

HVAD FEYNMAN GØR, ER ALTID DET RIGTIGE

En effekt af relativitetsteorien er, at Jordens centrum er et par år yngre end overfladen. En berømt fysikers lille regnefejl om dette spørgsmål er anledningen til denne historie om den fascinerende effekt, og om hvordan videnskabsfolk arbejder.



Ulrik Uggerhøj er professor i fysik med særlig interesse for relativistiske eksperimenter. Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet ulrik@phys.au.dk



Jan Faye er lektor i filosofi og har i mange år arbejdet med videnskabernes erkendelsesteori. Institut for Medier, Erkendelse og Formidling Københavns Universitet faye@hum.ku.dk



Rune E. Mikkelsen er fysiker og driver selvstændig virksomhed. rune@phys.au.dk

I første udgave af den populære lærvidenskabelige bog *Tid* i serien *Tænkepauser* hævder en af denne artikels forfattere (Ulrik), at Jordens centrum er et par dage yngre end overfladen. Oplysningen blev videregivet i god tro, da den angiveligt stammer fra en af fysikkens helt store stjerner Richard Feynman (1918-1988).

Men oplysningen er ikke korrekt – det rigtige svar er, at Jordens centrum er et *par år* yngre end overfladen. Det opdagede Ulrik, da han begyndte at skrive en ny lærebog i relativitetsteori, for første gang på dansk, hvor han naturligvis måtte gå alle udregninger igennem selv.

Feynmans fejl er ikke i sig selv bemærkelsesværdig, men det viser sig, at adskillige andre fysikere – udover Ulrik – ukritisk har taget Feynmans ord for gode varer. Det er en fremgangsmåde, der ikke er ualmindelig, og historien fortæller således noget om, hvordan viden-

skabens fremskridt (også) kan foregå.

Det vender vi tilbage til. Først vil vi forklare, hvorfor Jordens centrum er yngre end overfladen. I virkeligheden er der tale om et illustrerende og temmelig hypotetisk eksempel, som handler om, at massive legemer i princippet har en kerne, der er yngre end overfladen (og i samme åndedrag at din hud er en lillebitte smule ældre end din mave). Alt sammen er det en effekt af relativitetsteorien.

Tyngdekraft, acceleration og tidens gang

Et af den specielle relativitetsteoris mest benyttede resultater er, at "et ur i bevægelse går langsomt". I den meget korte udgave skyldes dette fænomen, at jo mere et objekt bringes til at bevæge sig gennem rummet (altså rummet i den abstrakte forstand: længde, højde, bredde), jo mindre kan det "bevæge sig" gennem tiden. Forklaringen bunder i det eksperimentelt meget veletab-

lerede faktum, at lysets hastighed i vakuum altid er den samme, 299.792.458 m/s, som altså er en form for "vekselskurs" mellem rum, målt i meter, og tid, målt i sekunder.

Et andet element i relativitetsteorien – i dette tilfælde den generelle – er det såkaldte ækvivalensprincip, som siger, at et accelereret system lokalt ikke kan skelnes fra et tyngdefelt, medmindre man kan "kigge udenfor". Hvis du fx stiller dig på en badevægt i en elevator og trykker på knappen, der bringer dig op til næste etage, vil du, mens elevatorstolen accelererer, se på vægten, at du vejer lidt mere. Under opbremsningen, lige inden du når etagen ovenover, forholder det sig omvendt: Da vil din vægt være en smule mindre end ellers. Hvis du ikke ved, hvad din varierende vægt skyldes – nemlig at elevatoren accelererer – kunne du tro, at det var, fordi Jordklodens masse kortvarigt blev større, hvorved dens tyngdekraft trak mere i dig, for derefter at aftage igen. På den



GPS-satellitter er en slags "anvendt relativitetsteori". Hvis man ikke tager hensyn til, at et ur i bevægelse går langsomt og at et ur længere ude i tyngdefeltet går hurtigt, vil GPS-systemet ophobe en fejl på ca. 8 m i minuttet. Illustration: US Government

måde er tyngdekraft og acceleration uskelnelige.

