

Tiden og tidsrejser

Christian Schultz, Institut for fysik og astronomi, Aarhus Universitet.

Et ofte brugt citat om tid tillægges St. Augustins 'Bekendelser' fra ca. år 400: 'Hvad er tid? Hvis ingen spørger mig om det, ved jeg det. Hvis jeg vil forklare det, ved jeg det ikke'. Dette citat illustrerer meget godt sværheden af at forklare, hvad tiden egentlig er. Vi skal i denne artikel se nærmere på, hvad tiden er i fysikken, og også diskutere forskellige slags tidsrejser. Vi vil diskutere både den slags tidsrejser, som faktisk kan lade sig gøre (for de findes faktisk!), og også den mere spekulative slags. Desuden vil vi se på konsekvenserne af tidsrejser i form af tidsparadokser, der kan opstå, hvis man ændrer fortiden.

Hvad er tid?

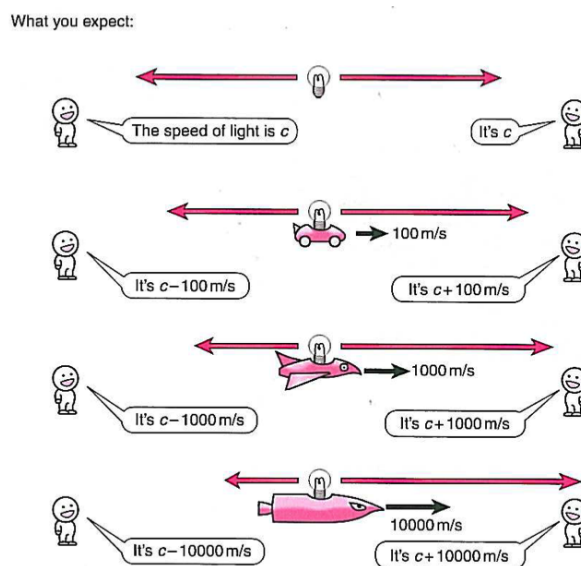
Tiden er en fundamental størrelse i vores hverdag, og præcise tidsmålinger ligger til grund for meget af den måde, hvormed vores samfund er struktureret på (tænk fx på en travl 37 timers arbejdsuge). Men hvad tid egentlig er, er et meget dybt spørgsmål. Det kan være svært præcist at definere tid. Slår man for eksempel 'tid' op i en ordbog, er det ofte forklaret i glosser indeholdende ord som interval og periode – men slår man disse op, er de i sig selv defineret ud fra tid, så det leder altså til en cirkel-slutning. Så også i sprogmæssig forstand er tiden en lidt flygtig størrelse. Vi kan dog godt nævne nogle få ting, der kan bruges til at karakterisere tiden, hvis vi skulle beskrive den for en fremmed civilisation. Tiden går altid kun én vej – man ser aldrig et ur gå baglæns af sig selv, og man ser aldrig et væltet korthus spontant samle sig selv igen. Tiden har så at sige en 'pil' – undertiden omtalt tidens pil. Hvis man ligeledes skal tro den gren af den moderne fysik, som vi kalder kosmologi (og der er god grund til at tro denne!), så startede Universet, og dermed også tiden selv, med et Big Bang – så tiden har også en 'begyndelse'. Det er også en mulighed, at Universet en dag ender med at trække sig sammen i et Big Crunch, så tiden kan også have en afslutning¹.

Idet fysikere er meget pragmatisk anlagt, er det naturligt at kæde definitionen af tid sammen med den måde, den bliver målt på. Det er derfor ofte tilstrækkeligt at definere tiden 'som det man kan måle på et ur, der følger med din bevægelse'. Bemærk, at denne meget praktiske definition bevidst undgår alle spørgsmål om tidens natur, og tiden defineres ved en måling på et velkendt instrument. Bemærk også, at med denne definition kan man ikke tale om tid, før man rent faktisk har konstrueret et ur, der jo i første omgang er konstrueret til at måle tid. Hvis man fx var strandet uden et ur på en ø befolket af hulemennesker, ville denne definition være nyttesløs. Man ville være tvunget til først at definere tid på én måde, konstruere et ur for at måle tiden i henhold til den netop vedtagne definition, og så derefter redefinere tiden til at være det, man målte på uret (og så ellers håbe på, at uret ikke går i stykker). Lad os

alligevel i resten af denne artikel tænke på tid, som 'det man måler på sit lommeur'.

