



TEMANUMMER OM KUNSTIG INTELLIGENS

- MATEMATISKE MODELLER I KUNSTIG INTELLIGENS
- ER FREMTIDENS FORSKER MENNESKELIG ELLER KUNSTIG INTELLIGENS?
- KOMPARATIV KOGNITION OG NATURLIG INTELLIGENS
- ROBOTTER, KUNSTIG INTELLIGENS OG FREMTIDENS UDDANNELSE
- KUNSTIG INTELLIGENS, SNART?

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk
Facebook  : [KVANT.fysiktidsskrift](https://www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift)
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

Astronomisk Selskab
Dansk Fysisk Selskab
Dansk Geofysisk Forening
Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Redaktion

Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.),
DTU Space
Michael Cramer Andersen,
Christianshavns Gymnasium
Christine Pepke Gunnarsson (nyheds-
redaktør), DTU Elektro
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Steen Lærke (astro@kvant.dk),
Astronomisk Selskab
John Rosendal Nielsen,
Aurehøj Gymnasium
Dorte Olesen (SNU),
DTU Compute
Finn Berg Rasmussen,
Niels Bohr Institutet, KU
Svend Erik Rugh
Julie Søgård (Facebookredaktør og AS)
Sarah Pepke Pedersen (korrektur)

Abonnementspris : 180 kr/år.
Kvant udkommer 4 gange årligt og er med-
lemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnement tegnes på www.kvant.dk.
Øvrige henvendelser vedr. abonnement til
Christine Pepke Gunnarsson:
christine@kvant.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncepriser

1/1 side: 3600 kr, 1/2 side: 2300 kr
1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart
materiale i farver. Henvendelser om an-
noncer til redaktøren på: kvant@kvant.dk
(tlf. 28 91 87 74).

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri A/S.
Oplag: 2400.

Produktionsplan

Nr. 3-18 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-18 udkommer ca. 1. december
Deadline for mindre bidrag og annoncer
er ca. en måned før, længere artikler skal
modtages to måneder før.

Indhold:

Matematiske modeller i kunstig intelligens <i>Thomas Bolander</i>	3
Foreningsnyt – kommende foredrag	7
Er fremtidens forsker menneskelig eller kunstig intelligens? <i>Jacob Friis Sherson og Carsten Bergholtz</i>	8
Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab	13
Komparativ kognition og naturlig intelligens: Kloge krager, intelligente insekter og dumme dyr <i>Michael Pepke Pedersen</i>	14
SNU på Big Bang-konference	17
Robotter, kunstig intelligens og fremtidens uddannelse <i>Jeppé Dørup Olesen</i>	18
Kunstig intelligens, snart? <i>Henning Heiselberg</i>	20
Nobelpriset i fysik 1932 <i>Anders Bárány</i>	22
Supernova-planetarieret i München – med meteorit fra Danmark <i>Holger Pedersen</i>	24
Besvarelse af opgave i KVANT af Ole Rømer: “beregning og anvendelse af mit lommeur” <i>Poul Darnell</i>	26
KVANT og GDPR	27
KVANT-nyheder <i>Christine Pepke Gunnarsson</i>	28
Aktuelle bøger <i>Anja Skaar Jacobsen og Jeppé Willads Petersen</i>	30
Generalforsamling i Astronomisk Selskab	31
Opdrift på flyvinge – breddeopgave 76 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	32
Kvantefysikken og erkendelsens afgrund <i>Børge Krag Pimenta</i>	33
Andreas Mogensens rumkapsel er landet <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden illustrerer, at dette nummer af KVANT har kunstig intelligens som tema, et tema som er inspireret af SNU's foredragsserie i efteråret 2017. Læs artiklerne af Thomas Bolander, Jacob Friis Sherson, Carsten Bergholtz, Michael Pepke Pedersen, Jeppé Dørup Olesen og Henning Heiselberg.



KVANT udsendes gratis, i ét eksemplar, til alle gymnasier, seminarier og HTX-kurser i Danmark, på Færøerne og i Grønland med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik, Kemi og Farmaci (SDU), Institut for Fysik og Nanoteknologi (AAU), DTU Fotonik, DTU Fysik samt Institut for Naturvidenskab og Miljø (RUC).

Matematiske modeller i kunstig intelligens

Af Thomas Bolander, DTU Compute

Kunstig intelligens er ikke blot én bestemt teori, teknik eller metode, men dækker over en lang række forskellige teknikker til at simulere aspekter af menneskelig kognition på en computer. Forskelligheden i teknikkerne dækker blandt andet over, at de forsøger at efterligne forskellige typer af intelligens, fx sproglig, social eller logisk intelligens. Forskelligheden dækker også over, at vi forsøger at efterligne intelligens på forskellige abstraktionsniveauer gående fra direkte forsøg på at efterligne de atomare neurologiske processer i hjernen helt op til meget abstrakte modeller af vores bevidste, sproglige og logiske tænkning. Fælles for alle teknikkerne er, at det handler om at skabe matematiske modeller af aspekter af kognition, og at få computere til at regne på disse modeller. Desuden handler det om at få kunstig intelligens-systemerne til selv at skabe modeller af deres omverden, som de kan bruge til at ræsonnere om denne omverden. I denne artikel vil vi først give en introduktion til kunstig intelligens og de forskellige hovedparadigmer indenfor området. Dernæst vil vi gå lidt mere i detaljen med, hvordan logiske modeller kan bruges til at skabe ræsonnerende robotter.

Introduktion til kunstig intelligens

“Kunstig intelligens er videnskaben og ingeniørkunsten at lave intelligente maskiner, særligt intelligente computerprogrammer.” Således forsøgte John McCarthy, den kunstige intelligens’ fader, at definere begrebet for 60 år siden. Definitionen er sådan set stadig acceptabel her 60 år senere, men den forklarer bare ikke særligt meget. For vi ved ikke helt præcis hvad intelligens er, og derfor kan vi heller ikke med nogen rimelig præcision sige, hvad det betyder, at en maskine er intelligent. Følgende kan vi dog sige. Kunstig intelligens handler stort set altid om at få computere og robotter til at gøre ting, som det hidtil kun har været mennesker, der har kunnet, fx at spille skak, køre bil, diagnosticere patienter eller føre en samtale.

Når vi gerne vil have computere til at gøre ting, som ellers har været forbeholdt os mennesker, er den naturlige inspirationskilde for programmeringen naturligvis også os mennesker. Vi prøver at forstå hvordan vi selv kan finde ud af at spille skak, køre i bil osv., og så prøver vi at efterligne aspekter af det i en computer. Det kan foregå ved, at vi forsøger at lave simplificerede matematiske modeller af den slags bevidste, logiske ræsonnementer mennesker benytter, når de løser en given opgave som fx at spille skak. Disse modeller bliver så proppet ind i en computer, så den kan regne på dem. Denne tilgang leder typisk til det der kaldes *symbolsk kunstig intelligens*, som vil blive uddybet nedenfor. Alternativt kan man forsøge at lave simplificerede matematiske modeller af de fundamentale neurologiske processer i den menneskelige hjerne og implementere dem i en computer. Det leder typisk til det der kaldes *subsymbolsk kunstig intelligens*. Fælles for dem er, at det handler om at lave matematiske modeller, som kan repræsentere og simulere aspekter af menneskelig kognition, for derigennem at kunne efterligne disse aspekter på en computer.

