

rollen i fortællingen. Gæssene deltager nemlig i en årlig flyvekonkurrence med naboerne, og Gåsebygæs vinder altid, da de har den fordel, at deres næb er magnetiske, hvorfor de kan bruges som kompas, så gæssene hurtigt kan finde vej til målet. Men netop på dén sommerdag, hvor flyvekonkurrencen afholdes, er der et voldsomt tordenvejr med så mange lyn, at det slår gæssene helt ud af kurs, og Gåseby taber til alles overraskelse konkurrencen.



Gåsebyboerne beder derfor fysikeren Finn Foton forklare, hvorfor de ellers normalt så hurtigt gæs med

magnetiske næb pludselig ikke kunne finde vej, da lynene zigzaggede rundt om dem. Heldigvis har Finn Foton et apparat, der kan vise Gåsebyboerne sammenhængen mellem elektricitet og magnetisme, ligesom Ørsted opdagede det i 1820. Hvordan Gåsebyboerne kan sikre, at netop deres gæs vinder de fremtidige flyvekonkurrencer, skal dog ikke afsløres her.

Bogen er som nævnt anden bog i serien om Finn Foton: Den første bog, "Finn Foton og kvantefysikken", havde til formål at introducere kvantefysik for børn. Begge bøger er rigt illustrerede og byder på underholdende historier om Gåsebys fantasifulde univers, der samtidig vækker børns interesse for fysik og på en let og legende måde gør det muligt for dem at forstå den ellers komplicerede teori bag dagligdags fænomener.

Som fysiker savner jeg dog lidt mere teoretisk indhold, fx i form af flere "forsøg" med gæssenes magnetiske næb. Derudover mener jeg sagtens, at noterne bagerst i bogen om magnetisme og kompas kunne have været en del af forklaringen i historien. "Finn Foton og elektromagnetismen" er en sjov og spændende historie, der kan anbefales til alle nysgerrige børn – og deres forældre! Hvem havde mon troet, at Ørstedes opdagelse en dag kunne bruges til at forklare sammenhængen mellem magnetiske næb og lynnedslag i Gåseby?

CPG

KVANT-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson, *Kvant*

Rumtidens dans

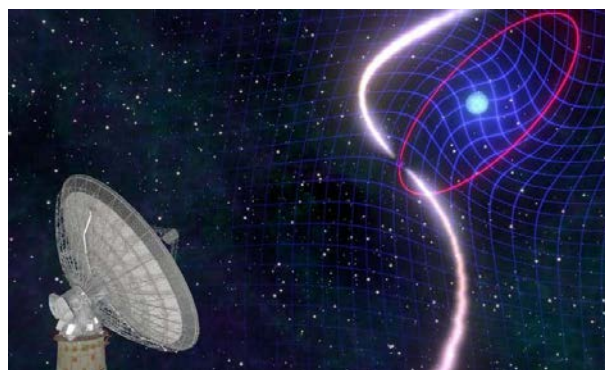
RELATIVITETSTEORI. For første gang er det blevet observeret, at rumtiden hvirvles rundt pga. et roterende stjernesystem. Det er systemet PSR J1141-6545, der består af en neutronstjerne i form af en roterende pulsar i kredsløb omkring en hurtigt roterende hvid dværg, der trækker rumtiden med rundt omkring sig. Effekten af den roterende rumtid er, at det plan, som hele kredsløbet bevæger sig i, vipper i forhold til det plan, systemet ellers ville følge.

Einsteins relativitetsteori forudsiger, at alle roterende objekter trækker rumtiden med i rotationen. Dette blev postuleret i 1918 af matematikerne H. Thirring og J. Lense, efter at de havde regnet på relativitetsteorien. For at studere denne effekt (kaldet frame dragging) er man dog nødt til at kigge på roterende objekter med meget høj massefylde, da de laver en stor krumning i rumtiden, samtidigt med at de roterer, og derfor laver en større (og målelig) frame dragging.

Både neutronstjerner og hvide dværge er meget tætte objekter. Den hvide dværg i systemet er på størrelse med Jorden, men har en densitet 300.000 gange højere end Jordens, og neutronstjernen, som har en diameter på 20 km, har en densitet omkring 100 milliarder gange Jordens.

