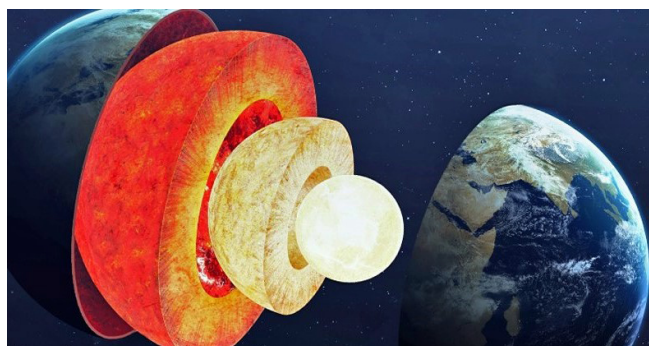


Nyt om Jordens indre kerne

GEOFYSIK. Ny forskning fra Peking Universitet i Kina viser, at Jordens indre kerne roterer langsommere end resten af Jorden. Jordens kerne er en kugle af varmt jern, som befinder sig ca. 5000 km under Jordens overflade. Jordens kerne består af et ydre og et indre lag. Den ydre kerne er flydende, mens den indre kerne er fast, hvilket den danske geofysiker Inge Lehmann viste i 1936 ved at studere udbredelsen af seismiske P-bølger (trykbølger) gennem Jorden. Den ydre flydende kerne bevirker, at den indre faste kerne kan rotere uafhængigt af Jordens rotation. Rotationen af den indre kerne er drevet af magnetfeltet, som den ydre kerne genererer, mens den bliver balanceret af kappens tyngdekraft. Viden om kernen kommer fra at studere jordskælv, der genererer seismiske bølger. Ved at studere små forskelle i de seismiske bølger når de bevæger sig gennem Jordens kerne, kan man få information om kernen.

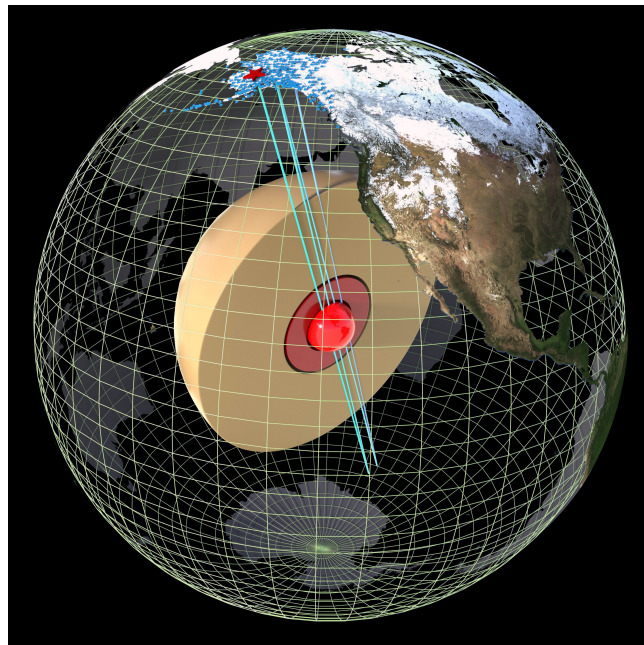


Figur 1. Illustration af Jordens indre: skorpen, kappen, den ydre og den indre kerne.

Det nye studie viser, at den indre kernes rotations-hastighed i forhold til Jordens kappe er faldende. Det er muligt, at kernen stopper med at rotere i forhold til kappen og ændrer rotationsretning. At Jordens indre kerne kan rotere uafhængigt af resten af overfladen, blev vist for omkring 30 år siden. Her kiggede forskerne på seismiske bølger fra jordskælv fra samme sted, men over forskellige årtier. Hastigheden af de seismiske bølger afhænger af materialet, som bølgen udbreder sig i. Hvis de seismiske bølger bevæger sig med samme hastighed gennem Jorden, betyder det, at den indre kerne står stille. Forskerne fandt, at der var forskel i hastigheden af de seismiske bølger og da bølgerne kom fra samme sted, måtte det betyde, at den indre kerne roterer uafhængigt af Jorden. Da bølgerne bliver påvirket af rotationen, kunne de desuden konstatere, at rotationshastigheden måtte være faldet mellem jordskælvne.