Det er vigtigt at understrege, at de matematiske modeller af menneskelig kognition vi har i dag, allesammen er meget simplificerede i forhold til de processer, der foregår i den menneskelige hjerne. Selvom moderne computere kan blive verdensmestre i skak eller go

eller være bedre end mennesker til at genkende visse typer af mønstre i billeder (fx hudkræft), er de altså meget langt fra at være på et menneskeligt kognitivt niveau. Ofte kan computere dog kompensere for deres manglende kognitive niveau ved den overvældende beregningskraft, de efterhånden er i besiddelse af, og netop dette er en stor del af hemmeligheden bag de seneste års kraftige vækst i kunstig intelligens. Vi har meget gode matematiske modeller for strategisk ræsonnering (fx til skak) og centrale dele af det visuelle perceptionssystem (fx til billedgenkendelse), men vi har indtil videre ret ringe modeller for vores sproglige og sociale intelligens. Det er derfor indtil videre en meget stor udfordring at lave computere og robotter, som kan komme i nærheden af vores niveau indenfor disse områder.



Figur 1. Et kortudsnit og en tilhørende grafrepræsentation.

Symbolsk kunstig intelligens

I den symbolske gren af kunstig intelligens forsøger man direkte at skabe simplificerede modeller af nogen af de højeste niveauer af menneskelig kognition: vores sproglige, bevidste, logiske tænkning. De matematiske modeller man bygger, er i vid udstrækning baseret på diskret matematik, det vil sige områder som kombinatorik, logik, grafteori, spilteori, algoritmik m.m. Som et meget simpelt eksempel på symbolsk kunstig intelligens kan man tænke på rutefindingsalgoritmerne i GPS-systemer og Google Maps. Her er kortet repræsenteret som en graf, hvor kryds er punkter og vejafsnit er kanter, se figur 1. At finde en korteste (eller “bedste”)

rute fra eksempelvis Skælskør til Slagelse handler da blot om at finde en korteste (eller “bedste”) sti mellem de to punkter i grafen, som repræsenterer de to byer. Metoden er i princippet så simpel, at man kan diskutere om den fortjener at blive kaldt for kunstig intelligens. Algoritmer til rutefinding er dog alligevel standardpensum i kurser i kunstig intelligens, og algoritmerne bruges ikke kun til rutefinding på kort, men også til rutefinding for computerstyrede karakterer i computerspil, og til mere generel planlægning af robotters handlinger og bevægelser.

Noget af det der er karakteristisk ved symbolsk kunstig intelligens er, at de modeller man bygger, er *eksplicitte*. Hvis man for eksempel skal konstruere en skakcomputer med symbolsk kunstig intelligens, vil man have de mulige tilstande i spillet eksplicit repræsenteret i computeren, og reglerne vil også være eksplicit beskrevet, fx på en logisk form. Det betyder, at det med symbolsk kunstig intelligens er relativt let at få indsigt i, hvordan computeren “tænker”, og det er relativt let at modificere dens adfærd (fx at justere den til at kunne spille andre spil). Intelligent personlige assistenter som Siri på iPhone, Amazon Alexa og Google Home er også baseret på symbolsk kunstig intelligens, på nær talegenkendelsen (tale-til-tekst konvertering), som gøres subsymbolsk (se næste afsnit). Symbolsk kunstig intelligens har typisk den fordel, at den kan gøres robust og forudsigelig, og man vil også kunne give garantier for dens adfærd. Man kan fx matematisk bevise, om en given rutefindingsalgoritme altid finder den korteste rute eller ej. Ulempen ved symbolsk kunstig intelligens er så til gengæld, at de systemer man bygger typisk har nøje afgrænsede evner, og typisk ikke lærer af deres erfaringer.

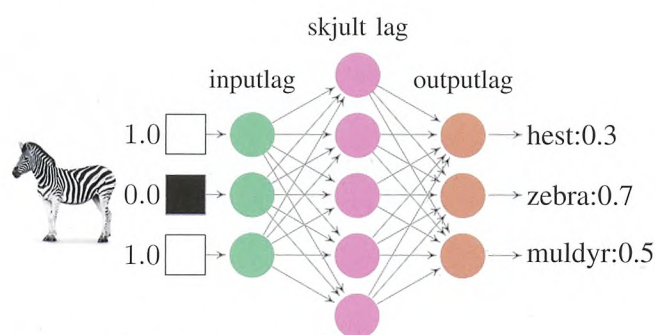
Subsymbolsk kunstig intelligens

Hvor den symbolske kunstige intelligens direkte forsøger at efterligne de højeste niveauer af menneskelig kognition, har subsymbolsk kunstig intelligens den diametralt modsatte tilgang. Her prøver man i stedet at bygge intelligens op nedefra igennem modeller af de mest fundamentale processer i den menneskelige hjerne. Det klassiske eksempel er kunstige neurale netværk, som er en simplificeret model af de atomare, neurologiske processer i den menneskelige hjerne. Den matematik man bruger til subsymbolsk kunstig intelligens er typisk lineær algebra og differentialligninger.

Som konsekvens af den tilgang til modellering, som subsymbolsk kunstig intelligens har, er denne form for kunstig intelligens typisk bedst til at efterligne de mest grundlæggende niveauer af menneskelig kognition som vores perception. Kunstige neurale netværk er efterhånden ret effektive til at efterligne en lang række aspekter af menneskelig perception som genkendelse af billeder og lyd. Det kan være sådan noget som at kunne kende forskel på billeder af hunde og katte eller kunne høre forskel på om nogen siger “tirsdag” eller “torsdag”. Kunstige neurale netværk bliver ikke eksplicit programmeret med forskellen mellem hunde og katte, men bliver trænet på en masse billeder af hunde og katte, hvor de får at vide hvad der er hvad.

Gennem en masse eksempler på objekter indenfor de forskellige kategorier lærer det (kunstige) neurale netværk efterhånden selv at kunne foretage kategoriseringer. Det er ret afgørende for kunstig intelligens, at vi har subsymbolske metoder til at kunne genkende mønstre og lave kategoriseringer af objekter. Det ville være temmeligt meget op ad bakke at skulle bruge symbolske metoder til at kende forskel på hunde og katte, da det ville kræve at vi programmerede computeren med en eksplicit, symbolsk karakterisering af forskellen mellem de to dyr. Omvendt er vi også stadig afhængige af symbolske teknikker til at kunne simulere kognitive processer på højere niveau, som fx logisk ræsonnering eller planlægning.

Fordi kunstige neurale netværk lærer igennem træning, hører de under den del af kunstig intelligens der kaldes maskinlæring (machine learning). Der findes dog også maskinlæring indenfor den symbolske gren, det kan fx være systemer der forsøger at lære eksplicitte, logiske repræsentationer af reglerne i skak eller whist ved at observere andre spille disse spil.



Figur 2. Et kunstigt neuralt netværk.

