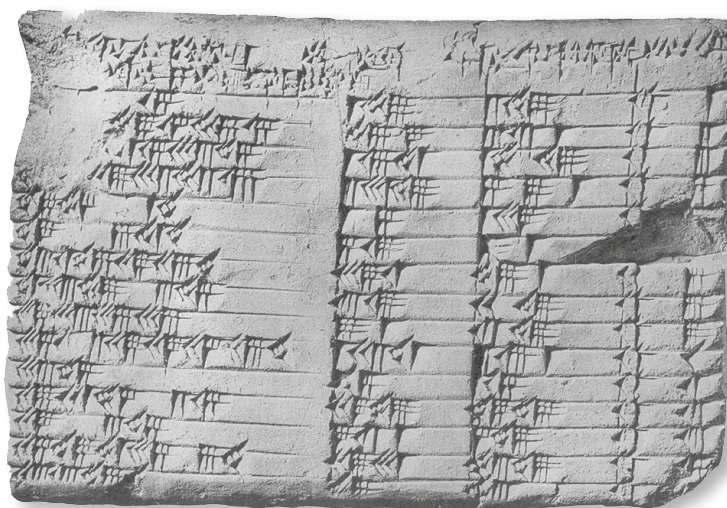




EN ENHED SÅ GAMMEL SOM CIVILISATIONEN SELV



Sekundet blev opfundet af sumererne for mere end 5000 år siden. Lige siden har videnskabsmænd kæmpet om at opfinde de mest præcise apparater til at måle sekundet.



Lertavlen som Edgar J. Banks i 1923 solgte til George R. Plimpton. Den befinder sig i dag på Columbia Universitys samling af sjældne bøger og manuskripter. Fra tavler som denne ved vi, at sumererne for 5000 siden allerede havde opfundet sekundet. Foto: via Wikimedia Commons

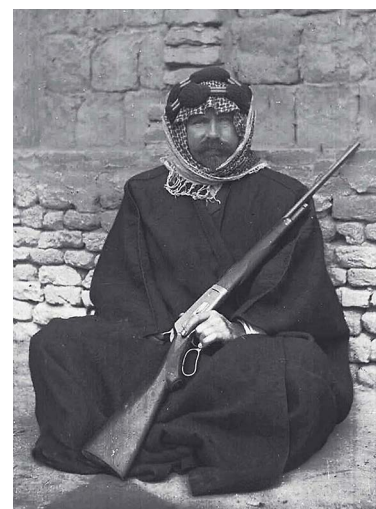


Foto: University of Chicago Library's Electronic Open

Arkæologen, eventyreren og småsvindleren Edgar J. Banks ved udgravningen af Adab i 1903. Han bliver af nogle kaldt virkelighedens Indiana Jones, fordi han senere i sit liv tog på ekspeditioner for at finde både Pagtens Ark og Noahs Ark.

Om forfatteren



Jeppe Kyhne Knudsen er journalist ved Aarhus Universitet jkk@au.dk

Rigmanden George R. Plimpton var tilfreds, da han i 1923 stod med en næsten 5.000 år gammel lertavle i hænderne. Som stor-samler af ældgamle artefakter levede og åndede han for sin samling. Lertavlen havde han netop købt af arkæologen og antikvitets-sælgeren Edgar J. Banks for \$10 (omkring 1.200 kroner i dag). Banks havde et lidt blakket ry. Godt nok var han arkæolog, uddannet fra de fineste

universiteter i USA og Europa, men han var også en småsvindler, interesseret i at fortælle gode historier og tjene hurtige penge. Han bliver af nogle kaldt for virkelighedens Indiana Jones, da han arrangerede ekspeditioner i håbet om at finde både Pagtens Ark og Noahs Ark. I 1903, tyve år før Edgar J. Banks solgte lertavlen til George R. Plimpton, stod han på sin første udgravning. Midt i ørkenen i nutidens Irak ledte han et hold af lokale gravere

