

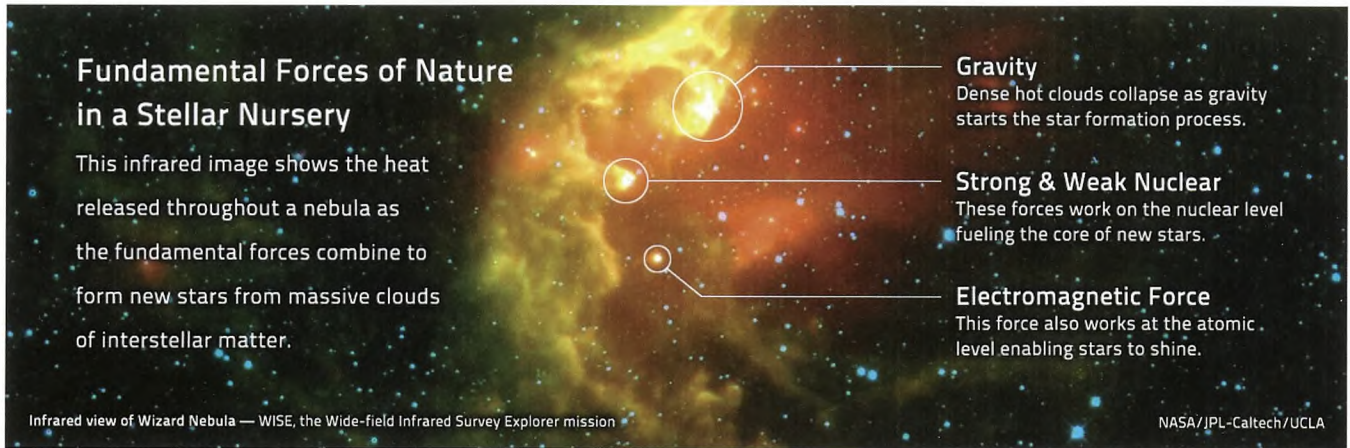
Er der flere grundlæggende naturkræfter?

Af Ole Eggers Bjælde, Center for Scienceuddannelse, Aarhus Universitet

Kun fire grundlæggende naturkræfter styrer alle fænomener og hændelser i Universet ifølge den gængse opfattelse af naturen. Men kan vi nu være sikre på det? Svaret er måske.

At kun fire grundlæggende naturkræfter styrer hele Universet er dybest set en utrolig påstand. Man kan altså sige, at alt fra vores tanker i hjernen til Solens

bevægelse i Mælkevejen er styret af fire kræfter. Og de to af kræfterne virker endda kun over så korte afstande, at de (for det meste) er ubetydelige for os mennesker.



Figur 1. De fire grundlæggende naturkræfter er tilsammen ansvarlige for lyset fra nydannede stjerner i NGC 7380 Wizard Nebula. Tyngdekraften får gasskyer til at trække sig sammen og derved starte stjernedannelsesprocessen. Kernekræfterne tager sig af fusion, hvorved de nydannede stjerner kan producere energi. Elektromagnetismen sørger for, at den producerede energi får stjernerne til at lyse. Grafik: NASA [1].

De fire grundlæggende kræfter er henholdsvis *den svage kernekraft, den stærke kernekraft, elektromagnetismen og tyngdekraften*, se dem i aktion på figur 1. Den lettest genkendelige kraft er tyngdekraften, som vi fx kæmper imod, når vi cykler opad bakke. Elektromagnetismen er ligeledes en kraft, vi møder hele tiden i hverdagen; eksempelvis når vi bruger en mobiltelefon, eller når vi lukker en dør, eller når neuroner i vores hjerne sender signaler, som får os til at gabe, osv. Stort set alle fænomener, vi møder, og som ikke direkte relaterer til tyngdekraften, skyldes elektromagnetismen. Den stærke og den svage kernekraft møder vi derimod ikke ofte. Den stærke kraft holder “pygmæ”-partikler i form af kvarker sammen i lidt-større-men-stadig-mikroskopiske (og ekstremt almindelige) partikler som protoner og neutroner. Den svage kraft er ansvarlig for, at en isoleret neutron vil henfalde til en proton og andre partikler, samt andre kerneprocesser, der bl.a. er en nødvendighed for, at Solen kan skinne. En populærvidenskabelig gennemgang af de fire naturkræfter kan bl.a. ses i videoen [2].