Et kunstigt neuralt netværk er opbygget af neuroner (punkter) og neuronforbindelser (kanter), se figur 2. Neuronerne er placeret i lag, og hver neuron modtager et signal fra hver af neuroner i det foregående lag (i et fuldt forbundet netværk). Neuronen omsætter disse inputsignaler til et outputsignal, som den sender videre til det næste lag. På den måde fungerer hele det neurale netværk som en signalprocessor, der omsætter et inputsignal til et outputsignal. Inputsignalet kunne fx være pixels fra et billede af et objekt, man ønsker klassificeret, og outputsignalet kunne så være klassifikationen. Figuren viser et simplificeret eksempel, hvor vi med et neuralt netværk ønsker at kunne skelne mellem billeder af zebraer, heste og muldyr. Der er derfor 3 neuroner i outputlaget, én for hver af de tre dyr. Når et billede skal klassificeres, sender man det således ind i inputlaget (med én inputneuron per pixel), hvorefter det flyder igennem netværket, og klassifikationen er så givet ved den outputneuron, som producerer det kraftigste signal (zebra-neuronen i figuren). Træningen af neurale netværk foregår ved at justere vægtene på neuronforbindelserne, som bestemmer hvor kraftigt de forskellige inputsignaler bliver forstærket. Hvis det neurale netværk under træningen fejlklassificerer en zebra som en hest, vil det automatisk justere vægtene, så outputsignalet på tilsvarende billeder i fremtiden vil komme tættere på at give den rigtige klassificering.

Sammenligning af symbolske og subsymbolske metoder

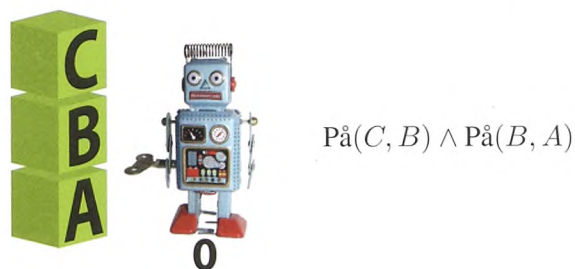
Vi nævnte tidligere, at de matematiske modeller benyttet i symbolsk kunstig intelligens er *eksplicitte*: vi opbygger eksplicitte, symbolske modeller af det domæne, vi ønsker at modellere. I subsymbolsk kunstig intelligens er de *implicitte*. Vi kan ikke umiddelbart inspicere et neuralt netværk, som kan kende forskel på heste, zebraer og muldyr, og så finde ud af præcist hvad klassificeringen er baseret på. Klassificeringen er opnået gennem træning og er udelukkende repræsenteret implicit via de trænedes neuronvægte. Det har følgende konsekvenser. Modsat symbolsk kunstig intelligens kan vi ikke i subsymbolsk kunstig intelligens give garantier for adfærd, vi kan fx ikke bevise om et neuralt netværk altid vil kategorisere zebraer korrekt. Neurale netværk kan aldrig være 100% fejlfri og robuste. Symbolske og subsymbolske teknikker har dermed hver deres styrker og svagheder, ligesom de også har hver deres anvendelsesområder.

Man kan give følgende analogi omkring forskellen mellem symbolsk og subsymbolsk kunstig intelligens. Antag at du ønsker at forudsige hvor langt en kanonkugle vil flyve afhængigt af parametre som vinkel på kanonrøret, størrelse af ladning og vindforhold. En mulig metode til at forsøge at udregne rækkevidden af kanonkuglen kan da være at opstille en bevægelsesligning baseret på mekanikkens love, og så regne på den ligning. Det vil være en eksplicit modellering i stil med symbolsk kunstig intelligens: Vi har en eksplicit, symbolsk model for det fænomen vi studerer, og når vi skal lave forudsigelser, så regner vi på denne eksplicitte model. En anden mulig metode kunne være at observere et stort antal kanonaffyringer under forskellige forhold, og så prøve at blive i stand til at lave præcise forudsigelser uden først at skulle forsøge at opstille eller forstå mekanikkens love på symbolsk form. Det svarer lidt til, hvordan vi som børn lærer at kaste en bold præcist. For at kunne ramme præcist, bliver vi nødt til at have en model af, hvordan bolden bevæger sig (i hvert fald af hvor langt den vil bevæge sig), men det betyder jo ikke, at vi løser symbolske bevægelsesligninger i hovedet, det betyder blot, at vi har fået opbygget en tilstrækkeligt præcis *implicit* model. Det er det samme, som sker i neurale netværk. Et neuralt netværk vil kunne trænes op til at forudsige rækkevidden af en kanonkugle, men vi vil ikke kunne inspicere neuronvægtene og deraf udlede noget som ligner bevægelsesligninger.

Symbolsk modellering af omverden

Ovenfor har vi snakket om kunstig intelligens som et modelleringsproblem: Vi mennesker laver matematiske modeller af aspekter af kognition eller ræsonnering, som vi implementerer på en computer. Men de implementerede kunstig intelligens-systemer er også systemer, som selv løser et modelleringsproblem: De skal skabe modeller af deres omverden, som de kan bruge til deres beslutninger, forudsigelser og klassifikationer, hvad enten det handler om at spille skak eller kende forskel på hunde og katte. Kunstig intelligens er således ofte en slags metamodel, fordi vi ønsker at skabe

modeller, som selv er i stand til at skabe modeller af deres omverden. Neurale netværk er et godt eksempel på dette, da et neuralt netværk gennem træning på meget direkte vis skaber en (implicit) model, som kan bruges til forudsigelser, beslutninger eller klassifikation.



Figur 3. En simpel verden og den tilhørende logiske model.

I det følgende vil vi fokusere på, hvordan symbolsk kunstig intelligens modellerer sin omverden. Der er mange forskellige tilgange, men det mest udbredte er at modellere omverden igennem logik. Figur 3 giver et simpelt eksempel. Den blå robot (robot 0) observerer en stak med tre kasser markeret med C , B og A , hvor C er øverst og A nederst. En simpel logisk model af denne verden er givet ved formelen vist til højre på figuren, som udtrykker at " C er ovenpå B og B er ovenpå A ". En symbolsk programmeret robot vil kunne bruge en sådan logisk formel til at beskrive sin omverden. Hvis robotten kan flytte rundt på kasserne, skal den også forstå hvordan verden, og dermed den logiske formel, ændrer sig når den gør det. Det kan også gøres logisk via det der hedder handlingsskemaer. Følgende handlingsskema beskriver logisk hvad det vil sige at tage et objekt x og putte det ovenpå objektet y :

ACTION: Put(x, y)

PRECONDITION: $\text{På}(x, z) \wedge \neg \exists v \text{På}(v, x) \wedge \neg \exists w \text{På}(w, y)$

EFFECT: $\neg \text{På}(x, z) \wedge \text{På}(x, y)$

Den logiske formel PRECONDITION beskriver betingelsen for at man kan putte x ovenpå y :

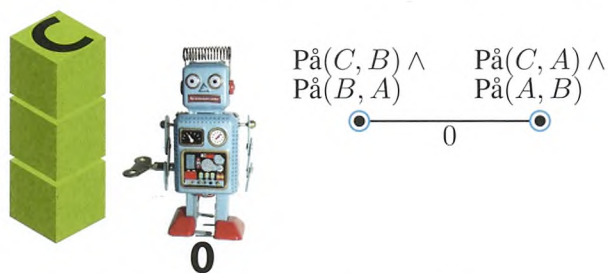
- $\text{På}(x, z)$: x skal allerede være ovenpå et objekt z ,
- $\neg \exists v \text{På}(v, x)$: der må ikke være noget objekt ovenpå x og
- $\neg \exists w \text{På}(w, y)$: der må heller ikke være et objekt ovenpå y .