i jagten på oldtidsbyen Adab. På få måneder afdækkede Edgar J. Banks hold både templer, gravpladser, et badehus, paladser, bymure og små beboelsesejendomme. Ruiner, der åbenbarede sig i takt med, at sand, støv og sten blev gravet, fejlet og børstet væk. I en af de gamle ruiner fandt Edgar J. Banks et rum fyldt med lertavler. Tavlerne var dækket af inskriptioner med kileskrift – det ældste skriftsprog, vi kender. Teksterne gav et indblik

i den ældgamle kultur, deres teknologi og levemåder. Et, på mange måder, uvurderligt fund, og det er fra lertavler fundet i udgravninger af oldtidsbyer som Adab, vi kender til sumerernes mange opfindelser.

På en berømt lertavle, med det ikke særligt mundrette navn Plimpton 322, har vi bevis for, at sumererne opfandt sekundet. Lertavlen var på størrelse med en lommeregner, og det var netop den tavle, som George A. Plimpton købte den dag i 1923. Plimpton 322 viser, at sumererne brugte et seksagemalt talsystem (60-talssystem) til at beskrive tiden med. Ved at studere Solen, Månen og årstiderne fandt de ud af at inddele året i 360 dage, dagene i 12 timer med dagslys og 12 timer med mørke. Timerne i 60 minutter og minutterne i 60 sekunder. Et system, de kunne bruge til at regne sig frem til tørtider og regntider, planlægge arbejdsdagen og religiøse højtider. Et system, vi stadig bruger i dag, 5000 år senere.

Tidens mysterium

Selvom vi mennesker har beskæftiget os med at måle tiden, siden sumererne byggede de første byer, er tiden stadig en gåde for os. I sin *Tænkepause* om tid beskriver fysikeren Ulrik Uggerhøj, at vi endnu i dag kæmper med at definere fænomenet tid. Vi har lært at dele den op i enheder som år, måneder, uger, timer og sekunder, men det betyder ikke, at vi er kommet nærmere på at forstå, hvad tid egentlig er. I bogen citerer han filosofen, David Favrholt: "Tid er et fundamentalt begreb i vor erkendelse. Som sådant kan det ikke defineres eksplicit, et vilkår, som det deler med andre fundamentale begreber såsom længde og bevægelse." Professor i fysik ved Aarhus Universitet, Michael Drewsen, er enig. »Sekundet er en arbitrær enhed. Vi kunne have valgt alt muligt andet. Tid findes, men vi kan ikke måle den direkte. Vi bruger sekunder, minutter og timer til at beskrive den,« siger han.

Med Albert Einsteins relativitetsteorier fra 1905 og 1915 blev gåden



Michael Drewsen i sit laboratorium på Aarhus Universitet. Foto: Jeppe Kyhne Knudsen

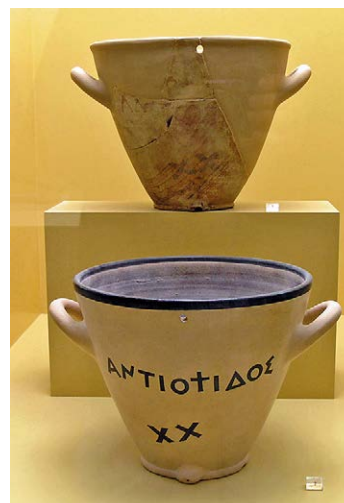
om tiden kun dybere. Einstein viste nemlig, at tid ikke er en absolut størrelse, men at den går langsomere i et kraftigt tyngdefelt – eksempelvis tæt på et sort hul – end på Jorden. Einstein viste også, at tiden er påvirket af den hastighed, vi bevæger os med. Jo, tættere på lysets hastighed, desto langsomere går tiden. En mand, der rejser med en fart tæt på lysets hastighed, vil opleve tiden på samme måde, som en mand der går sig en tur. Men sammenligner man de to ure, vil man kunne aflæse, at tiden er gået langsommere for manden i høj fart. Tid er med andre ord en svær størrelse at blive klog på. Vi kan ikke stoppe den, pause den eller spole tilbage. Vi har opfundet enheder til at kvantificere den, men når alt kommer til alt, er den et uløst mysterium.