Tid, Einstein og lysets hastighed

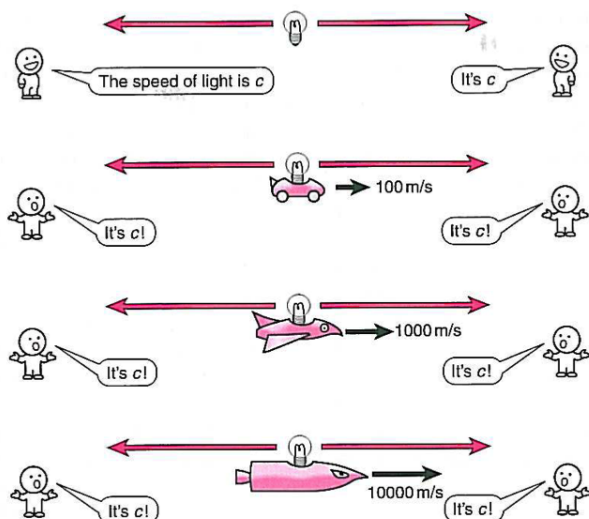
Tidsopfattelsen i fysikken ændrede sig markant med Einsteins Specielle Relativitetsteori fra 1905. Den grundlæggende antagelse i Einsteins specielle relativitetsteori er det såkaldte relativitetsprincip: at lysets hastighed c i vakuum er en naturkonstant, der er ens for alle observatører – uanset deres egen bevægelse. Det vil sige, at uanset om man bevæger sig med 100 km/t på motorvejen, så vil man måle c til den samme værdi som en observatør, der står stille i vejkanten. Klassisk ville man forvente, at hvis observatøren i bilen målte lysets hastighed til at være c , så ville en observatør, der ser bilen nærme sig, måle $c + 100$ km/t. Han måler dog faktisk c , uanset bilens hastighed. De to situationer, den klassiske situation og den rigtige relativistiske situation, er fremstillet på de to nedenstående figurer.



Figur 1a. Den klassisk forventede situation ved måling af lyshastighed for en bevægende kilde. Lysets hastighed er c i forhold til bilen.

¹Big Crunch-modeller er dog med stor sikkerhed udelukket på baggrund af observationer, men det er et andet – og yderst interessant – emne.

What really happens:



Figur 1b. Hvad man ifølge relativitetsprincippet vil måle for lyshastigheden for en bevægende kilde. Eksperimenter verificerer denne fremstilling. Lysets hastighed er c i forhold til alle observatører.

Ud fra relativitetsprincippet og relativt simple udregninger viste Einstein, at det medførte, at tiden er *relativ* – dvs. at forskellige observatører måler forskellig tid. Den tid, de måler, afhænger af deres bevægelse. Vi vil af pladshensyn ikke gennemføre argumentet her, men blot nøjes med at illustrere ideen om, at tiden er relativ. Lad os fx forestille os, at observatøren i bilen fra før og observatøren i vejkanten mødes til en kop formiddagskaffe. De synkroniserer begge deres ure til at vise præcis det samme tidspunkt – for eksempel 10:00. Bilobservatøren sætter sig da ind i sin bil og kører afsted med 100 km/t, og efter et stykke tid vender han om og mødes med den passive observatør igen. De kigger nu på deres ure, og Einsteins postulat er så, at nu passer urene ikke længere! Fordi den ene observatør har bevæget sig med en hastighed i forhold til den anden, medfører relativitetsteorien, at bilførerens ur viser en tid, der er lidt tidligere end den passive observatørs ur – målingen af tiden afhænger af observatørens bevægelse. Det er en så lille effekt, at det ikke mærkes i hverdagen, men tidsforskellen vokser hurtigt, når man nærmer sig lysets hastighed. Hvis bilen bevægede sig med 99 % af lysets hastighed, ville uret i bilen gå 7 gange langsommere, mens med 99.9 % af lysets hastighed, ville det gå 225 gange langsommere. Jo nærmere bilens hastighed er på lysets hastighed (en grænse som den aldrig kan nå helt, men kun komme vilkårligt tæt på), jo langsommere vil uret gå. Konklusionen er altså, at *ure i bevægelse, og dermed tiden selv, går langsommere for en observatør i bevægelse*. Da det er tiden selv, der går langsommere, medfører det naturligvis også, at alle biologiske processer – herunder aldringsprocesser – går