Betingelsen kan eksempelvis *ikke* være opfyldt, hvis x er kasse B ovenfor, for kasse C ligger ovenpå kasse B . Den logiske formel EFFECT beskriver, hvordan verden ændrer sig, når handlingen bliver succesfuldt udført: x er ikke længere ovenpå z , men ovenpå y i stedet. Hvis vi anvender handlingen Put(C, gulv) på situationen vist i figur 3, vil resultatet blive, at $\text{På}(C, B)$ ikke længere er sand, men at $\text{På}(C, \text{gulv})$ i stedet bliver sand. Den resulterende formel bliver altså:

$$\text{På}(C, \text{gulv}) \wedge \text{På}(B, A)$$

Dette er naturligvis som ønsket: Hvis robotten flytter kasse C ned på gulvet, så vil C nu være på gulvet, mens B stadig er på A .

Ideen er her at robotten både har en logisk model af sin omverden og logiske modeller af hvordan dens handlinger modificerer omverden, og på den måde kan den let forudsige effekten af forskellige mulige handlinger. Det muliggør, at den kan lægge planer. Vi kan eksempelvis bede robotten om at lægge kasserne i alfabetisk rækkefølge med A øverst, og det problem vil den let kunne løse ved at regne på sine mulige handlinger, og hvordan de modificerer verden. Faktisk kan man til denne del af problemet bruge de samme typer af algoritmer, som man bruger til rutefinding, som var det første eksempel på kunstig intelligens vi så på.



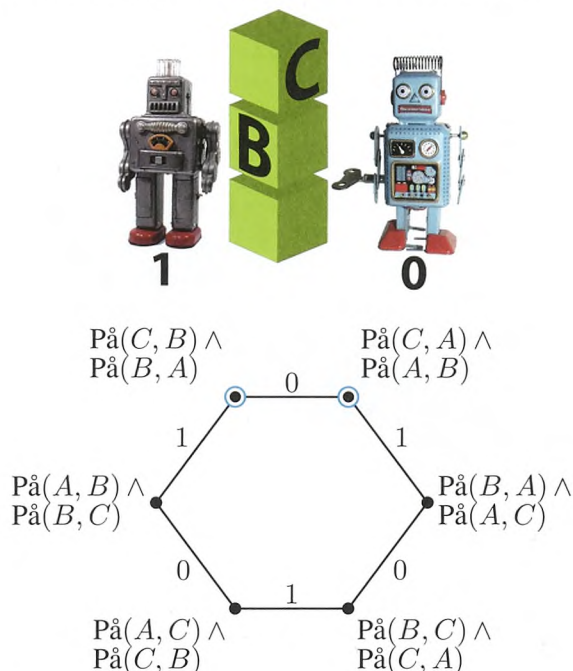
Figur 4. En verden uden fuld observerbarhed.

Robotter som skaber modeller af andre robotter

Det er ikke altid at en robot kan lave en præcis verdensbeskrivelse, der kan eksempelvis være ting, som den ikke kan se. Antag eksempelvis at kasserne i stedet er placeret med bogstaverne vendt opad, så robotten kun kan se bogstavet på den øverste kasse, som vist på figur 4. I dette tilfælde er robotten usikker på, om A er ovenpå B eller omvendt. Denne usikkerhed kan vi repræsentere ved at lave en model, som indeholder begge muligheder, som vist til højre i figur 4. I stedet for en enkel logisk formel er modellen nu en graf, hvor punkterne repræsenterer forskellige *mulige verdener*, og disse mulige verdener er hver især beskrevet som en logisk formel. Kanten i grafen mellem de to mulige verdener repræsenterer, at robotten ikke kan skelne disse to verdener: den ved ikke om det er B der er på A (den venstre verden i figur 4) eller A der er på B (den højre verden).

Ideen med at repræsentere sine omgivelser gennem mulige verdener bliver endnu mere afgørende, hvis robotten ikke længere er alene i verden. Betragt situationen i figur 5, hvor der nu er en ekstra robot (robot 1). Robot 1 kan kun se bogstavet på den midterste kasse, mens robot 0 kun kan se bogstavet på den øverste kasse. Grafen under robotterne viser hvordan denne situation kan modelleres af robot 0. De to punkter med en ekstra cirkel omkring er de samme som i figur 4. De repræsenterer de to verdener, som robot 0 opfatter som mulige. Men der er nu også en række nye punkter, og der er nu også både 0-kanter og 1-kanter i grafen. En 1-kant mellem to mulige verdener betyder, at robot 1 ikke kan skelne de to verdener. Det overlades til den interesserede læser at tjekke, at modellen faktisk repræsenterer den viste situation, og de usikkerheder

som de to robotter har med hensyn til, hvordan den virkelige verden ser ud. Pointen med modellen er, at det ikke længere kun er en model af, hvad robot 0 ved om kassernes konfiguration, men også en model af hvad robot 0 ved om robot 1. Ethvert par af mulige verdener, som kun afviger fra hinanden ved at der er byttet om på den øverste og nederste kasse, er altid forbundne af en 1-kant, og det repræsenterer netop det faktum, at robot 1 kun kan se bogstavet på den midterste kasse.

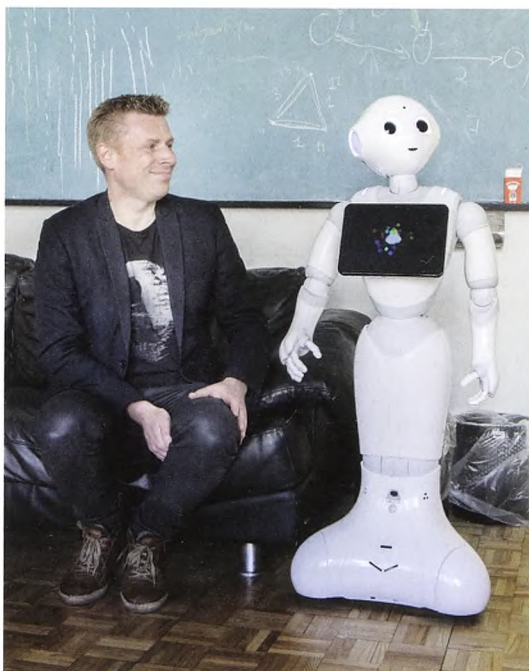


Figur 5. En verden med flere robotter.

Beder vi nu robot 0 om at placere kasserne i alfabetisk rækkefølge med A øverst, vil den ikke kunne løse opgaven alene, for den ved ikke om A er ovenpå B eller omvendt. Men den ved faktisk, at robot 1 ved om A eller B er øverst, for den ved, at robot 1 kan se bogstavet på den midterste kasse. En mulig måde for robot 0 at løse problemet på vil derfor være først at spørge robot 1, om bogstavet på den midterste kasse er A , og afhængigt af om svaret er ja eller nej, vil den så vide hvad den skal gøre. Ved at give robotter mulighed for at skabe og ræsonnere med denne slags modeller, kan vi således også få dem til at løse problemer, hvor de på denne måde bliver nødt til at sætte sig i andres sted og interagere med andre for at løse deres problemer.