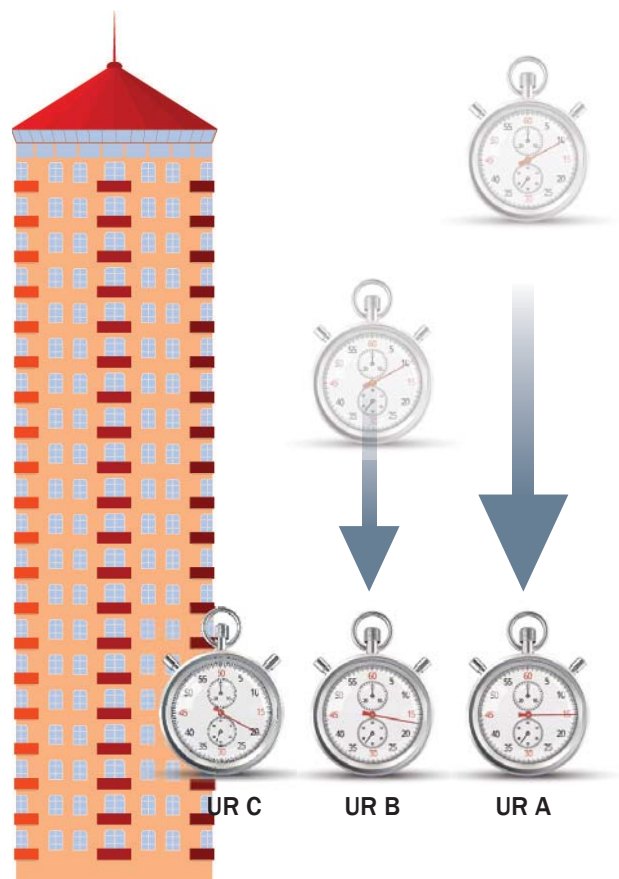
Et ur i jordens centrum

Vi benytter nu den første observation, at et ur i bevægelse går langsomt, til at vise at et ur længere inde i tyngdefeltet går langsomt sammenlignet med ét længere ude:

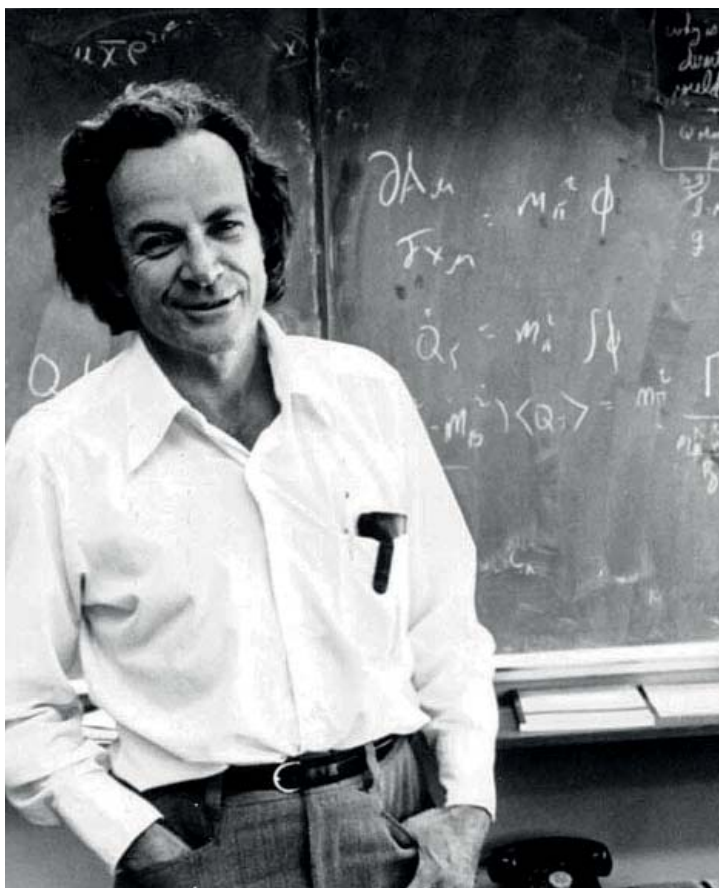
Lader man to ure A og B falde ned mod Jorden fra forskellig højde, vil de, idet de passerer et tredje ur C, have forskellige hastigheder. Uret A, der kom højt oppefra, vil passere det tredje ur C med højere fart end uret B, der begyndte sit fald længere nede end A. Da et ur i bevægelse går langsomt – og jo hurtigere bevægelse, jo langsommere gang – vil uret A altså gå langsommere end B. Så for det ur, hvor tyngdekraften kan have virket på det i et fald over et længere stykke, går tiden altså langsommere. Benytter man ækvivalensprincippet, kan man konkludere, at det også må gælde, at et ur i bunden af en accelererende raket går langsommere end et i toppen.