De første apparater til at måle tid

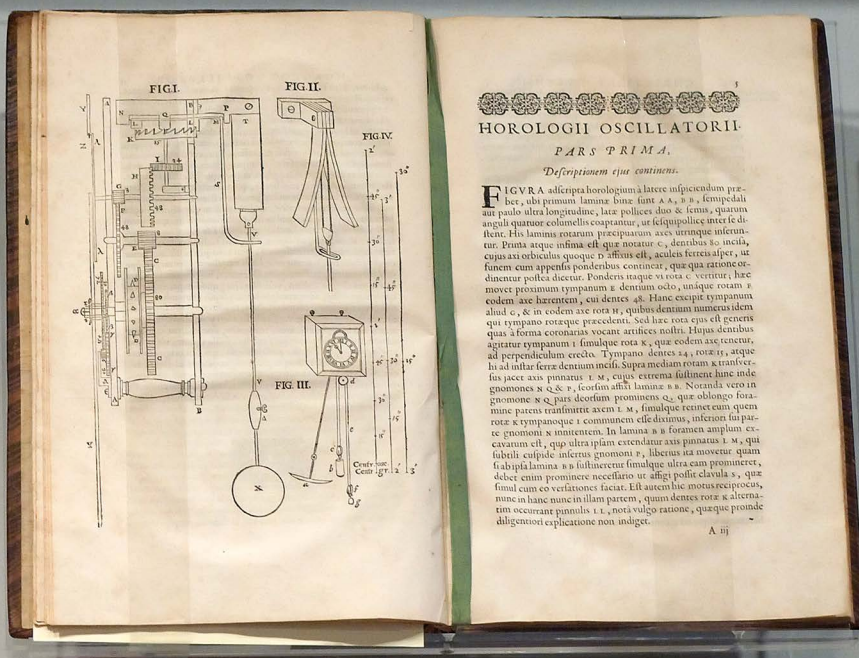
Omkring 1500 før vor tidsregning var magtbalancen skiftet fra babylonerne, der havde overtaget erobret og overtaget sumerernes områder til faraonernes Egypten. De gamle egyptere førte seksagemaltssystemet

videre. De opsatte obelisker, der fungerede som store solure, der kunne måle tidens gang om dagen. Samfundet var enormt hierarkisk og struktureret, og tid var derfor vigtig at kunne måle. Ikke blot for at forudse sæsonernes udsving, men som forudsætning for planlægning af byggerier, religiøse fester og handel. Når solen gik ned – eller det var overskyet – dueede solurene dog ikke. Hvad gjorde man så?

Egypterne udviklede derfor præcise vandure, som talte nattens timer.



De gamle egyptere var ikke de eneste, der brugte vandure. Også i det antikke Grækenland var vandurene udbredt. Her ses et vandur samt en kopi fra Agora-museet i Athen. Uret er fra omkring 500 før vor tidsregning. Foto: CC BY-SA



Huygens ligning for et pendul

I sin bog *Horologium Oscillatorium*, der udkom i 1673, fremlagde den hollandske matematiker og fysiker Christiaan Huygens den matematik, vi stadig i dag bruger til at beskrive, hvordan et pendul opfører sig.

I bogen præsenterede han formlen:

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}$$

L er længden fra pendulets rotationspunkt til midtpunktet for dets primære masse, g er tyngdeaccelerationen, mens T er svingningstiden – altså den tid pendulet bruger på at lave én svingning. Formlen viser, at pendulets svingningstid bestemmes af dets længde og Jordens tyngdekraft, men ikke af dets masse. Dette blev efterfølgende underbygget af Newtons 2. lov for små pendul-udsving, som udkom 15 år senere. Opdagelsen gjorde Huygens i stand til meget præcist at beregne, hvordan han kunne bygge pendulure, som kunne vise sekunder uden at tabe særlig meget tid i løbet af et døgn. Noget, der var blevet forsøgt i mere end 100 år uden held.