Perspektiver og anvendelser

Modeller af ovenstående type muliggør, at kunstig intelligens-systemer kan sætte sig i andres sted og se verden fra andres perspektiv. Det er den evne som i kognitiv psykologi kaldes Theory of Mind. Der er solid evidens for at Theory of Mind er afgørende for menneskers sociale intelligens. Vores evne til at sætte os i hinandens sted er afgørende for vores evne til at samarbejde, være hjælpsomme og endda blot at forstå hvad hinanden mener, når vi siger noget. Mennesker formulerer sig generelt meget upræcist og flertydigt, noget man typisk først lægger mærke til, når man begynder at forsøge at konstruere kunstig intelligens-



Figur 6. Thomas Bolander og Pepper-robotten R2DTU.

systemer, som kan kommunikere med mennesker. Til trods for dette har vi en ret veludviklet evne til at forstå hinanden, og det skyldes i høj grad at vi kan sætte os i hinandens sted og forstå intentionen bag det sagte. Modeller som ovenstående er kun de første spæde skridt i retningen mod kunstig intelligens med bedre sociale evner og en generel evne til at sætte sig i andres

sted, men der er ingen tvivl om, at det er den rigtige retning at gå, hvis vi ønsker en fleksibel, letflydende og robust interaktion med fremtiden robotter, computere og smartphones.

Modeller som ovenstående er specifikt blevet benyttet til at vise, hvordan robotter kan bestå såkaldte *false-belief tasks*, en type af tests som oprindeligt er udviklet til at vurdere børns evne til at sætte sig i andres sted. I skrivende stund eksperimenterer vi på DTU med at få robotter af typen Pepper (figur 6) til at bestå sådanne false-belief tasks samt andre typer af opgaver, som kræver social perspektivtagning og sætten sig i andres sted. Vi arbejder også med scenarier indenfor eksempelvis hospitalsrobotter og husholdningsrobotter, hvor der er mange eksempler på, at det kræver en evne til at modellere andres intentioner, tanker og viden for at kunne agere på en socialt acceptabel måde.



Thomas Bolander er lektor ved DTU Compute. Hans forskning er centreret om kunstig intelligens med særligt fokus på social intelligens. Thomas Bolander er et af kernemedlemmerne af SIRI-kommissionen og en førende dansk foredragsholder indenfor kunstig intelligens.

Foreningsnyt – kommende foredrag

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Juni				
29 eller 30/6	19.00	Asteroid Day (sted og dato er ikke fastsat)	Check www.naturvidenskab.net	SNU
September				
3/9	19.15	Opdagelsesrejse på Mars	Jens Frydenvang	AS (Kbh)
10/9	19.00	Opdagelsesrejse på Mars	Jens Frydenvang	AS (Aarh)
10/9	19.30	Oversvømmet – igen! Udfordringer med for meget vand	Carlo Sørensen	SNU
24/9	19.15	Exoplaneter og stjernesvingninger	Rasmus Handberg	AS (Kbh)
Oktober				
1/10	19.00	Exoplaneter og stjernesvingninger	Rasmus Handberg	AS (Aarh)
1/10	19.30	Store jordskælv og hvad deraf følger	Trine Dahl-Jensen	SNU
15/10	19.15	Tyngdebølger, kilonovaer og oprindelsen af guld	Jonatan Selsing	AS (Kbh)
22/10	19.00	Tyngdebølger, kilonovaer og oprindelsen af guld	Jonatan Selsing	AS (Aarh)
22/10	19.30	Vulkanisme: årsag og virkning	Paul Martin Holm	SNU
November				
5/11	19.15	Udforskning af det højenergetiske univers	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Kbh)
12/11	19.00	Udforskning af det højenergetiske univers	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Aarh)
12/11	19.30	Pandemier – historiens store dræbere	Nils Strandberg Pedersen	SNU
26/11	19.15	Verdens mest avancerede robotteleskop	Mads Fredslund Andersen	AS (Kbh)
December				
3/12	19.00	Verdens mest avancerede robotteleskop	Mads Fredslund Andersen	AS (Aarh)
10/12	19.30	Når Jorden står for skud – asteroidenedslag og livets udvikling på Jorden	Henning Haack	SNU

AS (Kbh): Astron. Selskab (Kbh), Aud. 2, H.C. Ørsted Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (astronomisk.dk).

AS (Aarh): Astron. Selskab (Aarh), Matematisk Institut, AU, Ny Munkegade 118, Bygn. 1530, Aud.F/G122, 8000 Aarhus C.

SNU: Aud. 1, H.C. Ørsted Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (naturvidenskab.net, facebook.com/SNU1824).

Bemærk, at tid og sted for Asteroid Day ikke er fastsat.

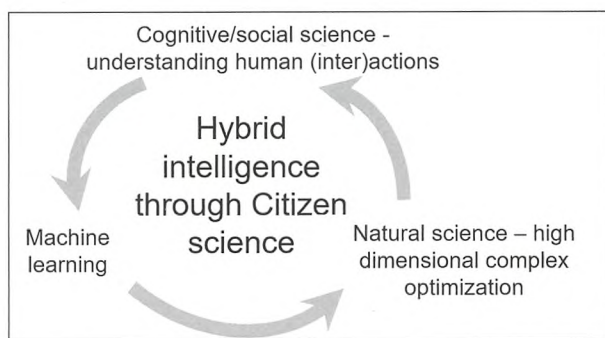
Er fremtidens forsker menneskelig eller kunstig intelligens?

Af Jacob Friis Sherson, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, og Carsten Bergenholtz, Institut for Virksomhedsledelse, School of Business and Social Sciences, Aarhus Universitet

Både i forskningen og den forretningsmæssige verden er der et intenst fokus på de muligheder, som kunstig intelligens indebærer. Mulighedernes verden synes at udvide sig år for år, og kunstig intelligens-algoritmer implementeres nu også i stor stil på kvantefysiske problemstillinger. Men hvad er grænserne for kunstig intelligens? Én kritisk vinkel fokuserer på, at kunstig intelligens-forskere ikke i tilstrækkelig grad forsøger at forstå og emulere menneskets særlige måder at løse komplekse problemer på. I forlængelse af dette perspektiv, udfolder vi i denne artikel vores citizen science-tilgang, hvor tusinder af almindelige borgere løser komplekse problemer via særligt designede spil. Vores analyser viser, at deres løsninger kvalitetsmæssigt er på niveau med fysikernes numeriske algoritmer, samtidig med at de komplementerer den kunstige intelligens ved at udvise en anden form for søgeadfærd. Dette arbejde peger mod udviklingen af en fremtidig hybrid intelligens, der kombinerer menneskers evolutionært betingede evne til at navigere komplekse problemer med algoritmers evne til at processere store datamængder.

Er der begrænsninger i kunstig intelligens

Kunstig intelligens (AI) er et felt i rivende udvikling, og vi hører næsten dagligt i pressen, hvordan AI har revolutioneret forretningsgangen i et nyt domæne. Inden for de sidste to årtier er vi gradvist blevet tvunget til at gen-tænke, hvad der kendetegner det unikke menneskelige intellekt i takt med at computeralgoritmer for eksempel lærer at genkende billeder, at genkende menneskelige følelser baseret på millioner af træningsvideoer og endda at kunne føre simple samtaler såsom telefonisk at bestille bord på en restaurant eller tid hos en frisør.



Figur 1. ScienceAtHomes vision: at udvikle hybrid menneske-computer-intelligens ved hjælp af citizen science-spil i både realistiske og komplekse naturvidenskabelige forskningsproblemer samt kontrollerede samfundsvidenskabelige situationer.