²For en mere fyldestgørende diskussion af ovenstående eksempel henvises fx til afsnittet om tvillingeparadokset i [?], men stort set alle lærebøger om relativitetsteori har dette eksempel med. Vi har her snydt lidt, fordi vi ikke betragter selve accelerationen.

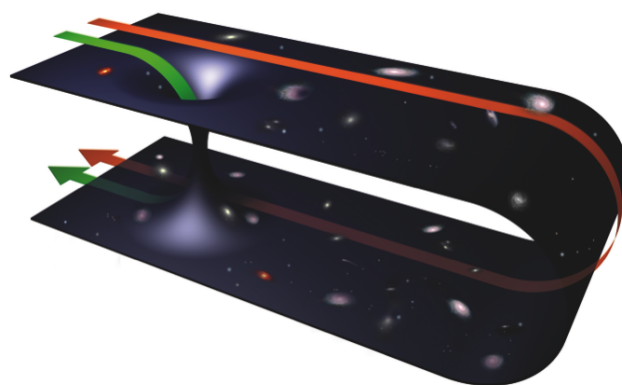
³Til computernørderne kan man fx henvises til computerspillene Portal 1 & 2 – her fungerer portalerne i praksis som ormehuller.

tilsvarende langsommere. Så hvis de to observatører var lige gamle inden bilturen, vil bilobservatøren være yngre end den passive observatør ved deres gensyn. Man kan tale om, at bilføreren har bevæget sig ind i den passive observatørs fremtid (fordi den passive observatør nu er den ældste af de to). Hvis man altså forestillede sig, at man rejste på et rumskib med 99.9 % procent af lysets hastighed væk fra Jorden og tilbage igen, og uret om bord på rumskibet viste, at der var gået et år, ville der være gået 225 år på Jorden!²

Denne slags tidsrejser er ikke tidsrejser i gængs forstand. Man kan ikke rejse tilbage i tiden, kun ind i andres fremtid. Man kan heller ikke møde sit fremtidige eller fortidige jeg. Man kan også kun rejse ind i *andres fremtid* – og aldrig fortiden. Så den netop beskrevne form for tidsrejse er ikke den, man ofte ser i science fiction, og som vi skal se nærmere på i næste afsnit. Til gengæld er den aldeles virkelig og målt med stor præcision.

Ormehuller, tidsrejser og billiard

I foregående afsnit så vi kort på Einsteins Specielle Relativitetsteori, der fortalte os, at målingen af tiden afhænger af observatørens bevægelse. Einstein lavede også en Generel Relativitetsteori – og den er væsentligt mere kompliceret, men omhandler også emner som tid og rum. Faktisk er det *teorien* for tid og rum i universet. Når man går ind i denne teori, opstår der i specielle tilfælde et fænomen kendt som ormehuller – genveje i tid og rum. Rent konceptuelt er ormehuller egentlig ret simple. Et jordisk ormehul kunne fx være en genvej fra Jylland til Sjælland, forstået på den måde, at hvis man stiger ind i ormehullets jyske ende, så kommer man ud i den sjællandske ende – uden på noget tidspunkt at have været noget sted mellem Jylland og Sjælland.³



Figur 2. Princippet i et ormehul – hvis man bukker et stykke papir, kan man skyde genvej med den grønne rute i stedet for at følge overfladen via den orange rute.

