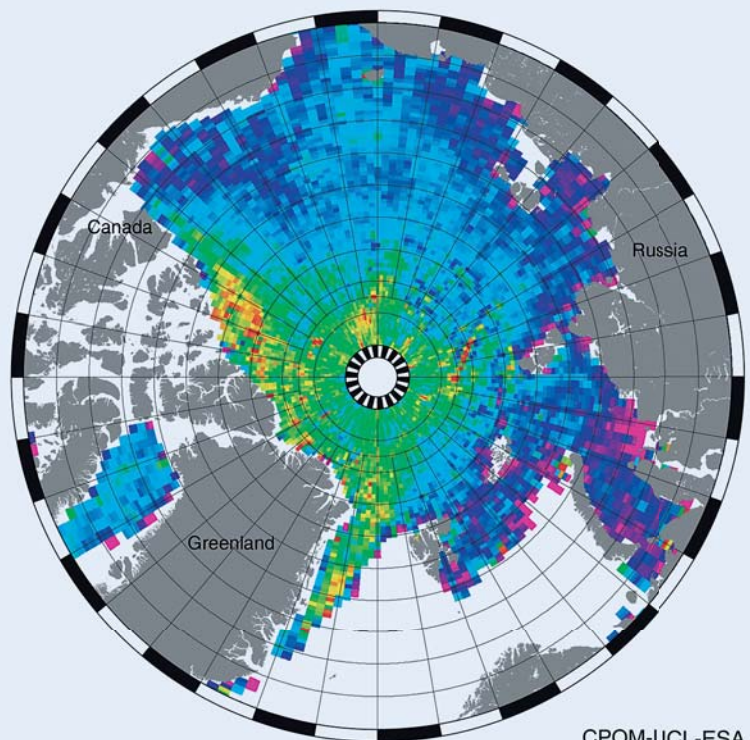
## Første resultater fra "Is-satellit"

For nylig kunne forskerne bag den europæiske satellit Cryosat-II fremlægge de første resultater fra satellitten, der siden april 2010 har været i kredsløb om jorden. Satellittens mission er at lave præcise målinger af udbredelsen og tykkelsen af isen ved Arktis og Antarktis for at vurdere, hvordan isen reagerer på klimaudviklingen.

Et af missionens primære mål er at afdække, hvor meget af isen i Arktis, der bliver tyndere på grund af den globale opvarmning. Satellitten måler havisens højde over vandoverfladen, hvilket kan bruges til at beregne den samlede tykkelse af isen. Det første kort over isudbredelsen i Arktis er lavet på baggrund af målinger fra januar og februar 2011, hvor havisen nærmer sig sin største udbredelse. Forskerne kunne med tilfredshed notere, at målingerne i detaljerigdom har vist sig at overgå missionens specifikationer. Bl.a. kan man se striber i havisen i det centrale Arktis, der skyldes vindpåvirkning.

CRK, Kilde: ESA

Cryosats detaljerede kort over udbredelsen af havis i januar/februar 2011. Takket være Cryosats bane, kan istykkelsen tæt ved Nordpolen ses for første gang. →



CPOM-UCL-ESA