Huygens formel er dog kun helt korrekt, hvis pendulet svinger i vakuum. Luftmodstand og opdrift betyder, at den energi pendulet skal bruge for at svinge gennem luften, stiger med størrelsen på pendulet. Det skal med andre ord skubbe mere luft til side, jo større det er.

Rettelse 2026-01-13: I en tidligere version af artiklen optrådte der sidst i faktaboksen en formel, der angiveligt skulle beskrive et penduls svingningstid udenfor vakuum. Det er imidlertid ikke korrekt, da formelen – ligesom Huygens ligning – ikke tager højde for luftmodstand. I stedet beskriver den et pendul i vakuum, hvor massen er fordelt over pendulets udstrækning i stedet for koncentreret i et punkt.

I 1904 fandt arkæologer eksempelvis et vandur ved udgravningen af det berømte Karnak-tempel. Uret er fra omkring 1390 før vor tidsregning. Skåret ind i urets vandkar er tolv linjer, der markerer nattens tolv timer. Uret fungerer ved, at en åbning i bunden lukker en lille smule vand ud hele tiden. Åbningen er afstemt efter linjerne, så det tager

præcis en time for vandet at synke en linje. Også timeglas og en form for stearinlys blev brugt til at holde øje med tiden.

Efter disse første eksempler på ure blev der gennem middelalderen udviklet mange forskellige mekaniske ure til at måle tiden. Men vi skal frem til renæssancen, før de første

ure, der kunne måle sekunder blev opfundet.

Galileis skæbnsvangre brev

I 1602 skrev Galileo Galilei et brev til sin ven og videnskabelige kollega Guidobaldo del Monte. Brevet skulle vise sig at have stor betydning for, hvordan vi måler tid, da en teori i teksten et par årtier senere førte til opfindelsen af en helt ny type ur: Penduluret. Med et pendulur lykkedes det med stor præcision – for første gang i verdenshistorien – at måle sekundet.

Galileis teori, som sidenhen har vist sig kun at gælde under særlige forhold, var, at et pendul svinger med samme svingningstid uanset dets masse. Det er dog ikke helt korrekt, da luftmodstand og opdrift spiller en lille rolle. Teorien ansprede dog den hollandske matematiker Christiaan Huygens til at udvikle den præcise matematik, som beskriver et penduls bevægelser. Ved hjælp af sin matematik lykkedes det ham at bygge pendulure, hvor hver svingning tog et sekund. Andre urmagere havde tidligere bygget pendulure, der kunne tælle sekunder, men de var meget upræcise og gik omkring 15 minutter skævt hver eneste dag. Huygens ure gik kun et sekund skævt hver anden time.

Med opfindelsen af penduluret, gik uret fra at være noget, man havde i det offentlige rum i eksempelvis klokketårne, rådhus eller klostre, til at være et eftertragtet møbel for aristokratiet. Penduluret var i 1600-tallet den mest avancerede maskine, mennesket nogensinde havde bygget – og der var stor prestige i at have råd til sådan et.

Efterspørgslen på ure satte gang i en rivende teknologisk udvikling. Lommeuret blev opfundet, så man nu altid, uanset hvor man befandt sig, vidste hvad klokken var. Tandhjul, gear og mekanik blev hele tiden mindre og prisen på ure faldt, så almindelige mennesker med tiden også fik råd til et ur. Tiden – og dermed også den mindste enhed, sekundet – begyndte at spille en

større rolle i det enkelte menneskes liv.