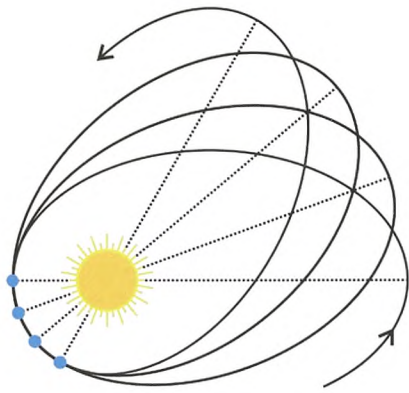
Universet ser tilsyneladende ud til, at kunne beskrives relativt simpelt – i hvert fald hvad angår naturkræfterne. For os mennesker er det i og for sig rart nok – der er meget andet at bekymre sig om. Nobelpristageren i fysik, Abdus Salam, formulerede det sådan: “Fra tidernes morgen har mennesket ønsket at forstå

naturens kompleksitet med så få begreber som muligt”. Så hvorfor overhovedet interessere sig for spørgsmålet, om der findes flere naturkræfter? Svaret er: På grund af anomalier.

Anomalier

En anomali er en observation, som ikke umiddelbart passer ind i den gængse forståelse af naturen. At Herfølge Boldklub fx kunne vinde det danske mesterskab i fodbold i 2000 er et godt eksempel på en anomali. Den slags møder vi også masser af i Universet.

Et godt eksempel fra historien er Merkurs bane om Solen. Alle planeternes baner er svagt elliptiske, og de elliptiske baner flytter sig gradvist for hver omgang, se figur 2. Denne bevægelse kaldes præcession og kan forklares ved hjælp af Newtons bevægelsesligninger fra 1687. Observationer af datidens astronomer bekræftede, at alle kendte planeter adlød bevægelsesligningerne – alle pånær én. Merkurs elliptiske bane præcesserede hurtigere rundt end forventet. 93 % af Merkurs præcession kunne forklares, men ingen kunne forklare de sidste 7 %. Astronomerne regnede med, at de måtte have overset noget (= en planet), hvilket ikke var en urimelig antagelse, da Neptun netop blev opdaget på grund af dens regulære påvirkning af Uranus’ bane. Den usynlige planet, som påvirkede Merkurs bane, fik det potente navn “Vulcan”.



Figur 2. En planet bevæger sig omkring Solen, men punktet i banen (blå pletter), hvor planeten er nærmest Solen (perihelion) flytter sig for hvert omløb. Det kaldes præcession og finder sted for alle planeter i Solsystemet (Wikipedia).

Men Vulcan blev aldrig fundet, og der skulle en Albert Einstein til at løse gåden. Der hvor astronomerne tog fejl var, at de ledte efter planeter. Einstein viste, at de i stedet skulle have kigget på rummet selv – for ifølge Einsteins generelle relativitetsteori krummer rummet på grund af eksistensen af masse i Universet. Og jo mere masse jo mere krumning. For Merkur, som er planeten tættest på Solen, betyder det, at den oplever en vældig mængde krumning på grund af Solens masse – og det påvirker banen i en grad, som får den til at præcessere lidt hurtigere end ellers. Og størrelsen af den ekstra præcession var netop de 7 %, som manglede.

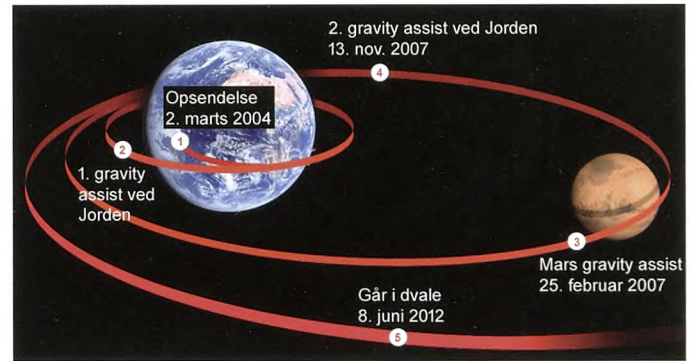
Igenom de senere år har flere andre anomalier i Solsystemet bidraget til lignende spekulationer – med mere eller mindre (især mindre) sandsynlige forklaringer. Den mest omtalte er den såkaldte Pioneer-anomali, som stammer fra de to rumsonder Pioneer 10 & 11, som tilsyneladende bevægede sig langsommere væk fra Solen, end Newtons bevægelsesligninger forudsagde. Anomalien vedblev at være en gåde i 32 år(!), indtil beregninger af varmestråling fra en strømgenerator ombord på Pioneer-rumsonderne i retning væk fra Solen viste sig at være forklaringen [3], se figur 3.