Nogle fremtidsforskere spår, at AI inden for få årtier vil overhale den menneskelige intelligens og dermed potentielt overflødiggøre hele den menneskelige race. Vil brudfladen mellem menneskelig og kunstig intelligens virkelig blive ved med at flytte sig med skræmmende hastighed? I denne artikel vil vi forsøge at tegne et langt mere opmuntrende fremtidsbillede af en kunstig intelligens med store, indbyggede mangler og fascinerende aspekter af menneskelig intelligens, som vi først nu er ved at begynde at forstå. Sammen peger det mod en fremtid med såkaldt hybrid intelligens, hvor nye og effektive løsninger vil opstå gennem systemer

og værktøjer, der udnytter synergier mellem de to. (Se figur 1 for en illustration af vores vision.)

Vi vil her ikke give en detaljeret gennemgang af forskellige former for AI. For dette henviser vi til artiklen af Thomas Bolander i dette nummer af KVANT. Derimod vil vi beskæftige os med påstanden fra et stigende antal AI-forskere om, at det nuværende Big-Data paradigme i AI ikke vil lede til intelligens på en menneskelig skala. En af kritikerne, professor i kognitiv psykologi Gary Marcus, fremførte tidligere i år en tankeprovokerende gennemgang [1] af svaghederne ved den prominente AI teknologi, Deep Learning (DL), hvori beregninger foretages ved at gemme information i flere lag af forbundne neurale netværk. (Se faktaboks for de mest prominente eksempler).

Faktaboks: Deep Learning

Hvor trænger Deep Learning (måske) til at forbedre sig?

1. DL fungerer primært med store datamængder
2. DL er domænespecifik og udviser meget begrænset transfer til andre områder
3. DL involverer ikke nogen naturlig måde at håndtere hierarkisk struktur på
4. DL kan ikke skelne kausalitet fra korrelation
5. DL er svært at tilpasse en ny problemformulering
6. DL forsøger ikke i høj nok grad at integrere tilgængelig baggrundsinformation

Gary Marcus starter sin kritiske gennemgang med et citat fra Google-forsker Francois Chollet: "For most problems where Deep Learning has enabled transformationally better solutions (vision, speech), we've entered diminishing returns territory in 2016-2017". Så selvom det måske ikke ser sådan ud i medierne, kan det være, at DL-hype-bølgen vil miste momentum.

Gary Marcus hævder i stedet, at vi skal vende os mod indsigter fra menneskelig problemløsning for at forstå vores evne til at træffe hurtige, intuitive og ofte korrekte beslutninger baseret på begrænsede data. Hans kritik har udløst heftige reaktioner fra AI-forskere, der mener, at problemerne sagtens kan adresseres med tiden inden for DL-paradigmet. Hvem der får ret, vil tiden vise. Bag polemikken står dog erkendelsen af, at mange af de spektakulære DL-fremskridt af fx projekter som Google DeepMind i høj grad er fremkommet ikke bare ved kombinationen af eksponentielt voksende tilgængelig computerberegnskraft og algoritmiske udviklinger, men også i høj grad skyldes den voksende tilgængelighed af enorme datasæt med menneskeligt-genereret label, som kan bruges til at træne de neurale netværk.

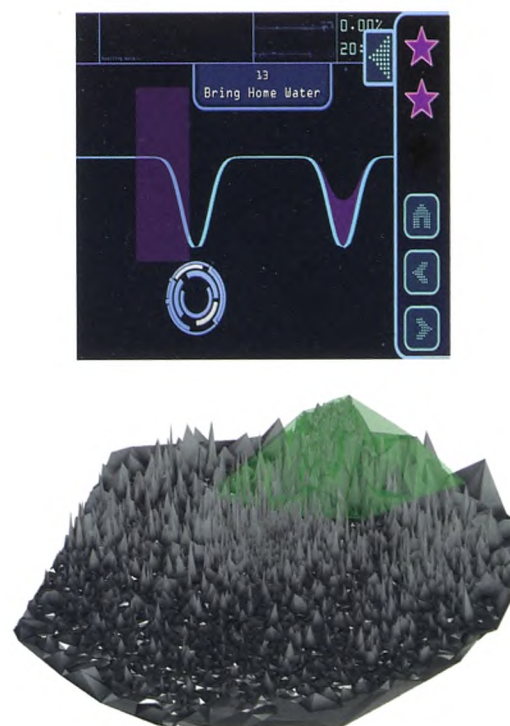
Dette rejser et reelt spørgsmål om, hvad AI skal gøre i domæner, hvor store mængder af menneskeligt genererede data ikke er tilgængelige? Et svar har været at udvikle selv-lærende algoritmer, der især har høstet enorm opmærksomhed inden for spilverdenen som fx DeepMinds AlphaZero-algoritme, der på få dage lærte sig selv at udkonkurrere alle tidligere algoritmer [2]. Selvom disse resultater virker overvældende, har de også givet anledning til kritik [3]. AlphaZero har vist autonom læring inden for et snævert spildomæne, men kun fordi specifikke regler for problemet blev skrevet ind i algoritmen. Det er ikke klart, at algoritmen kan anvendes i realistiske, komplekse situationer, hvor vi ikke kender problemets natur fuldstændigt. Selv om læring kunne foregå her, vil omkostningerne ved at gennemføre tilstrækkeligt mange træningsepisoder ofte være så store, at det vil sætte alvorlige begrænsninger. Ifølge Marcus' kritik kan disse omkostningsudfordringer evt. imødegås ved at emulere menneskers effektive evne til mønstergenkendelse. Vi vil ikke behandle polemikken yderligere, men blot konstatere, at billedet omkring menneskelig versus kunstig intelligens er væsentligt mere mudret, end det fremstår fra den konstante storm af medieindslag om succesfulde implementeringer af AI. Endvidere vil det fremgå nedenfor, at selv projekter som DeepMind er begyndt at vende blikket mod udviklingen af hybrid-intelligensalgoritmer, der kombinerer maskinernes rå regnekraft med menneskets intuition inden for et givent domæne.

Nu er vi klar til at vende tilbage til denne artikels titel. Hvilken rolle har AI at spille i et så komplekst domæne som forskning? Ligesom inden for industrielle anvendelser og spil, er der også eksplosiv vækst i eksemplerne på anvendelsen af kunstig intelligens inden for forskningsverden.

Optimering som vandring i et landskab

Før vi giver konkrete eksempler på brugen af AI i kvantefysik, er det nødvendigt kort at dvæle ved den matematiske formalisme, der forener tanker om optimering og problemløsning på tværs af natur- og samfundsvidenskaben. Allerede i 1930'erne begyndte man at opfatte søgning efter løsninger til komplekse problemer som vandring i et ikke-konvekst, multi-dimensionelt kontrollandskab, hvor koordinater udgøres af et sæt af variable, og højden i landskabet repræsenterer kvali-

teten af løsningen genereret af de korresponderende variable. Det har siden udviklet sig til et uvurderligt redskab inden for et utal af videnskabelige og industrielle grene. Et simpelt eksempel: et firma skal vælge, om de vil ansætte ingeniører eller fysikere i en udviklingsafdeling. Man kan nu forestille sig, at alle kombinationer af (antal fysikere, antal ingeniører) vil generere en given profit for firmaet (højden i landskabet), der ønskes optimeret. Dette illustrerer, at landskabet ofte ikke vil kunne afsøges fuldstændigt: enten på grund af et enormt antal af mulige konfigurationer (såkaldt "curse of dimensionality") eller fordi omkostningerne ved at undersøge hver mulighed er alt for høje eller i nogle tilfælde fysisk umulige, fordi begivenheder i den virkelige verden ikke kan afprøves flere gange under lignende forhold. (Se figur 2 for et eksempel på et landskab, der udsprang af kvanteforskningen beskrevet i detaljer nedenfor.)