Den indre kernes rotationshastighed er studeret over mange år, og forskerne har observeret, at den i 1970'erne begyndte at rotere lidt hurtigere end resten af Jorden, men derefter atter sænkede farten, før den

blev synkroniseret med Jordens rotation omkring 2009. Siden da roterer den langsommere end resten af Jorden. Forskerne mener, at en rotationsperiode er ca. 70 år, og de forventer derfor, at den næste ændring er omkring midten af 2040'erne. Der er dog uenighed blandt geofysikerne om den præcise rotationsperiode.



Figur 2. Et jordskælv i Alaska, der får seismiske bølger til at trænge ind i Jordens inderste indre kerne.

Samtidig med rotationshastighedsstudiet har en anden gruppe fra Australiens Nationale Universitet opdaget, at Jordens kerne har et ekstra adskilt lag, hvilket indtil nu kun har været en hypotese. Ved at måle de forskellige hastigheder, som bølgerne bevæger sig igennem Jordens indre kerne med, mener forskerne, at de har fundet et ekstra særskilt lag inde i Jordens kerne. Indtil nu vidste vi, at Jorden består af fire adskilte lag; skorpen, kappen, den ydre kerne og den indre kerne. Det femte lag er inde i den indre kerne, og man kan forestille sig den som en fast metalkugle centreret i den indre kerne.

Forskerne har analyseret data fra ca. 200 kraftige jordskælv fra det sidste årti. Forskerne studerede seismiske bølger, der bevægede sig fra jordskælvlokationen direkte gennem Jordens kerne til den anden side af kloden og tilbage igen. Ved at udvikle en teknik til at forstærke signalerne fra seismograferne, observerede de for første gang seismiske bølger, der bevægede sig frem og tilbage op til 5 gange langs Jordens diameter. Det er interessant, da det er en ny metode til at undersøge Jordens indre kerne på. Forskerne observerede, at de seismiske bølger, der blev sendt frem og tilbage, ramte

punkter tæt på Jordens center fra forskellige vinkler. De fandt ud af, at bølgerne bevægede sig anderledes i den inderste del af den indre kerne end i den ydre del af den indre kerne. De mener at kunne forklare det med, at krystalstrukturen i kernens inderste lag er forskellig fra det yderste lag. De mener desuden, at det kan forklare hvorfor de observerer, at bølgerne øger eller sænker hastigheden afhængigt af indgangsvinklen til kernen. Det er muligt, at en større begivenhed i Jordens fortid har ændret krystalstrukturen af Jordens indre kerne. Jordens indre kerne er særlig interessant, da den er som en tidskapsel, der kan fortælle om begivenheder, som skete for millioner af år siden. Der er stadig mange ubesvarede spørgsmål om Jordens indre kerne. Måske får vi en dag, gennem studier af kernen, svar på præcis, hvordan Jorden blev dannet.

Kilder: Y. Yang og X. Song (2023) "Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation", *Nature Geoscience*, bind 16, side 182–187.

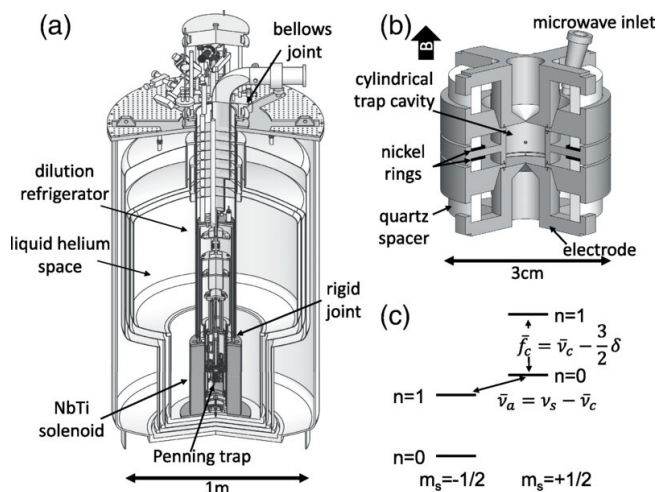
Research Briefing (2023) "Differential rotation of the Earth's inner core changes over decades and has come to near-halt", *Nature Geoscience*, bind 16, side 113-114.

T.-S. Pham og H. Tkalčić (2023) "Up-to-fivefold reverberating waves through the Earth's center and distinctly anisotropic innermost inner core", *Nature Communicaton*, bind 14, artikel 754.

