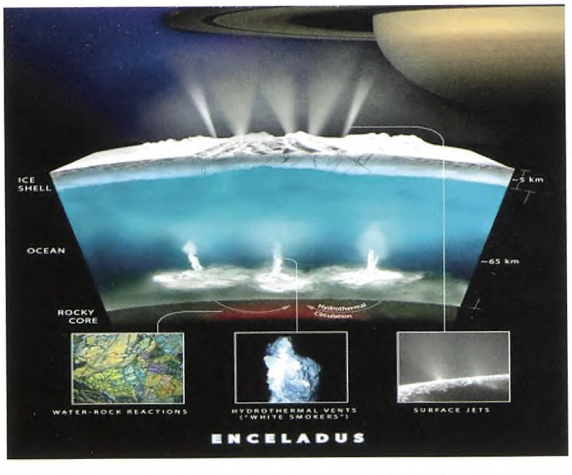
KVANT-nyheder

Af Christine Pepke Pedersen, KVANT

Liv på Enceladus?

ASTRONOMI. NASA har fundet tegn på, at der kunne være liv på Saturns ismåne Enceladus. Enceladus er kendt for, at der på sydpolen er observeret gejsere, der spyr søjler af gas ud. For nylig fløj Cassini-rumsonden tæt forbi Enceladus og ind i en af gassøjlerne for at analysere dens kemiske sammensætning. Cassini opdagede, at der fandtes dihydrogen H_2 (brint-)molekyler i gassøjlen. En forekomst af H_2 er et tegn på, at der på Enceladus foregår processer, som frigiver H_2, og de processer kan stamme fra levende organismer. Vi ved, at der under Enceladus' isoverflade befinder sig et hav og det er i det hav, at forskerne nu mener, at de har beviser for hydrotermisk aktivitet og dermed en kilde til kemisk energi. På Jorden kender vi hydrotermisk aktivitet fra hydrotermiske vælder i havet, der er sprækker i overfladen, hvorfra der kommer opvarmet geotermisk vand op. Vi ved, at der i de hydrotermiske vælder under havet findes liv i form af mikrober, der lever af den varme og de kemikalier, der eksisterer i vælderne. De kemiske processer mellem det varme vand og jernet i stenene i overfladen danner H_2, da jernet tager oxygen fra vandet og hydrogen bobler op. H_2 er vigtigt for mikroberne, der bruger det til at danne metan. Det er de samme processer, som forskerne mener at have opdaget på Enceladus med Cassinis måling af H_2 i gejserne. Opdagelsen af hydrotermisk aktivitet er ikke et bevis på, at der er liv på Enceladus, men viser, at der er en stor mulighed for liv på Enceladus. Da Jupiters måne Europa minder om Enceladus, og da der på Europa også er blevet observeret is-gejsere, forventer forskerne at kunne finde en lignende aktivitet der. NASA har derfor planlagt en mission, kaldet Europa Clipper, der skal undersøge Europa i 2020.

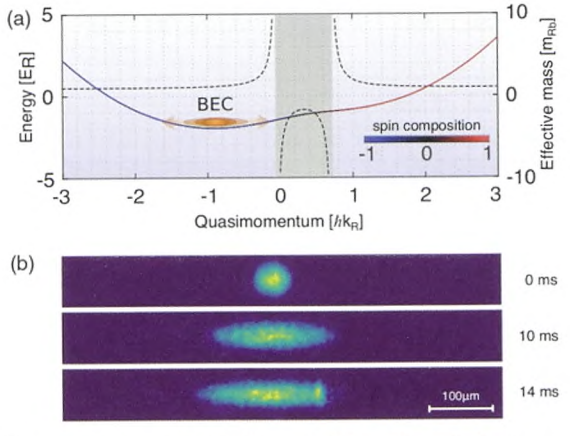


Enceladus. Kemiske reaktioner mellem sten og vand i havet danner dihydrogen der bobler op og senere spys ud af gejsere på overfladen. Figur fra dr.dk.

Kilde: J. Hunter Waite et al.: Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: Evidence for hydrothermal processes, *Science* vol. **356**, 6334, pp. 155-159 (2017). DOI: 10.1126/science.aai8703.