Figur 3. Tegning af Pioneer 10 foran Jupiter. Bemærk strømgeneratoren for enden af den arm, som peger mod Jupiter (NASA).

Der findes (heldigvis) også idag mindst en anomali i Solsystemet, som ikke har fundet en forklaring endnu – den såkaldte *Flyby*-anomali. Den stammer fra en af denne forfatters yndlingsfysikeffekter, nemlig “slangebøsseffekten” (eller “gravity assist”). Det er en effekt, som kan udnyttes af rumsonder i Solsystemet,

således at de ved at flyve tæt forbi en planet kan opnå en kraftig forøgelse af deres fart – se figur 4.



Figur 4. Slangebøsseffekten blev udnyttet flere gange for Rosetta-satellitten (oversat fra Daily Telegraph).

Fartgevinsten ved slangebøsseffekten kan beregnes ud fra følgende tankeeksperiment: Du står ved siden af nogle togskiner og kaster en bold med 20 km/t mod fronten af et tog, som kører imod dig med 100 km/t. Togføreren ser altså bolden komme med 120 km/t imod sig. Han ser ligeledes bolden ramme fronten på toget og reflektere tilbage med samme fart. Altså 120 km/t væk fra toget. For dig ved siden af toget ser du nu bolden flyve imod dig med en fart, som er 120 km/t hurtigere end togets, dvs. bolden flyver nu 220 km/t. Du har altså vundet 200 km/t i forhold til den hastighed, du kastede bolden med.

Rumsonderne kan på samme vis vinde den dobbelte hastighed af planeterne, som de bevæger sig tæt forbi. Slangebøsseffekten har været udnyttet ved mange rummissioner, men flere gange er der sket det underlige, at rumsonderne har vundet mere end den dobbelte planethastighed. Det er sket for satellitterne Galileo (vandt 4 mm/s ekstra), NEAR (13 mm/s), Cassini (1 mm/s) og Rosetta (2 mm/s), hvilket ingen har fundet en god forklaring på... endnu.

Mange andre uløste anomalier kan hives frem [4], men en særlig anomali var så overraskende, at den kastede en nobelpris af sig i 2011, nemlig Universets accelererede udvidelse ud fra observationer af supernovaer – se [5]. Den fysiske mekanisme bag udvidelsen er endnu ikke kendt, omend den mest populære forklaring er den allestedsnærværende mørke energi. Men her kan en mulig ændring i de fundamentale naturkræfter også komme på tale.

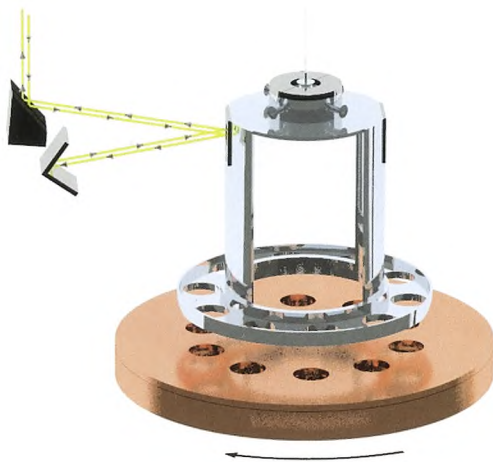
Hvordan kan vi måle ekstra naturkræfter?

Det første man skal gøre, hvis man er en (gal) forsker og gerne vil opfinde en ny naturkraft, er at specificere tre ting:

- Hvor stærk er kraften – er den svag som tyngdekraften eller stærk som elektromagnetismen?
- Hvilke partikler virker den nye kraft på – er det alle partikler som tyngdekraften eller kun fx ladede partikler som elektromagnetismen?
- Rækkevidden af kraften – er den uendelig som tyngdekraften og elektromagnetismen eller kort som kernekraftene?

Og her kan vi allerede tillade os at kloge os på eventuelle nye kræfter. Først og fremmest, hvis der vitterlig findes andre naturkræfter i Universet til at forklare en eller flere anomalier, må de være utroligt svage – ellers ville vi have opdaget dem for længe siden andre steder i Universet. For det andet, hvis den skal kunne forklare anomalierne, er det mest sandsynlige, at det er en kraft, som virker på alle partikler. Endelig er det mest sandsynligt, at eventuelle nye kræfter kun er effektive over enten meget store afstande à la tyngdekraften eller over meget små afstande. Igen – ellers havde vi opdaget dem for længe siden.