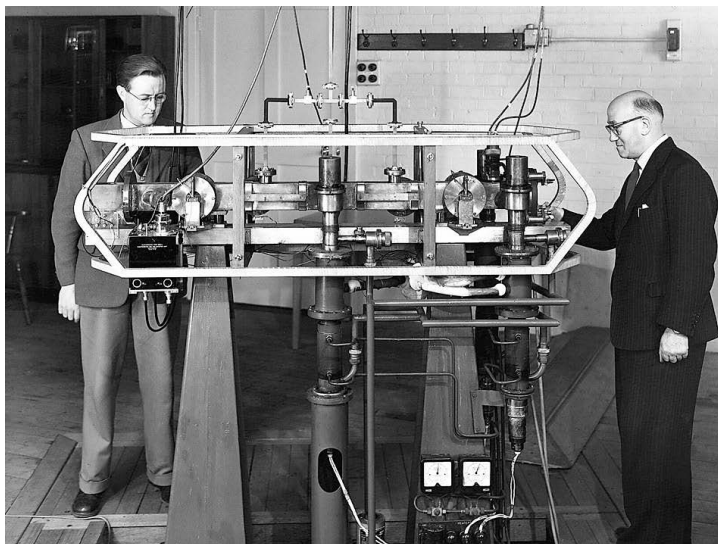
Et ur til en ny tidsalder

Atomteknologien ændrede mange ting – også vores evne til at måle tiden. I flere tusinde år – siden sumerernes opfindelse af seksagesimalsystemet – havde sekundet været defineret som en $1/86.400$ af et døgn. Det var altså defineret ud fra astronomiske observationer. I 1950'erne opdagede en række forskere dog, at Jordens rotation ikke er fuldstændig konstant. Den varierer en smule over tid. Når isen på polerne smelter, og vandet strømmer væk, ændrer det eksempelvis Jordens form, så den roterer hurtigere. Omvendt trækker Månen i Jorden på en måde, som bremser planetens rotation. En række andre faktorer spiller også ind, og det betyder, at længden på et døgn varierer en smule over tid. At definere et sekund ud fra Jordens rotation er derfor upræcist.

I 1920'erne opfandt amerikaneren Warren Marrison det såkaldte kvarts-ur. Et ur, som målte sekunder ud fra vibrationer i en kvartskrystal. Når han sendte strøm gennem krystallen, begyndte den at vibrere med en frekvens på præcis 32.768 vibrationer i sekundet. En enhed i uret målte vibrationerne og flyttede sekundviseren, hver gang den havde målt 32.768 vibrationer. Opfindelsen gjorde os i stand til at måle tiden mere præcist, da uret kun mistede omkring et sekund hver ottende måned.

Kvartsuret blev hurtigt populært, og teknologien gjorde det muligt at bygge billige og præcise armbandsure. Men til videnskabelige målinger var uret stadig for upræcist, fordi vibrationerne i kvartskrystaller bliver påvirket af tryk og temperatur.

I efterkrigstidens begejstring og frygt for atomet og de ufattelige kræfter, menneskets beherskelse af atomet havde låst op, byggede den britiske forsker Louis Essen det første atomur. I maj 1955 viste han



Fysikerne Louis Essen og Jack Perry står ved siden af verdens første atomur, som de har udviklet. Uret blev begyndelsen på en revolution indenfor præcisionsmåling af tid. En revolution, som førte til, at vi fik GPS. Foto: National Physical Laboratory

apparatet frem for pressen. Et ur, der skulle revolutionere verden.

Det muliges kunst

Et atomur er ekstremt præcist, fordi det bygger på det princip, at alle atomer af en bestemt isotop af et grundstof er ens. Det forklarer professor Michael Drewsen. Professorens har sit eget laboratorium på Aarhus Universitet, hvor han forsker i nogle af de processer, der gør os i stand til at måle tiden med ekstrem præcision. For år tilbage, under arbejdet med sin ph.d., knoklede han på et laboratorium i Paris, som har nogle af de mest avancerede opstillinger i verden til at måle tid. Han var, ligesom mange andre fysikere, interesseret i at udvikle mere præcise atomure.