Fysikere skaber negativ masse

KVANTEFYSIK. Det er lykkedes forskere på Washington State University at skabe et stof med "negativ masse". Det vil sige, at når man påvirker stoffet med en fremadrettet kraft, accelererer det baglæns. Det er blevet foreslået, at massen af stof, ligesom elektrisk ladning, kan være positiv eller negativ. Stoffet forskerne brugte er Rb-atomer i et såkaldt Bose-Einstein kondensat. Et Bose-Einstein kondensat er en tilstand som bosoner (partikler med heltalligt spin) ved lav temperatur kan være i, hvor de alle har samme energi og befinder sig i samme kvantetilstand. Atomer kan opføre sig som bølger, og ved lav temperatur, hvor de bevæger sig meget langsomt, altså har lav bevægelsesmængde, har de en større bølgelængde (de Broglies formel $p = h/\lambda$). Ved meget lav temperatur vil atomernes bølgelængde være større end den gennemsnitlige afstand mellem to atomer og alle atomerne vil forme en enkelt kollektiv bølge. Man siger, at atomerne kondenserer i den lavest mulige kvantetilstand. Forskerne skabte et Bose-Einstein-kondensat ved at laserkøle Rb-atomerne til lige over det absolutte nulpunkt ($-273{,}15$ °C) og derefter med lasere fange atomerne i en fælde. Atomerne opfører sig i denne tilstand som en supervæske, det er en væske som flyder uden at miste energi. For at skabe negativ masse brugte forskerne lasere til at sparke atomerne frem og tilbage og på den måde ændre deres spin. Ændringen af spinnet ændrer på, hvordan atomerne vekselvirker med omgivelserne. Nu så det ud som om, at Rb-atomerne ramte en usynlig væg. Når forskerne påvirkede supervæsken med en kraft accelerede den i en retning modsat kraften, hvilket kan fortolkes som, at den har negativ masse.



Dispersionsrelationen (energi som funktion af bevælgelsesmængde) for et Rb-Bose-Einstein-kondensat, hvor det ses at der er en region med negativ effektiv masse. Figur fra kilde.

Kilde: M.A. Khamehchi et al.: Negative-Mass Hydrodynamics in a Spin-Orbit-coupled Bose-Einstein Condensate, *Physical Review Letters* vol. **118**, 155301 (2017). DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.155301.

Forårsagede Yucatán-nedslaget jordskælv i Colorado?

GEOFYSIK. Det berømte Chicxulub-meteornedslag der for 66 mio. år siden slog ned i Yucatán i Mexico, og forårsagede dinosaurernes uddøen, var langt kraftigere end hidtil antaget. Nu har forskere fra Stanford University, USA, nemlig fundet en sammenhæng mellem nedslaget i Yucatan og et kraftigt jordskælv i Colorado, der målte 6 på Richterskalaen. Forbindelsen blev opdaget da forskerne fandt et lag af iridium i en forkastningszone i Trinidad Lakes State Park i Colorado. På Jorden findes iridium kun naturligt i Jordens indre jernkerne, så et fund af iridium er et tydeligt tegn på at det stammer fra et meteornedslag. Forskerne kunne spore iridiumkoncentrationen til Yucatán-nedslaget, så jordskælvet skete altså på samme tidspunkt som meteornedslaget. Forskerne mener derfor, at de seismiske bølger, der blev skabt som følge af meteornedslaget, bevægede sig til Colorado, hvor de fik jorden til at bevæge sig med en hastighed på op til 2 m/s. Forskerne er sikre på, at jordskælvet var samtidig med meteornedslaget, da der ikke naturligt er jordskælv i Colorado, da Colorado ligger i midten af en tektonisk plade, så der er ikke nogle naturlige forkastningszoner. For 66 mio. år siden var Colorado meget mere sumpet og havde mange krydsende floder. Forskerne så desuden tegn på, at jordskælvet havde afledt en lille flod i området. Forskerne

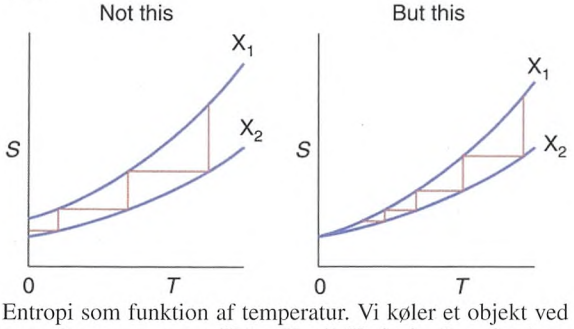
vil nu undersøge et område i New Mexico for flere tegn på jordskælv i midten af tektoniske plader som følge af Yucatán-nedslaget.



Kilde: N.H. Sleep & P. OLDS: Induced Intraplate Earthquakes in Colorado from Extreme Seismic Waves from the End-Cretaceous Asteroid Impact, præsenteret som poster på konferencen SSA Annual Meeting, april 2017.

Termodynamikkens tredje lov bevist

KVANTEINFORMATION. Termodynamikkens tredje lov siger, at det er umuligt at afkøle et objekt til det absolutte nulpunkt (−273,15 °C) i et endeligt tidsrum og med et endeligt antal trin. Denne lov, som kaldes det uopnåelige princip (unattainability principle) er nu blevet eftervist af forskere fra University College London ved at undersøge den maksimale hastighed af køling. De opdagede, at det er muligt at definere en hastighedsgrænse på kølingsprocessen, der gør, at det absolutte nulpunkt ikke kan opnås. Forskerne brugte ideer fra kvanteinformationsteori og computervidenskab til at eftervise loven. I disse felter er det ofte et fælles problem at skulle bestemme antallet af ressourcer, som en given opgave kræver.