For en million år siden begyndte neutronstjernen at kaste sine ydre lag af sig, og de faldt over på den hvide dværg og fik den til at rotere hurtigere og hurtigere. Forskerne har målt pulsarens hurtige rotation omkring den hvide dværg med stor præcision i næsten 20 år. De observerede, at pulsarens kredsløbsbane blev mindre, fordi den udsender energi i form af tyngdebølger, men de så også, at orienteringen

af kredsløbets plan ændrede sig. Pulsarer er meget stabile i deres udsendelse af radiopulser, så enhver afvigelse fra ankomsttiden af pulsene må være pga. pulsarens bevægelse som følge af andre objekter i nærheden.



Forskerne kunne kun få udregningerne af systemets bane til at passe med den generelle relativitetsteori, hvis de tillod en gradvis ændring i orienteringen af kredsløbets plan. Udregningerne viste, at systemet var underlagt frame dragging, og at kredsløbets orientering blev ændret pga. den hvide dværgets rotation. Den hurtigt roterende hvide dværg krummer rumtiden og trækker rumtiden med sig rundt, når den roterer. Dette gør, at baneplanet i pulsarens kredsløb omkring den hvide dværg ændrer hældning.

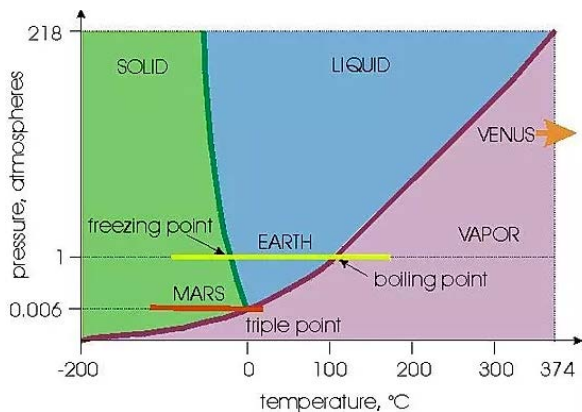
Det første eksperimentelle bevis for frame dragging blev observeret med fire gyroskoper i en satellit i kredsløb omkring Jorden. Effekten heraf var meget lille, og i PSR J1141-6545 træktes rumtiden 100 millioner gange kraftigere rundt. Kilde: V. V. Krishnan m.fl. (2020) "Lense-Thirring frame dragging induced by a fast-rotating white dwarf in a binary pulsar system", *Science*, bind 367, side 577–580. doi: 10.1126/science.aax7007.

Saltvand på Mars

PLANETFYSIK. Mars er som bekendt den af de syv andre planeter i vores solsystem, der er den mest oplagte kandidat for muligt liv. Det skyldes, at Mars ligger på grænsen til den beboelige zone, hvor flydende vand kan eksistere. Mars' atmosfære og overfladen på Mars indeholder desuden mange af de grundstoffer, der er nødvendige for liv fx brint, ilt, svovl, kvælstof, fosfor og kulstof. Derudover har NASA's Curiosity Rover's målinger vist, at der var mineralrigt og saltholdigt vand på Mars for flere milliarder år siden.



For nyligt har forskere så opdaget, at der om foråret dannes saltvand på Mars. Foråret på Mars markeres med den såkaldte krokusdag, hvor den sidste CO₂ fordamper fra overfladen. Atmosfæretrykket på Mars er lavt, men meget tæt på vands tripelpunkt, som er det punkt, der angiver temperaturen og trykket, ved hvilket H₂O kan eksistere i alle tre faser: is, vand og vanddamp. Tripelpunktet angiver derfor også minimumstrykket, der er nødvendigt for, at H₂O kan eksistere i flydende form, og her ligger atmosfæretrykket på Mars lige under H₂O's tripelpunkt. Da temperaturen på Mars er meget lav, eksisterer H₂O enten som gas eller is, og det er svært at have det i flydende form. Jorden derimod har en temperatur og et atmosfæretryk, som på et fasediagram ligger midt imellem smeltekurven og frysekurven for H₂O (se figuren), dvs. her er optimale betingelser for vand. Desuden gør Jordens højere tryk og temperatur det muligt for H₂O at eksistere i alle tre faseformer.



På Mars overgår is direkte til gasform (sublimation) pga. det lave atmosfæretryk. Derfor eksisterer H₂O på Mars kun som is på overfladen og som gas i atmosfæren. Forskellen i temperatur på Mars' overflade er stor, og der er både kolde områder med is og varmere områder uden is, men områder, hvor der kan være flydende vand, er næsten umulige at finde.