»I atomure udnytter vi de atommodeller, som Niels Bohr i sin tid var med til at udvikle. Rundt om alle atomkerner drøner elektroner i forskellige baner. Ved at tilføre energi i form af elektromagnetisk stråling til et atom med en frekvens, der opfylder Bohrs frekvensbetingelse, kan man få elektronerne til at hoppe fra én bane til en anden,« siger han og fortsætter:

»I laboratoriet kan vi måle, om det er sket, ved efterfølgende at sende laserlys ind på atomet og se efter

lys, som kun udsendes, når elektronen har foretaget et hop. Den helt rigtige frekvens af den elektromagnetiske stråling finder vi ved at afprøve forskellige frekvenser og vælge den, der leder til, at vi registrerer mest lys.«

På samme måde som for kvartsuret benytter fysikerne den fundne frekvens til at definere et sekund, som den tid, der går, indtil man har målt et vist antal svingninger. De atomure, fysikerne benytter i dag, er baseret på hop mellem elektronbaner i cæsiumatomet. Ud fra cæsium har de defineret sekundet til at være lig med den tid, det tager den frekvens, som får elektronerne i cæsium til at hoppe, at udføre præcist 9.162.631.770 svingninger.

I princippet kunne fysikerne gøre det samme med mange forskellige grundstoffer. At valget lige faldt på cæsium skyldes, at den frekvens, man skal benytte for at få elektronen til at hoppe, ligger i et frekvensområde lige på grænsen af, hvad man kunne måle i 1950'erne, da de første atomure blev udviklet. Jo højere en frekvens, desto hurtigere kan man måle et sekund, og desto mere præcist bliver det.

»Valget af cæsium var med andre ord: "det muliges kunst",« siger han.

Sådan udnytter atomure Bohrs atommodel

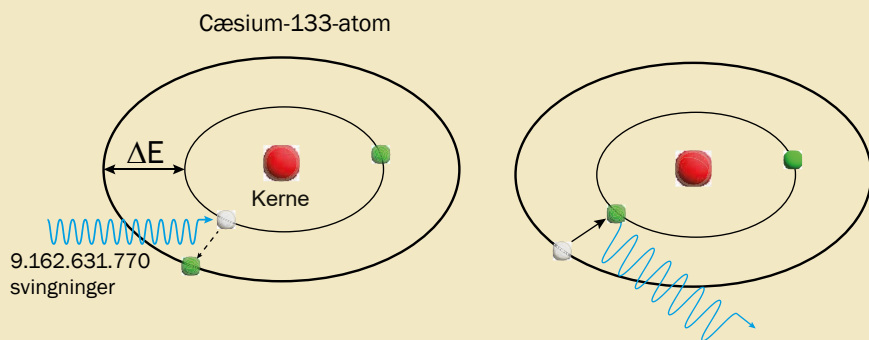
I 1911 kom fysikeren Ernest Rutherford med en teori om, hvordan atomkerner måtte se ud. Gennem et berømt forsøg, som han og hans kolleger havde lavet, havde de opdaget, at den herskende atommodel på den tid, kaldet rosinbollemodellen, var forkert.

I rosinbollemodellen troede man, at elektronerne var en del af atomkernen, hvor de sad som rosiner i en bolle. I stedet viste Rutherford, at atomer bestod af en lille, tæt, positivt ladet kerne med negativt ladede partikler i kredsløb herom.

Der var bare ét problem: De eksisterende fysiske love forudsagde, at elektronerne ville forlade deres baner og nærme sig kernen med højere og højere fart, mens de udsendte lys i forskellige farver. Det var bare ikke, hvad man observerede i laboratoriet.

Kun to år senere, i 1913, havde Niels Bohr løst problemet. Han opstillede en ny model for hydrogenatomet: Atomet kunne kun eksistere i nogle ganske bestemte stationære tilstande, hvor elektronerne forblev i stabile baner uden at nærme sig kernen.