Mest præcise måling af elektronens magnetiske moment

MAGNETISME. En gruppe fra Harvard Universitet og Northwest Universitet har udført den hidtil mest præcise måling af elektronens magnetiske moment. Det magnetiske moment af en elektron er en indre egenskab, som opstår pga. elektronens spin og ladning. Elektronens ladning, som er i bevægelse, danner en strøm og virker derfor som en magnetisk dipol. Et eksternt magnetfelt vil fx påvirke elektronen med et kraftmoment for at få elektronen til at rette sig efter feltet. Det magnetiske moment fortæller om elektronens tilbøjelighed til at rette sig efter magnetfeltet. Forskerne har bestemt elektronens magnetiske moment μ til $-\mu/\mu_B = 1,00115965218059(13)$ hvor μ_B er Bohrmagnetonen. Præcisionen er 2,2 gange bedre end den indtil da mest præcise værdi, som blev målt for 14 år siden.

Det er vigtigt at måle indre egenskaber som elektronens magnetiske moment med høj nøjagtighed, da præcise målinger vil hjælpe med at udvikle standardmodellen. Elektronens magnetiske moment bruges til at teste standardmodellen ved at studere vekselvirkninger mellem elektroner og virtuelle partikler i et vakuumkammer. Vakuum er som bekendt fyldt med virtuelle partikler, som kan hoppe ind og ud af eksistens. De virtuelle partikler kan vekselvirke med elektronen og ændre dens respons til et magnetfelt og dermed påvirke dens magnetiske moment og g -faktor. Den forventede værdi af elektronens g -faktor kan udregnes, hvor man tager højde for vekselvirkningen med elementarpartikler. Enhver afvigelse fra den teoretiske værdi kan afsløre manglende elementer i standardmodellens partikler og vekselvirkninger. For en elektron kan en afvigelse fx betyde, at elektronen ikke er en elementarpartikel, men har en indre struktur.



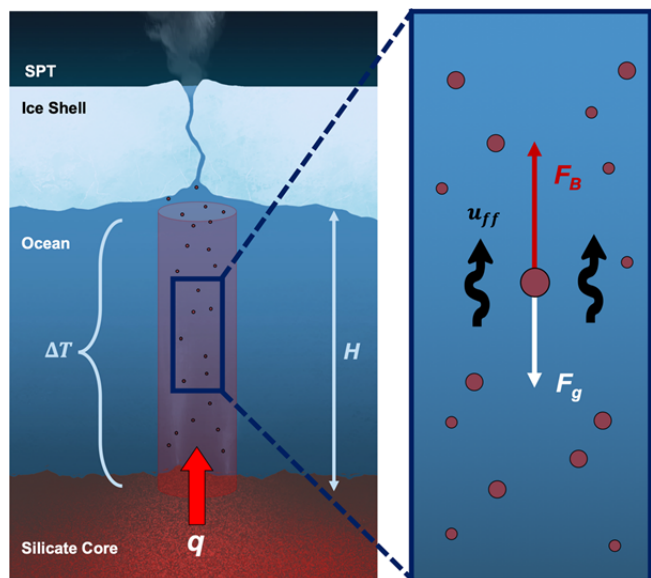
Figur 3. Penningfælden: a) Viser solenoidspolen i kryostat, som danner et stabilt magnetfelt, hvori elektronerne fanges, b) viser elektroderne i Penningfælden, og c) viser de anvendte energiniveauer til målingen. Figur fra kilde.

Elektronens magnetiske moment måles i en såkaldt Penningfælde, der kan fange ladede partikler med elektromagnetiske felter. Penningfælden består af en kryostat med en temperatur nær nulpunktet og et kraftigt magnetfelt på 5 T. Forskerne måler på enkelte elektroner, når de springer mellem forskellige energiniveauer. Ved at tilføje en lille gradient i magnetfeltet kan forskerne bruge teknikken "quantum nondemolition" til at måle kvantespringene uden at ændre elektronens kvantetilstand, hvilket giver den ekstraordinært lave usikkerhed på målingerne. Forskernes har med deres målinger bekræftet, at elektronen er en elementarpartikel.

Kilde: X. Fan m.fl. (2023) "Measurement of the Electron Magnetic Moment", *Phys. Rev. Lett.*, bind 130, artikel 071801.

Nyt tegn på muligt liv på Enceladus

ASTROBIOLOGI. Et nyt studie fra Californiens Universitet viser, at hydrotermiske ændringer i Enceladus' havbund kan være kilden til fundet af kvartspartikler i Saturns E-ring. Enceladus er en af Saturns måner, og består af is. Saturn har som bekendt flere flotte ringe, og E-ringen er bredere og tykkere end de andre, og indeholder bl.a. partikler af is og kvarts. Enceladus er kendt for, at der på sydpolen er observeret gejsere, der spyr søjler af gas ud, og at der under isoverfladen på Enceladus er et ocean af vand. I 2017 opdagede Cassinirumsonden, at der er tegn på hydrotermisk aktivitet på bunden af Enceladus' hav (se nyhedssektionen i Kvant nr. 2, 2017). Cassinirumsonden fløj dengang tæt forbi Enceladus og ind i en af gassøjlerne for at analysere dens kemiske sammensætning. Cassini opdagede, at der fandtes dihydrogenmolekyler (H_2) 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, som vi fx kender det i form af mikrober i hydrotermiske kilder på bunden af Jordens oceaner.