Hvordan kan der så dannes saltvand på Mars? Mars' overflade er flere steder dækket af store klippsten, og bag stenene er der skygge, når Solen om vinteren kun skinner lidt på overfladen. Området lige bag stenen er derfor meget koldt, og her vil der være H₂O i form af is. Når det bliver forår, varmes isen op, og forskernes beregninger viser, at temperaturændringen går fra -128°C til -10°C i løbet af få timer. Den store temperaturændring får isen til at tø meget hurtigt op. Hvis der er salt på overfladen, hvor isen ligger, sænkes smeltepunktet for H₂O til -10°C, hvilket gør, at

tripelpunktet rykkes, og der kan dannes saltvand. Udviklingen af modellerne og beregningerne for at forstå, om der kan dannes saltvand på Mars om foråret, har været lang tid undervejs, men er nu endelig lykkedes.

Kilde: N. Schörghofer (2020) "Mars: Quantitative Evaluation of Crocus Melting behind Boulders", *The Astrophysical Journal*, bind 890, side 49, doi.org/10.3847/1538-4357/ab612f

På vej mod kvantenetværket

KVANTEFYSIK. En kinesisk forskningsgruppe har demonstreret entanglement af to kvantehukommelser på en afstand af 50 km. Entanglement (sammenfiltring) betegner den situation, hvor to partikler er forbundet med hinanden på en sådan måde, at en måling på den ene partikel, fx på partiklens polarisation, vil bestemme udfaldet af målingen på den anden partikels polarisation, også selvom partiklerne er adskilt langt fra hinanden. Det var denne effekt, som Einstein kaldte "spooky action at a distance". Entanglement er demonstreret mange gange tidligere, men det nye er, at det er lykkedes at entangle to kvantehukommelser over en afstand på 50 km. Kvantehukommelserne består begge af en lille sky af rubidiumatomer, som bruger fotoner (lyspartikler) til at kommunikere med. Fotonerne vekselvirker med atomerne i skyen, som er placeret i en optisk kavitet, og atomskyen udsender kvanteinformation om skyen, som bliver gemt i fotonernes polarisation. Det er altså fotonerne, der bærer kvanteinformationen om atomskyerne, og hver foton er entangled med hver sin sky. De to fotoner bliver sendt gennem fiberkablet til et andet laboratorium, hvor de vekselvirker på en sådan måde, at de to atomskyer bliver entangled. Derefter er de to atomskyer i en entangled kvantetilstand, der afhænger af begge atomskyer. En del fotoner går tabt i fiberkablet, og selvom deres bølgelængde blev tilpasset kablets optimale bølgelængde for telekommunikation (1,342 μm), var forsøgets effektivitet kun 30%. Det er dog stadig den højeste effektivitet, der er målt i sådanne forsøg.



Et kvantenetværk består af kvanteknuder (atomskyerne), som kommunikerer gennem kvantekanaler med fotoner. Kineserne vil gerne udvide deres forsøg til at indeholde flere kvanteknuder separeret over meget større afstande, hvilket er nødvendigt for et globalt kvantenetværk. Da de to atomskyer i kinesernes forsøg befandt sig i samme laboratorium (det var kablet mellem dem, der var 50 km langt), er rekorden for separation af to kvanteknuder stadig 1,3 km, hvilket blev demonstreret i 2015 af en hollandsk gruppe i Delft. Den kinesiske forskningsgruppe har i 2017 demonstreret kvantekryptografi (QKD) mellem Jorden og en satellit i en afstand af 1200 km, og i 2018 mellem tre stationer på Jorden og en satellit, så det bliver spændende at følge deres kommende forskning. Til sammenligning med de 50 km fiberkabel skal det nævnes, at det er lettere at sende fotoner gennem rummet, end gennem et langt kabel pga. det store fotontab i kablet, som øges med kablets længde. Men sammen med det nye resultat af entanglement over en afstand på 50 km, er vi et skridt tættere på et globalt kvantenetværk.

Kilde: Y. Yu m.fl. (2020) "Entanglement of two quantum memories via fibres over dozens of kilometres", *Nature*, bind 78, side 240–245, doi: 10.1038/s41586-020-1976-7.