Atomet havde i disse tilstande en bestemt



Den atomare definition af et sekund bygger på, at et cæsium-133-atom kan eksistere i to "udgaver" af sin grundtilstand. Når elektroner i atomet bestråles med mikrobølgestråling med en frekvens på præcist 9.162.631.770 svingninger, skifter atomet mellem de to tilstande illustreret ved, at elektronen hopper fra en bane til en bane med højere energi. Når elektronen efter noget tid hopper tilbage igen, udsender den lys, som forskerne kan måle og dermed afgøre, om det faktisk er lykkedes dem at excitere atomet med den rigtige frekvens.

mængde energi, og kunne kun ændre tilstand ved at afgive eller få tilført energi. Bohrs model forudsiger, at ændringen fra en tilstand med energi E_2 til en med lavere energi E_1 sker ved, at atomet udsender en foton med en energi givet ved:

$$h \cdot f = E_2 - E_1$$

Her er f fotonens frekvens, og h er Plancks konstant. Ligeledes kan elektromagnetisk stråling med den samme frekvens benyttes til at få en elektron til at hoppe fra en bane med energien E_1 til en bane med energien E_2 . Det var det, forskerne i 1950'erne udnyttede til at bygge atomure med cæsium-atomet.

Ingen GPS uden atomure

Atomure er ekstremt præcise. De bedste cæsiumure i dag går kun et sekund skævt, hver gang der er gået omtrent 10 millioner år. Det var en kæmpe forbedring i forhold til kvartsurene og førte til, at den internationale organisation for måleenheder, Bureau International des Poids et Mesures, i 1967 vedtog, at den officielle definition af et sekund er 9.162.631.770 svingninger af den elektromagnetiske stråling, der skal til for, at elektronerne i cæsium-133 skifter bane. Den definition er stadig gældende.

De nye atomure muliggjorde en helt ny teknologi. Samme år som definitionen blev vedtaget, sendte den amerikanske flåde de første atomure ombord på satellitter i rummet. Det gjorde de, fordi de ville udvikle et nyt og mere præcist navi-

gationssystem. Det vi i dag kender som GPS.

Når vi bruger vores telefoner til at finde vej, lytter telefonen til signaler fra satellitter i kredsløb om Jorden. Signalet indeholder det præcise tidspunkt, det blev sendt afsted. På den måde kan telefonen regne ud, hvor vi opholder os, fordi den kender afstanden til satellitten, som den kan regne ud baseret på, hvor lang tid det tog for signalet at nå frem. Ved at gentage processen med tre eller flere satellitter samtidigt, får vi en meget præcis information om, hvor vi opholder os på Jorden.

Den teknologi ville dog ikke fungere uden atomure. Selv bittesmå uoverensstemmelser mellem den målte tid ombord på satellitten og tiden hos modtageren, vil give stor

unøjagtighed i forhold til vores position på Jorden. GPS var altså slet ikke muligt, uden de meget præcise cæsium-ure.

En kamp om tiden

Selvom cæsium-ure er ekstremt præcise, arbejder fysikerne hele tiden på at bygge endnu mere præcise ure. En ny generation af atomure er faktisk allerede ved at blive bygget rundt om i verden. En type ure, der endnu engang hæver præcisionen af målingerne.

»Siden mennesket opfandt sekundet, har vi stræbt efter at kunne måle det mere og mere præcist. Den udvikling pågår stadig,« siger Michael Drewsen og fortsætter: »I stedet for at skyde med mikrobølger på atomerne, som vi gør i cæsium-urene, bliver næste generation af ure bygget, så vi i stedet