Figur 4. Figur af en hvirvel, der fører partikler op fra Enceladus' hav til gejserne. Ved siden af vises kraftdiagrammet på en opadgående partikel. Figur fra kilde.

Ved at studere Saturns ringe kan man således finde indikationer på muligt liv på Enceladus, da forskerne mener, at de observerede kvartspartikler kommer fra

de hydrotermiske kilder på bunden af Enceladus' ocean, hvorfra de bliver transporteret op til overfladen. Desuden kan gejserne på ismånen sende materiale ud i rummet til E-ringen.

Et modelstudie har vist, at kvartspartiklerne kan blive transporteret gennem havet hurtigere end tidligere antaget. Forskerne mener, at tidevandskræfter fra Saturn deformerer Enceladus' klippekerne og isoverflade, og at bunden af havet bliver opvarmet af de hydrotermiske kilder, som det skaber. Derfor kan havet under isoverfladen være flydende. Tidevandsfriktionen tilføjer varme til havet, og er kilden til de opadgående strømme af varmt vand fra de varme kilder. Strømmene er stærke nok til at opsamle materiale fra havbunden og bringe dem op til isoverfladen. Forskerne har vist, at det kun tager få måneder for partiklerne at rejse fra havbunden op til overfladen, men det er endnu uklart, hvor lang tid, det tager for partiklerne at blive transporteret ud i rummet fra overfladen af Enceladus. Forskerne studerer stadig havets udvikling for at forstå, hvad der kunne ende i rummet. Således kan også sammensætningen af Saturns E-ring give et vigtigt indblik i, hvad præcis der er under Enceladus' isoverflade – måske er der endda liv!

Kilde: A.M. Schoenfeld m.fl. (2023) "Particle entrainment and rotating convection in Enceladus' ocean", *Commun. Earth & Environ.*, bind 4, artikel 28.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Malling



Opdatering af DFSs medlemsliste

Dansk Fysisk Selskab har skiftet til et nyt medlemssystem, og vi har derfor brug for at opdatere medlemmernes informationer. Særligt mangler vi e-mail-adresser fra mange. Fremover vil kommunikation til medlemmerne ske via e-mail, og det er derfor vigtigt, at vi har en gyldig e-mail-adresse for alle medlemmer. Vi udsender elektroniske nyhedsbreve via Mailchimp, og afsenderen står som Dansk Fysisk Selskab med adressen mail@danskfysiskselskab.dk.

Er du medlem af DFS, vil du bl.a. have modtaget et nyhedsbrev den 1. marts per e-mail. Hvis ikke, bedes du opdatere din profil med en gyldig e-mail.

Opdatering af profilen sker ved enten at indtaste følgende link (tinyurl.com/5bbe5xan) i en browser eller scanne QR-koden for at gå direkte til medlemsformularen. Formularen kan også tilgås fra vores hjemmeside www.danskfysiskselskab.dk

Vi vil samtidig gerne opfordre alle interesserede til at melde sig ind som medlem i DFS – Danmarks landsdækkende forening for fysik. Alle fysikere er velkomne, og vi glæder os til at afsløre flere spændende nye tiltag i år.

Tilmelding sker via ovenstående links. Ordinært medlemskab koster 400 kr. om året og studerende (inkl.

ph.d.-studerende) betaler kun 150 kr. per år. Med i prisen får man fire numre af Kvant om året. Man får desuden rabat på deltagergebyret ved årsmødet og mulighed for at deltage i medlemsarrangementer.



Opkrævning af medlemskontingent vil fremover ske via e-mail. Som noget nyt er det nu muligt at betale kontingentet via MobilePay. Det er stadig også muligt at foretage automatisk betaling via Betalingservice, men girokortindbetaling vil ophøre fra 1. maj 2024.

Bestyrelsen for DFS vil gerne benytte lejligheden til at sige en stor tak til lektor emeritus Bjarne Andresen fra Niels Bohr Institutet, som har vedligeholdt selskabets medlemskartotek igennem flere årtier.