Figur 2. Øverst: Quantum Moves-spillet. Brugeren styrer position og styrke af en laserstråle, der for atomet (lilla væske) virker som en fordybning i landskabet. Målet er at transportere atomet hurtigst muligt ind i målzonen uden skvulpsning til sidst. Nederst: en lav-dimensionel visualisering af det 1000-dimensionelle landskab i Quantum Moves-spillet. Den grønne region markerer den gode del af landskabet, hvori spillernes resultater klumpede sig sammen.

Det åbne spørgsmål inden for alle felter er derfor: hvordan afsøger man mest effektivt landskabet for at sikre sig, at man finder det globale optimum på kortest mulig tid? Søgning kommer generelt i to varianter: lokal og global. De lokale algoritmer bruger kendskabet omkring den lokale gradient i landskabet til at kravle hurtigt og effektivt til den nærmeste top. I et landskab med mange toppe skal man derimod have en global komponent, der undslipper de lokale maksima ved at tage større spring rundt i landskabet. Eftersom formen af landskabet i høj grad er ukendt, vil disse spring typisk være tilfældige som eksempelvis i standard evolutionære algoritmer, men også i moderne AI. De

tilfældige skridt er beregningsmæssigt meget dyre, fordi de ofte resulterer i dårligere løsninger. En af de største udestående udfordringer lige nu er derfor at finde den optimale balance mellem lokale og globale elementer, det såkaldte “exploration-exploitation tradeoff”. I den nyeste datalogiske forskning er der begyndende fokus på at udvikle algoritmer, der bruger en del af deres beregninger på at udforske strukturen af landskabet og derefter udvælge den algoritme, der mest effektivt søger i dette landskab. I denne artikel stiller vi et andet grundlæggende spørgsmål. Kan vi forstå, hvordan mennesker navigerer i et ukendt landskab tilhørende en given problemstilling, og kunne dette give anledning til forståelsen af semi-tilfældige (optimale) spring ud i det ukendte? Før vi beskriver vores respons på dette spørgsmål, giver vi her eksempler på maskinlæring i moderne kvantefysikforskning.

Kunstig intelligens i kvantefysik

Det første eksempel er fra eksperimentalfysikken. Ultra-kolde atomer bliver i stigende grad brugt til at realisere uhørt rene kvantefysiske eksperimenter og er gode kandidater til diverse moderne kvanteteknologier. Kølingsprocessen kræver en serie af kompleks manipulation af atomerne for i sidste ende at skabe et såkaldt Bose-Einstein-kondensat (BEC), hvori alle atomerne samles i den laveste energitilstand og bliver eksakte kopier af hinanden: én samlet makroskopisk kvantefysisk bølge. For at optimere kølingsprocessen skal et stort antal elektriske, magnetiske og laserfelter konfigureres med stor præcision. Denne optimeringsproces foregår traditionelt ved hjælp af eksperimentalfysikernes erfaring og intuition, men er gennem de seneste par årtier også blevet foretaget med autonome genetiske algoritmer. Disse har dog lidt under lange optimeringstider pga. de mange tilfældige skridt i processen. I 2016 implementerede Michael Hush og hans kolleger for første gang optimering ved hjælp af maskinlæring, mere præcist en Gaussisk procesoptimering, der lærte af tidligere eksperimenter og forsøgte at opstille en simpel model for det underliggende landskab [4]. Nye kontrolparametre blev udvalgt med henblik på at minimere usikkerheden i den konstruerede model. Forskerne viste, at optimeringen var ti gange hurtigere end tidligere algoritmer og demonstrerede også, at algoritmen kunne bruges til at bestemme, hvilke parametre der var vigtige for processen og hvilke, der var redundante. (Algoritmen detekterede fx autonomt, at forskerne med vilje havde trukket et af kablerne ud af maskinen.)

En af de mest opsigtsvækkende nyskabelser inden for feltet er introduktionen af DL-algoritmer i fysikken. Dette startede i 2017, da Carleo og Troyer viste, at komplekse mange-legeme-problemer kunne repræsenteres ved noderne i neurale netværk, og at man endda kunne lave tidsudvikling i disse [5]. Det har sat gang i spekulationer om, at neurale netværk måske kan byde på et fundamentalt paradigmeskift i beskrivelsen og fortolkningen af kvantefysiske fænomener såsom entanglement på linje med Københavner- og mangeverden-fortolkningerne. Fra et praktisk synspunkt er resultaterne potentielt revolutionerende, fordi netop tids-

simulering af kompleks mange-legeme-fysik er blandt de største udfordringer for moderne klassiske computere. Interessen for mange-legeme-fysik er enorm, fordi den giver anledning til eksotiske kvantefaser som fx topologiske tilstande og høj-temperatursuperledere. Disse faser er notorisk svære at beregne numerisk. En fascinerende udvikling i feltet er, at man nu er begyndt at anvende supervised learning i mønstergenkendelse med dybe neurale netværk på træningssæt af kvantefaser langt fra kritiske punkter, hvor bestemmelsen af den korresponderende fase er simpel. Når det resulterende neurale netværk så fodres med data fra det mellem-liggende parameterregime, kan netværket bestemme de kritiske punkter overraskende præcist [6,7]. Selvom tanken om autonom klassificering er besnærende, skal det nævnes, at forskerne erkender, at “de blev overhalet indenom af forskere, der brugte deres hoveder” på de mest spændende af resultaterne. Vi ser dette som en påmindelse om, at det vil være fornuftigt at lægge mærke til faktaboksens indvending nr. 6 og ikke forfalde til næsegrus begejstring ved autonom AI på bekostning af integrering af forskernes opbyggede erfaring.

I skrivende stund har ingen grupper publiceret fysikresultater med de nyeste selvlærende AI-algoritmer såsom AlphaZero, men vi har implementeret algoritmen til optimering af kvantecomputer-gate-operationer med lovende resultater, så der vil bestemt komme mange nyheder fra den front i de kommende måneder og år.

Sidst, men ikke mindst, i kontekst af denne artikel skal nævnes Google DeepMinds resultat fra sidste sommer [8], hvori de tager et skridt væk fra autonome algoritmer, der søger at opdage løsningerne til problemet fra bunden. I stedet udforsker de hybrid intelligens inden for fusionsforskning ved at blande forskernes erfaringsbaserede selektion af resultater med maskinens evne til at søge i høj-dimensionelle parameterrum. Den eksperimentelle optimering af fusionsplasma er yderst kompleks i sig selv og kompliceres yderligere af, at der ikke eksisterer en entydig kvantificering af kvaliteten af et givent eksperiment (fitnessfunktion). I stedet har forskerne udviklet en algoritme, der ligesom i BEC-optimeringen ovenfor udforsker det høj-dimensionelle rum, men samtidig giver forskerne mulighed for at påvirke optimeringsflowet ved regelmæssigt kvalitativt at vurdere mellem forskellige aktuelle konfigurationer og måleresultater.

Citizen science: Quantum Moves

Som nævnt i indledningen, er Gary Marcus’ kritik af megen AI-forskning, at den ikke i tilstrækkelig grad forsøger at forstå, hvad der kendetegner menneskers søgen gennem et komplekst landskab. Men i modsætning til fx billedgenkendelse, findes der ikke store datasæt for menneskelig problemløsning af forskningsudfordringer, hvorfor en sådan tilgang ikke umiddelbart er mulig. Derfor søger vi i vores projekt at løse dette dilemma ved at indkapsle naturvidenskabelige forskningsudfordringer i form af computerspil, der er tilgængelige for den brede befolkning: citizen science.