Med dette in mente kan vi igen vende interessen mod Jorden, for samme effekt gør sig gældende for Jordkloden: Et ur i centrum, det kunne fx måles ved en bestemt type radioaktive henfald, går langsommere end et ur ved overfladen. Men, vil læseren måske indvende, i centrum af Jorden er tyngdekraften da nul, simpelt hen på grund af symmetrien. Hvor skulle tyngdekraften ellers pege hen? Så fænomenet kan ikke afhænge af tyngdekraften alene. Det er derimod en "opsummeret" effekt, nemlig tyngdefeltets potential (matematisk set et integral over tyngdekraften prikket med vejen),

Nu er der jo ikke atomer i centrum af Jorden, der er faldet derind (alene af den grund, at hvis de faldt derned, gennem et rør fx, ville de efter ca. 3 kvarter dukke op på den anden side af Jorden). Men alligevel går tiden langsommere for objekter, hvor tyngdekraftens opsummerede effekt, set i forhold til uendelig langt



I forhold til et stationært ur (C) går tiden langsommere for et ur, hvor tyngdekraften kan have virket på det over et længere fald.



Fysikeren Richard Feynman (1918-1988) regnes som en af de største – hvis ikke den største – amerikanske fysikere. Foto: Wikimedia Commons cc-by-3.0.

væk, er større på grund af det længere stykke, den kan virke over.

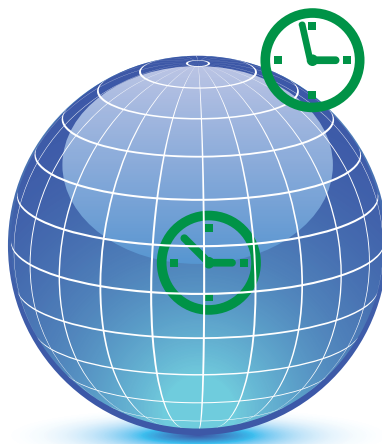
Upassende kritik...

Som nævnt er fysikeren Richard Feynman citeret for oprindeligt at have postuleret, at Jordens centrum er et par dage yngre end overfladen.

Men hvad gør en sådan fejl specielt interessant? Det er interessant, fordi det for en fysiker er relativt let at tjekke, om påstanden er korrekt. Adskillige fysikere – herunder nogle berømte af slagsen – har siden citeret Feynman for netop denne fejlagtige påstand. Altså uden selv at tjekke den.