Og der bliver faktisk kigget efter nye naturkræfter, blandt andet af forskningsgruppen Eöt-Wash ved University of Washington, som er opkaldt efter ungarenen Loránd Eötvös, som var én af pionererne inden for den tidlige udforskning af tyngdekraften. Gruppen bruger en smart og simpel forsøgsopstilling med et pendul og en kobberplade (begge med huller i), som kan bringes nærmest vilkårligt tæt på hinanden. Når så kobberpladen sættes i rotation, og der lyses med en laser på pendulet, kan tyngdekraften mellem pendulet og kobberpladen måles præcist ned til meget korte afstande, se figur 5 for en illustration af opstillingen. Resultaterne har indtil videre vist, at tyngdekraften gør sit arbejde fremragende (= ingen nye naturkræfter) over afstande, som er noget mindre end en millimeter. Samtidig viser resultaterne, at mange fysikers våde drømme om mere end tre rumlige dimensioner i Universet kun kan realiseres, hvis den eller de ekstra dimensioner er meget kompakte [6].

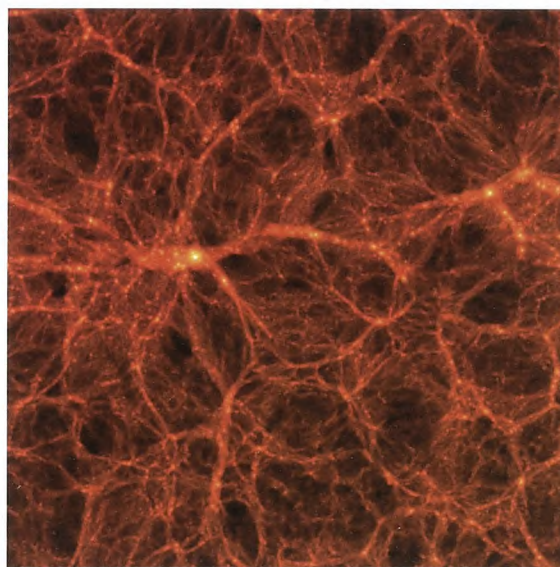


Figur 5. Den eksperimentelle forsøgsopstilling i Eöt-Wash-eksperimentet, hvor tyngdekraften mellem det hængende pendul og kobberpladen bliver testet ned til meget korte afstande (University of Washington).

Andre steder, hvor der ledes efter mulige nye kræfter med kort rækkevidde er (naturligvis) på CERN i Genève, hvor den slags sagtens kunne finde på at give sig til kende indenfor de næste år (forfatteren her krydser fingre). Det samme gør sig gældende for ekstra dimensioner i Universet eller måske mikroskopiske sorte huller, der i parentes bemærket, kun kan lade sig gøre med ekstra dimensioner. Alle disse ting vil kræve en revidering af én eller flere af de nuværende naturkræfter eller en tilføjelse af nye [7].

I den anden ende af længdeskalaen kan man forestille sig nye naturkræfter med meget lang rækkevidde som en mulig forklaring på Universets tilsyneladende accelererede udvidelse. I sidste ende er et accelererende univers domineret af den tiltrækkende tyngdekraft så exceptionel en observation, at det ikke er utænkeligt, at det vil kræve en exceptionel forklaring. Hvad nu, hvis der fandtes en femte (eller sjette) naturkraft, som var svag som tyngdekraften, men som var frastødende og gav anledning til accelereret udvidelse?

For at besvare det spørgsmål kræver det et pænt stort laboratorium – nemlig hele det synlige univers. Og det er sådan set let at forstå. For hvis vi indfører en femte kraft (eller kvintessens som det også hedder), som virker over store afstande, vil det fx påvirke fordelingen af galakser og galaksehobe i Universet. Men dem kan vi heldigvis se. Så udfordringen består "bare" i at observere nogle milliarder galakser samt at lave realistiske computermodeller for universer med forskellige egenskaber, se figur 6 for et eksempel. På den måde bliver forskerne i stand til at sammenligne teori med rigtige observationer. Resten af arbejdet er statistik for at finde det bedste match mellem teori og observationer. Det arbejde bliver vi allesammen meget klogere på om små ti år, når LSST-teleskopet og Euclid-satellitten har leveret observationer og teoretikerne har leveret computermodeller.