Som et andet eksempel kan det nævnes, at den nærmeste rute mellem to modsatte hjørner på et stykke papir normalt er langs diagonalen – men hvis vi bukker papiret, er den korteste vej faktisk, hvis man 'skyder genvej' og bevæger sig væk fra papiret – se figur 2.

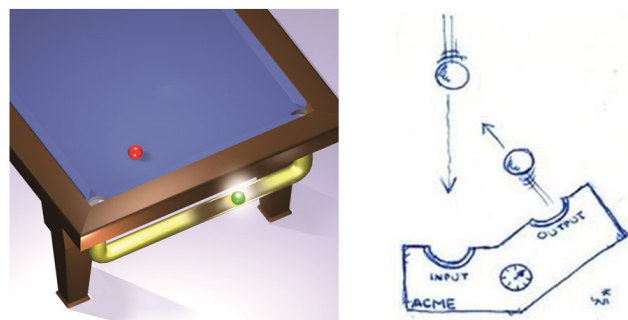
Det er i samme forstand, at ormehuller skal forstås. Det skal dog nævnes, at ormehuller er en *teoretisk* mulighed i den Generelle Relativitetsteori. Det kræver, at man kigger på ret eksotiske systemer – og der er god grund til at tro, at disse systemer ikke kan lade sig gøre i virkeligheden. Der er ligeledes aldrig observeret noget, der antyder eksistensen af ormehuller eller lignende. Ormehuller har dog den interessante egenskab, at de let kan anvendes som tidsmaskiner, så selvom de så vidt vides er en ren matematisk konstruktion, lad os lege videre med tanken om, at de kan forekomme. Vi vil nu prøve at illustrere, hvordan et ormehul kan omdannes til en tidsmaskine.

Lad os forestille os, at vi ved et uheld laver et eksperiment i kælderens på fysisk institut i Århus, der danner et ormehul med den ene indgang i Århus og den anden indgang (eller udgang, om man vil) i kælderen på Niels Bohr Institutet i København. Vi kan altså nu træde ind gennem ormehullet i Århus klokken 10:00 og straks træde ud i København klokken 10:00. Men pludselig i København får de nu den idé at sende deres ende af ormehullet ud på en rejse med en hastighed tæt på lysets. Så ved vi jo fra før, at tiden for København-enden af ormehullet går langsommere end den for Århus-enden (husk at tiden går langsommere hvis man bevæger sig). Det vil altså sige, at hvis et ur, der følger med Århus-enden, nu viser klokken 23:00, så viser et ur, der fulgte med København-enden, klokken 12:00 – der er altså opstået en tidsforskydelse på 11 timer. Man kan altså med andre ord gå ind i Århus-enden og rejse 11 timer tilbage i tiden! Tidsforskellen er tilmed stor nok til, at man kan nå et tog fra København til Århus og gøre det en gang til – og dermed også møde sig selv!⁴ Et i sandhed bemærkelsesværdigt resultat, som straks medfører en hel kaskade af potentielle paradokser med sig. For hvad nu hvis man møder en tidligere udgave af sig selv og overbeviser den udgave om, at det er en dårlig idé at rejse gennem ormehullet? Så kan din nuværende udgave ikke eksistere, fordi det kræver jo, at din tidligere udgave netop rejste gennem ormehullet.

Netop ovenstående problem – altså det med, at du potentielt kan forhindre dig selv i at foretage en tidsrejse, og det dermed medfølgende paradoks – blev analyseret i en lidt mere simpel form af bl.a. den berømte fysiker Kip Thorne og to af hans elever, Fernando Echeverria og Gunnar Klinkhammer. De undersøgte det, som man kalder for Polchinskis paradoks, og som er illustreret i figur 3.