Da vi selv havde regnet på sagen, skrev vi derfor en videnskabelig artikel, der korrigerede fejlen, og indsendte den i første omgang til et amerikansk tidsskrift. Men i den såkaldte peer-review-proces, hvor artiklen bliver bedømt af fagfæller, blev artiklen udsat for

heftig kritik. Bl.a. blev det fremhævet, at den konfrontatoriske tone var yderst upassende, at det ikke var på sin plads på denne måde at kritisere Feynman (som regnes for en af de allerstørste, hvis ikke den største, af de amerikanske fysikere), og at manuskriptet var "aldeles upassende i den videnskabelige



Et ur på overfladen går hurtigere end et i centrum af Jorden.

litteratur", om end øjensynligt fejlfri. Så vi endte med at sende til et europæisk tidsskrift, som var noget mere omgængeligt. Og efter udgivelsen blev vi kontaktet af adskillige journalister fra England, Tyskland, USA, Spanien og Danmark, der fandt effekten både illustrativ og underholdende.

Når berømtheder laver regnefejl

Det er ikke første gang i videnskabshistorien, at fremtrædende og berømte fysikere har begået en "regnefejl", som ukritisk er blevet gentaget af andre fysikere. Et interessant eksempel, set med danske øjne, omtales af den højt respekterede fysiker Christian Møller (1904-1980), professor i fysik ved Københavns Universitet, der i mange år selv var offer for en lignende fejltagelse. Han skrev en meget benyttet lærebog i relativitetsteori *The Theory of Relativity*, som udkom første gang i 1952 og blev genoptrykt adskillige gange årene efter.

I 1972 udkom bogen i en ny udgave, og heri gjorde han i en note opmærksom på, at en ligning i 1952-udgaven var forkert. Den forkerte ligning var fremkommet i årene efter formuleringen af relativitetsteorien, hvor både Albert Einstein og Max Planck prøvede at anvende den på termodynamiske problemer. Begge nåede frem til en fejlagtig ligning angående varmeopbygningen i et elektrisk system set ud fra forskellige iagttagere, fordi de begge byggede på den samme fejlagtige antagelse. Derved blev der byttet om på tæller og nævner i deres formulering. Deres udregning blev alment accepteret, indtil to fysikere, Heinrich Ott og H. Arzelies uafhængigt af hinanden så sent som i 1960'erne opdagede fejlen. Og som Christian Møller bemærkede, så havde han også blot gentaget fejlen i førsteudgaven af *The Theory of Relativity*.

En påstands rigtighed

Sammen med Feynmans "fejl" viser disse eksempler os noget om menneskets psykologi og kognitive

Tidsmaskiner og GPS

Som det fremgår i artiklen, har tyngdefeltets styrke indflydelse på, hvor hurtigt fysiske processer forløber og dermed på, hvor hurtigt tiden går – og derfor er Jordens centrum yngre end dens overflade.

En lidt spøjs sideeffekt til det fænomen er, at en hul, men (meget) tung kugle i princippet kan fungere som en fremadgående tidsmaskine: Opholder man sig inde i kuglen ældes man langsommere end udenfor, og man vil derfor fx kunne bruge 10 leveår på at komme 20 år ind i "den ydre verdens" fremtid. Det forholder sig på præcist samme måde, hvis man bevæger sig med høj hastighed – hvilket er udtrykt i det såkaldte tvillingeparadoks, hvor en tvilling, der sendes med en raket ud i rummet og tilbage igen, vil være yngre end den tvilling, der blev efterladt på Jorden.

Det samme fænomen betyder, at tidens gang på overfladen af Jordkloden er sløvet med ca. 695 picosekunder pr. sekund i forhold til uendelig langt væk. Så vi le-

ver faktisk knap 2 sekunder længere på Jorden, end vi ville gøre langt ude i rummet i løbet af et liv på 80 år.