Figur 6. Computersimulering af Universets edderkoppe-spindelslignende storskalastruktur lavet af Jacob Brandbyge og Steen Hannestad, Aarhus Universitet.

Hvis ikke en femte kraft viser sig at være forklaringen på den accelererede udvidelse, kan tyngdekraften måske hjælpe. For hvad nu hvis tyngdekraften kun opfører sig, som vi tror, på kortere afstande og er svagere over meget store afstande? Det kan fx lade sig gøre, hvis vi tillader os at justere lidt i geometrien, som ligger bag Einsteins ligninger for Universet [8]. Den slags kan sagtens lade sig gøre teoretisk, men man løber ofte ind i problemer med observationerne. Fx holdes der løbende øje med afstanden mellem Jorden og Månen ved hjælp af laserstråler, se figur 7. For det er vældig svært at designe en ændring i tyngdekraften på meget stor skala, sådan at der ingen effekt er på vores

Solsystem. Ud fra lasermålingerne af Månens afstand har man ikke fundet anledning til, at tro på andet end den almindelige tyngdekraft.



Figur 7. Der holdes løbende øje med afstanden til Månen ved hjælp af laserstråler, her fra Goddard Geophysical and Astronomical Observatory (NASA).

På nuværende tidspunkt eksisterer der ikke troværdige teorier, som ændrer ved tyngdekraften uden at de skaber konflikter med andre observationer af Universet. Men her er det samtidig værd at huske på, at indtil 1915, hvor Einstein kom frem med sin generelle relativitetsteori, eksisterede der heller ikke nogen troværdig teori, som kunne forklare Merkurs underlige bane. Så at der ikke eksisterer en realistisk teori med ændringer i tyngdekraften betyder ikke, at der ikke vil findes en i fremtiden. I mellemtiden fortsætter kampen for at finde en sådan teori med uformindsket styrke.

Eftersøgningen af flere naturkræfter vil fortsætte i det uendelige. Det viser sig nok at *flyby*-anomalien finder en logisk forklaring, som har med noget materielt at gøre og ikke ekstra eller mærkelige naturkræfter. Universets accelererede udvidelse er derimod en helt anden sag, og det er på nuværende tidspunkt svært at spå, om det ender med det ene eller det andet. Som forsker vil jeg næsten håbe på, at vi finder en forklaring, som er rigtig mærkelig, og som kan chokere forskningsverdenen og tvinge os til at revidere lærebøgerne (igen).

Afslutningsvis vil jeg citere forfatteren Douglas Adams, der skrev "Hitchhikers Guide to the Galaxy" (læs den hvis du endnu ikke har gjort det): "Alt du har behov for at vide i øjeblikket er, at Universet er meget mere kompliceret end man skulle tro." Hatten af for det!

Litteratur

- [1] NASA Astrophysics: Fundamental Forces of Nature, <http://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/astrophysics/03.html>.
- [2] KHAN Academy. Four Fundamental forces (video forelæsning), <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/four-fundamental-forces>.
- [3] G. Slave et al. (2012), Support for the thermal origin of the Pioneer anomaly, <http://arxiv.org/abs/1204.2507>.

- [4] L. Iorio (2015), Gravitational Anomalies in the Solar System?, *Int. J. Mod. Phys. D* **24** (2015) 1530015. ArXiv:1412.7673 [gr-qc].
- [5] S. Riemer-Sørensen & T. Davis (2010), Universet bliver mørkere og mørkere, *KVANT*, nr. 4 (2010).
- [6] The Eöt-Wash Group, Laboratory Tests of Gravitational and sub-Gravitational Physics, <http://www.npl.washington.edu/eotwash/results>.
- [7] Greg Landsberg, Searching for Extra Dimensions, <http://d0server1.fnal.gov/users/gll/public/edpublic.htm>; CERN, Extra dimensions, gravitons, and tiny black holes, <http://home.web.cern.ch/about/physics/extra-dimensions-gravitons-and-tiny-black-holes>.
- [8] Timothy Clifton et al. (2012), Modified Gravity and Cosmology, <http://arxiv.org/abs/1106.2476>.



Ole Eggers Bjælde er astrofysiker og specialkonsulent ved Center for Scienceuddannelse på Aarhus Universitet og arbejder med undervisning, forskning og formidling indenfor astrofysik og didaktik. Foto: Lars Kruse (AU).

PFEIFFER **VACUUM**

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
Erik.Fjeldgaard@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com