Polchinskis paradoks tager udgangspunkt i et billiardbord med et tidsmaskine-ormehul som beskrevet ovenfor. Lad os forestille os, at to huller i billiardbordet i virkeligheden er de to indgange på ormehullet, og at der er opstået en tidsforskel mellem disse to huller. Vi vælger at støde en billiardkugle ind mod det ene hul. Rejste vi med kuglen, ville vi altså opleve at falde ned i det ene hul og komme ud af det andet. På grund af tidsforskellen mellem indgang og udgang vil tiden

dog være anderledes. Hvis vi derimod forestiller os passivt at kigge på kuglen efter stødet, vil vi opleve at kuglen bevæger sig hen mod indgangshullet, og vi vil se en identisk kugle komme op ad udgangshullet, mens kuglen, som vi stødte til, stadig er på vej mod indgangshullet! Der vil altså være to kugler på bordet samtidig – og årsagen er selvfølgelig, at kuglen fra udgangshullet i virkeligheden er den oprindelige kugle, der blot har foretaget en tidsrejse. Paradokset er så: Hvad nu hvis de to kugler støder sammen, sådan at den oprindelige kugle slet ikke rammer indgangshullet? Så kan udgangskuglen ikke eksistere, da dens eksistens netop er betinget af, at den oprindelige kugle rammer hullet. Denne situation er hele humlen i Polchinskis paradoks.



Figur 3. Et spil billiard med en ormehultidsmaskine. Hvad sker der hvis billiardkuglen støder med sig selv og dermed forhindrer sig selv i nogensinde at nå ormehullet?

Kip Thorne og elever satte sig ned og regnede på denne situation. Til deres store overraskelse fandt de ud af, at det faktisk ikke kunne lade sig gøre at lave et stød som netop beskrevet – hver gang de to kugler stødte sammen, passede det på nærmest magisk vis med, at det var så tilpas blidt, at indgangskuglen stadig ramte hullet. På fantastisk vis gjorde det, at alle stød, som man kunne forestille sig, faktisk ikke førte til et tidsparadoks i klassisk forstand. Der viste sig dog et andet problem: Hvis man gav billiardkuglen et fast stød i en bestemt retning og med en bestemt kraft, kunne man ikke med sikkerhed vide, hvordan kuglen ville bevæge sig. Fundamentet i at være en god billiardspiller er netop at kunne forudse, hvordan en kugle vil bevæge sig, hvis man støder til den. Det er nemlig sådan i den klassiske fysik, som vi kender fra hverdagen, at hvis man giver et legeme, fx en fodbold, en hastighed og en retning, så kan man entydigt bestemme, hvordan den vil bevæge sig (ofte i det, man kalder en kasteparabel, hvis det er et spark til en fodbold). Men fordi den oprindelige billiardkugle og dens tidstvilling kan støde på rigtig mange måder – faktisk uendeligt mange – så kan man ikke entydigt bestemme, hvilken bane kuglen vil følge. Det, vi kan sige, er dog, at stød, som fører til direkte tidsparadokser, ikke kan forekomme. Det skal dog retfærdigvis nævnes, at Kip Thorne og elever ikke analyserede problemet fuldstændig stringent, fordi

⁴Bemærk i øvrigt, at man med denne tidsmaskine ikke kan rejse tilbage til tiden før, den blev skabt – så grunden til, at vi ikke idag møder tidsturister, er, at vi endnu ikke har en tidsmaskine.

problemet er ret kompliceret. De sandsynliggjorde dog ovenstående konklusion ret sikkert.