Selvom disse effekter kan virke eksotiske og hypotetiske, finder de også en helt konkret anvendelse. Tiden ombord på GPS-satellitterne i en højde af omkring 20.000 km over Jordens overflade går således lidt hurtigere, set fra Jorden. Det betyder, at hvis man glemmer denne effekt, ophober GPS-systemet en fejl på omkring 10 m i minuttet (og tager man satellitternes hastighed med, er fejlen "kun" 8 m i minuttet). Så selvom der er tale om en illustration, er effekten som sådan af direkte teknologisk relevans. Og i den ekstreme grænse, hvor man taler om objekter med et meget kraftigt tyngdefelt, sløves tidens gang betydeligt på overfladen, set udefra. Således står tiden stille på "overfladen" af et sort hul, hvorfor de tidligere hed "frosne stjerner", tiden går simpelthen ikke på deres overflade, set udefra.

arbejdsdeling. Vi forholder os mere ukritiske til personer, som vi tiltror stor viden og personlig integritet. Allerede Aristoteles bestemmer dette fænomen i sin Retorik. Et arguments holdbarhed vurderes bl.a. ud fra den etos, som en person har – dvs. andre har en tilbøjelighed til at vurdere rigtigheden af personens synspunkter ud fra, hvordan vi opfatter ham eller hende, der fremfører dem, og ud fra hvilken faglig autoritet vi tilskriver personen. Så om begge eksempler kan vi sige, at troværdigheden af den fremførte påstand kom fra personernes etos, før nogle satte sig ned og tænkte efter. Det kan vi kalde for appellen til en persons etos.

Der er selvfølgelig ikke tale om et matematisk bevis, men om at vi alle ofte accepterer et arguments rigtighed ud fra vor tiltro til den person, som fremfører det. Det er et vigtigt træk ved menneskets kognitive arbejdsdeling, hvor vi

anerkender andres ekspertise, fordi ingen af os magter at sætte os ind i alting. Videnskaberne er også afhængig af en sådan arbejdsdeling, bestemt af hvilke områder forskeren tidligere har ydet sit bidrag til. Det er derfor heller ikke en god videnskabelig praksis hele tiden at skulle efterprøve og kontrollere andres resultater. I stedet søger man at bygge oven på andres "opdagelser", indtil man eventuelt finder ud af, at der er nok begået en "fejl" et eller andet sted.

En sådan appel til en forskers etos kan naturligvis også misbruges af forskeren selv. I uheldigste tilfælde udnytter forskeren med høj etos sin faglige autoritet til at undertrykke og intimidere forskere og forskningsresultater, som går imod den pågældende forskers egen opfattelse. Det findes der mange eksempler på i videnskabshistorien. Et klassisk eksempel er den

stærke opposition til Alfred Wegeners kontinentaldrift-hypotese fra autoriteter som Harold Jeffreys, der var Cambridge-professor i geofysik. En opposition, der fremkom til trods for, at en anden geofysiker, Arthur Holmes, allerede i 1931 havde udpeget den radioaktive mekanisme, som forårsager kontinentaldriften. Fænomenet blev først alment accepteret blandt geofysikere i slutningen af 1950'erne og i løbet af 1960'erne.

Et kig ind i forskerverdenen

Feynmans lille regnefejl ender altså med at blive interessant, fordi eksemplet fortæller os noget om de psykologiske og kulturelle omstændigheder, hvorunder forskerne arbejder. Forskerne er afhængige af hinandens resultater, og det gør, at de er tilbøjelige til at acceptere videnskabelige berømteders fejltagelser, også selv om fejlen burde være ganske åbenlys. ■

Videre læsning

U.I. Uggerhøj, R.E. Mikkelsen and J. Faye: The young centre of the Earth, Eur.J.Phys. vol. 37, 035602 (2016)
Artiklen kan frit tilgås på: <http://arxiv.org/abs/1604.05507>

Ulrik Uggerhøj: Tid. Tænkepauser fra Aarhus Universitetsforlag, 2014

Ulrik Uggerhøj: Relativitetsteorien. Aktuell Naturvidenskab nr. 3/2006

Ulrik Uggerhøj: Den relativistiske tommestok. Aktuell Naturvidenskab nr. 2/2004