Entropi som funktion af temperatur. Vi køler et objekt ved at ændre parameteren X fra X_1 til X_2 i trin. Det absolutte nulpunkt ($T=0$) kan nås med et endeligt antal trin, hvis $S(0, X_1) > S(0, X_2)$, dvs. hvis der er en entropiforskel i $T=0$ (figuren til venstre). Men der er ingen entropiforskel i $T=0$, i det absolutte nulpunkt gælder $S(0, X_1) = S(0, X_2)$, hvilket kun kan opfyldes med et uendeligt antal trin (figuren til højre). Figur fra kilden.

I kølingstilfældet var problemet at bestemme, hvor meget arbejde der måtte udføres, og hvor stort kølingsreservoiret skulle være for at afkøle objektet til det absolutte nulpunkt. De fandt, at det at køle et system til det absolutte nulpunkt enten kræver en uendelig mængde arbejde eller et uendelig stort reservoir. Dette resultat er også i overensstemmelse med den accepterede forklaring af det uopnåelige princip; at når et objekts temperatur nærmer sig det absolutte nulpunkt, nærmer objektets entropi (mængden af uorden) sig også nul, og det er ikke muligt at opnå et objekt med en entropi på nul med et endeligt antal trin. Forskerne undersøgte herefter hvor tæt de kunne komme på det absolutte nulpunkt i et endeligt tidsrum og med et endeligt antal ressourcer. De fandt en sammenhæng mellem tiden og den lavest mulige temperatur, altså hastigheden af afkølingen, og viste at med en lille forøgelse af antallet af ressourcer, kunne de komme til meget lave temperaturer, men at der er grænser. Et system kan fx ikke afkøles eksponentielt hurtigt, da dette ville resultere i en negativ varmekapacitet. Forskerne fandt, at de opnåede temperaturer kan skalere med den inverse potens af afkølingstiden. Desuden fastsatte forskerne grænser for hastigheden, hvorved information kan slettes. Resultatet af deres forskning har mange anvendelser, da afkøling til meget lave temperaturer er nødvendig for fx kvantecomputere og for præcisionsmålinger i kvanteoptik.

Kilde: L. Masanes & J. Oppenheim: A general derivation and quantification of the third law of thermodynamics, *Nature Communications* vol. **8**, 14538 (2017). DOI: 10.1038/ncomms14538.

Eksisterer mørkt stof overhovedet?

TEORETISK HØJENERGIFYSIK. En ny teori, udviklet af den hollandske fysiker Erik Verlinde, siger, at mørkt stof måske slet ikke eksisterer. Mørkt stof er ellers det stof som forudsiges at måtte eksistere, for at forklare observationer hvor stjerner, galakser og andre objekter i Universet påvirkes af tyngdekraften fra en tilsyneladende usynlig masse. Problemet med teorien vi har idag for mørkt stof er, at vi ikke kan bruge Einsteins ligninger (generel relativitetsteori) på et subatomart niveau. Der er også observationer af fx sorte huller som indikerer, at der må være mere end generel relativitetsteori til at forklare tyngdekraften.



Verlindes teori siger at mørkt stof ikke eksisterer og at tyngdekraften fremkommer som en fortolkning af kvanteinteraktioner. Einsteins generelle relativitetsteori beskriver tyngdekraften som en fortolkning af rumtidens krumning (rumtiden krummer pga. stof eller energi), men Verlinde mener altså, at tyngdekraften skabes af kvante-bits (qubits). Den nye teori hævder at kunne forklare den tilsyneladende eksistens af mørkt stof med mørk energi og kvanteinformation. Verlinde forklarer, at tyngdekraften er et produkt af kvanteinteraktioner og foreslår, at den ekstra tyngdekraft, som i dag er forklaret ved mørkt stof, er en effekt af mørk energi. Mørk energi er den energi der eksisterer overalt i rumtiden i hele Universet og som er ansvarlig for Universets accelererede udvidelse. Verlindes teori behandler rumtiden og stoffet, der befinder sig i den, som et hologram der opstår fra det underlæggende netværk af qubits. Mørk energi er en egenskab af qubits, og Verlinde argumenterer for, at på store skalaer i hologrammet vekselvirker mørk energi med stof på den helt rigtige måde til at skabe en illusion af mørkt stof. I Verlindes teori er alle data i rumtiden gemt i qubits. Qubits kan være i en superposition (både 0 og 1) og kan være "entangled" (sammenfiltrede) med hinanden (dvs. målingen af den ene qubits tilstand, bestemmer øjeblikkeligt tilstanden af den anden qubit, lige meget hvor langt væk fra hinanden de befinder sig). Mørk energi er i Verlindes teori en langtrækkende entanglement mellem de underliggende qubits. Denne universelle entanglement bliver forstyrret af stof, da det fjerner mørk energi fra den del af rumtiden som stoffet optager. Den mørke energi prøver at få sin plads igen ved at påvirke stoffet med en elastisk respons, og denne respons opfatter vi som den tyngdekraft, vi i dag mener, kommer fra mørkt stof. Hvilken teori der viser sig at passe bedst, Verlindes eller mørkt stof, må kommende observationer afgøre.

Kilde: E.P. Verlinde: Emergent Gravity and the Dark Universe, https://arxiv.org/abs/1611.02269 (2016).