Tidsparadokser og konsistensprincippet

I forrige afsnit så vi, hvordan en situation, der tilsyneladende kunne medføre et tidsparadoks, lige akkurat sneg sig udenom paradokset. Det eksempel, vi kiggede på, var dog uhyre simpelt, og man kan selvfølgelig ikke umiddelbart overføre resultatet til situationer, der involverer mennesker med fri vilje. Der er dog god grund til at tro, at situationer, der potentielt kan medføre et paradoksal udfald, alligevel vil få et udfald, der er konsistent med virkeligheden. Fysikeren Igor Novikov, som er professor på Niels Bohr Institutet, har, inspireret af udregninger på kvantemekaniske systemer⁵, fremsat et såkaldt selv-konsistensprincip: Hvis et udfald kan give anledning til et tidsparadoks, så er sandsynligheden for dette udfald præcis 0. Dette princip, også kaldet Novikovs selv-konsistensprincip eller blot konsistensprincippet, siger altså, at vores billiardkugler fra før kun støder, så den oprindelige kugle rammer ormehullens ene indgang, netop fordi den paradoksale situation er usandsynlig. Det vil sige, at situationer, som normalt kan betragtes som værende meget *usandsynlige*, pludselig bliver gjort meget *sandsynlige* – fx ved at hovedpersonen i et tidsparadoks falder i en bananskræl (og man støder faktisk af og til i litteraturen på begrebet 'den tvungne bananskræl').

En anden berømt fysiker, Richard Feynman, har et eksempel, der beskriver konsistensprincippet ganske fremragende. Lad os forestille os, at du er på en tidsrejse tilbage i tiden for at slå dig selv ihjel. Du kan huske at du var på en spadseretur en forårmorgen i 1990, så du rejser tilbage til dette tidspunkt, og til selve likvideringen har du købt den fineste riffel, som kan købes for penge (for at være sikker på, at løbet ikke sprænger osv.). Idet du lægger an og har dit hjerte lige i sigtekornet, mærker du en smerte i din skulder. Denne smerte får dig til at trække siget lidt til siden, så idet du affyrer riflen, rammer du ikke dit hjerte. I stedet rammer du dig selv i skulderen – præcis samme sted, som smerten kom fra. Det vil altså sige, at årsagen til, at du ikke rammer dit hjerte, også er konsekvensen af, at

du ikke rammer – og det er i øvrigt yderst usandsynligt, at du rammer dig selv netop der, hvor du gør. Men hvorfor sker dette? Det er netop fordi, at denne situation ville medføre et tidsparadoks – du kan jo ikke slå dit tidligere jeg ihjel, så konsistensprincippet dikterer, at du rammer dig selv netop der, hvor du rent faktisk rammer. Slutteligt skal det nævnes, at konsistensprincippet ikke har status som en faktisk fysisk lov, men at det er en hypotese, og tilmed en hypotese, der er yderst svær at bekræfte eller afkræfte.

Kan science-fiction tidsrejser så lade sig gøre? Det er der ingen eksperimentel grund til at tro, at de kan. Ormhuller har en række uheldige egenskaber, som gør dem knapt så realistiske (men ormehuller er ikke en nødvendighed for tidsrejser, blot tilstrækkeligt). På den anden side lader det dog til, at der faktisk er mulighed for at undgå tidsparadokser, fx så vi jo at tidsparadokser ikke forekom i vores ormehullsbilliard. Så de vigtigste argumenter for hvorfor tidsrejser nødvendigvis må være umulige, bliver faktisk ugyldiggjort. En ting kan vi dog sige med sikkerhed: Tidsrejser er interessante, også selvom de alene skulle høre til i den rent teoretiske gren af fysikken. Hvis man gerne vil vide mere, kan jeg varmt anbefale de to bøger [?] og [?] – hvis man da ellers kan finde tid til at læse dem!

Litteratur

- [1] Ulrik Uggerhøj, Tid – Den relative virkelighed. Aarhus Universitetsforlag (Univers) 2010.
- [2] Paul Davies, About Time: Einstein's Unfinished Revolution. Touchstone 1996.



Christian Schultz er til daglig ph.d.-studerende i kosmologi på Aarhus Universitet, og beskæftiger sig med computersimuleringer af strukturdannelsen fra tiden kort efter Big Bang til i dag. Læsere specielt interesserede i tidsrejser, relativitetsteori eller kosmologi (eller fysikstudiet i Århus?) er velkomne til at sende mails med spørgsmål. Email: christian@phys.au.dk.

⁵Kvantemekanikken er den gren af fysikken, der beskæftiger sig med mikroskopiske systemer som atomer og molekyler.