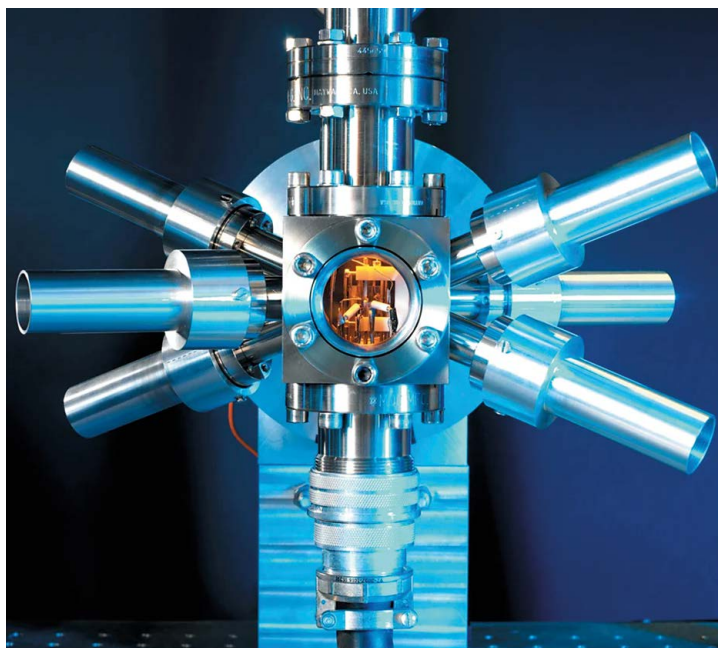
beskyder atomerne med synligt lys eller UV-lys fra lasere. Dem kalder vi optiske ure.»

De optiske ure er så præcise, at de kun mister et sekund hver 30 milliarder år. Det dobbelte af universets levetid. Så skulle man måske tro, at vi har nået enden. At det ikke kan gøres anderledes eller mere præcist. Men fysikere ligger aldrig på den lade side, forklarer Michael Drewsen.

»Lige nu forsøger fysikere rundt omkring i verden at måle tiden ud fra skiftende energiniveauer inde i atomkernen. Ved at droppe elektronerne og bevæge os helt ind i atomkernen, forventer vi at kunne måle sekundet endnu mere præcist.«

Et spørgsmål om tid

Siden Edgar J. Banks i 1920'erne solgte en lertavle med en beskrivelse af sumerernes inddeling af tiden, er der sket en voldsom teknologisk udvikling. Lommeure, klokketårne og bornholmerure er skiftet ud med digitalure, computere og højteknologiske apparater, der beskylder cæsiumatomer med mikrobølger.



Forskere fra National Physical Laboratory, institutionen der også stod bag verdens første atomur, har bygget et nyt og endnu mere præcist atomur. Et optisk atomur, som er så præcist, at hvis det var blevet sat til at måle tiden, da universet opstod, endnu ikke vil være gået skævt her 13,8 milliarder år senere. Foto: National Physical Laboratory

Satellitter i kredsløb om Jorden bærer atomure, der med en næsten overmenneskelig præcision måler tiden. Men når alt kommer til alt, er vi de sidste 5000 år ikke blevet

specielt meget klogere på, hvad tiden er. Vi er blevet bedre til at måle tiden, men fundamentet er det samme, som blev lagt i ørkensandet for tusindvis af år siden. ■

Videre læsning:
Ulrik Uggerhøj: Tid, 2014, Aarhus Universitetsforlag (i bogserien Tænkepauser).

A Brief History of Atomic Time:
www.nist.gov/atomic-clocks

Galileos eksperimenter:
philsci-archive.pitt.edu:
Galileo's Experiments with Pendulums: Then and Now



Bliv studerende for en dag

Som **Studerende for en dag** følger du undervisningen på den uddannelse, du er interesseret i. Du spiser frokost med en studerende, som viser dig rundt - og du bliver klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

Besøg **Anvendt matematik, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Datalogi, Farmaci, Fysik, Kemi, Medicinalkemi, Matematik, Matematik-økonomi** eller **Kunstig intelligens** på SDU i Odense.

Tilmeld dig på
sdu.dk/nat/studerendeforendag