Citizen science-feltet er måske mest kendt for storstilede dataindsamlingsprojekter, hvor fx naturelskere

ved hjælp af deres mobiltelefon kan være med til at dokumentere biologisk diversitet. Et stigende antal forskningsgrupper er dog begyndt at indkapsle beregningsmæssigt komplicerede forskningsudfordringer i form af online aktiviteter eller computerspil, der ikke kræver formel videnskabelig træning. På den måde har frivillige citizen scientists gennem de seneste år bl.a. bidraget til så forskellige felter som astronomi, protein- og RNA-foldning og udmåling af neuroner i hjerneskanninger. Hvor mange af disse projekter udnytter den menneskelige evne til mønstergenkendelse gennem ganske simple brugerinteraktioner (se fx zooniverse.org), forfølger vi i www.ScienceAtHome.org (SAH)-projektet baseret på Aarhus Universitet en anden strategi. Med en veludrustet spiludviklingsafdeling forsøger vi at omforme matematisk veldefinerede optimeringsudfordringer til underholdende spil i stil med de populære casual games til mobiltelefoner.

Det første citizen science-spil udviklet af SAH er Quantum Moves (se figur 2), der er udsprunget af gruppens arbejde med eksperimentelt at realisere en såkaldt kvantecomputer. Vi har tidligere givet populærvidenskabelige fremstillinger af fysikken og spillet [9,10], så her gennemgås bare de overordnede principper og resultaterne af relevans for denne artikels tema. Vi har tidligere eksperimentelt demonstreret, at ultrakolde atomer kan organiseres i en krystalstruktur, der er blandt verdens koldeste temperaturer på få nanokelvin over det absolutte nulpunkt. Vi har ydermere vist, at en ultra-fokuseret laserstråle kan bruges til at manipulere tilstanden af de enkelte atomer. Atomer søger mod midten af laserstrålen, så hvis denne flyttes, vil atomet flytte med. Hvis man havde fuld kontrol over at omorganisere atomerne, ville man kunne benytte atomernes evne til at være i to forskellige tilstande samtidig til at realisere uhørt kraftige computerberegninger. Desværre opfører de meget kolde atomer sig som en kvantefysisk bølge, og ligesom vandet i en kop vil den skulpe, når den bliver bevæget hurtigt. At gennemløbe alle mulige bevægelser af laserstrålen for at levere atomet i slutområdet i hvile viste sig at være et beregningsmæssigt meget tungt problem at optimere for de konventionelle optimeringsalgoritmer. Hvor de kvantefysiske algoritmer fejlede, valgte vi et uortodokst alternativ: at transformere det matematiske problem til et computerspil, hvor spillerne kunne gennemprøve forskellige bevægelser af laserstrålen (se figur 2).

Mere end 250.000 spillere fra hele verden har nu prøvet spillet, Quantum Moves, og til vores store overraskelse viste studier af deres løsninger, at de afsøger mulighedsrummet helt anderledes og mere effektivt end de konventionelle algoritmer [11]! Konkret fandt et lille antal spillere løsninger af højere kvalitet end de bedste maskinresultater. Det er imponerende i sig selv, men mere interessant viste det sig, at over halvdelen af spillerne fandt løsninger, der kunne producere forbedrede løsninger, hvis de blev brugt som startkonfiguration for en videre maskinoptimering. Med andre ord: optimeringslandskabet er 1000-dimensionelt og er fyldt med meget spidse optima (se figur 2). Spillernes reelle bidrag var altså ikke at levere høj kvalitetsløsninger, men

derimod – i lighed med Google DeepMinds arbejde med fusionsoptimering – at identificere de regioner i parameter rummet, hvor gode løsninger eksisterer (grønt område i figur 2). Givet det menneskelige startgæt, kan optimeringsalgoritmerne hurtigt og effektivt klatre til det nærmeste lokale optimum. Endnu en overraskelse i de menneskelige data viste sig, da clustering-algoritmer, altså algoritmer, der søges at inddеле data-sættet i forskellige grupper, afslørede, at de spillergenererede løsninger fordelte sig i to særskilte grupper. Ved at tage gennemsnittet af alle løsninger inden for hver gruppe fremkom glatte kurver med to særskilte fysiske fortolkninger. Storskala-genereringen af menneskeligt input kan altså i lighed med AI-genererede data bruges til “autonomt” at identificere fundamentale træk ved den bagvedliggende fysik.

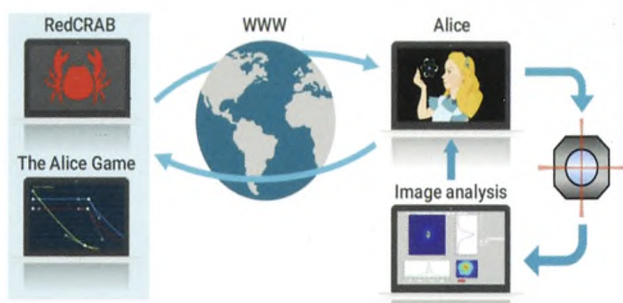
Menneskets kreativitet

Spørgsmålet er nu, hvordan spillere uden formel kvantefysisk træning kan udvikle en sådan “kvanteintuition”? For at være i stand til at udnytte menneskets særlige evne i fremtidige projekter, må vi først udforske, hvorfor og hvornår menneskers bidrag kan være værdifulde, når komplekse problemer skal løses.

Socialvidenskabelige forskere har allerede langvarig erfaring med at undersøge, hvordan mennesker alene og i fællesskab med andre mennesker løser problemer. De eksperimenter, som socialvidenskaben har udført, har dog almindeligvis haft fokus på meget simple og kunstige problemstillinger som fx Prisoners Dilemma eller andre to-dimensionelle problemer. I vores samarbejde mellem fysik og socialvidenskaben kan vi i en matematisk veldefineret kontekst undersøge, hvordan mennesker løser et virkeligt og meget komplekst problem, hvortil der findes et meget stort antal mulige løsninger. Herved udfolder vi et ægte interdisciplinært samarbejde, der kan bidrage til både fysik og socialvidenskab på én gang.

For at teste hvorfor almindelige mennesker kan være så effektive til at løse fysikproblemer, udviklede vi et nyt spil hvor vi kunne undersøge, hvordan spillere løbende tilpasser deres spiladfærd og lærer af andres løsninger i en kollektiv problemløsningsproces [12]. Et vigtigt element i udviklingen af dette nye spil var at gøre det ikke-intuitivt. Når vi fortæller om de spillergenererede resultater fra Quantum Moves, møder vi ofte spørgsmålet, om det ikke lykkedes fordi spilinterfacet var udformet til at minde så meget om den klassiske bevægelse af skvulpende væsker. Den analogi kan nok ikke etableres ved særligt mange moderne forskningsproblemer, så det er et åbent spørgsmål om metoden kan finde bred anvendelighed. For at teste denne indvending tog vi med det næste citizen science-projekt, Alice Game (se figur 3), brugerinddragelsen et skridt videre. I stedet for at optimere på en simulering af atombevægelsen som i Quantum Moves gav vi nu ved hjælp af et nyt styringsprogram, Alice, brugerne direkte adgang til at styre parametrene i det konkrete kvanteeksperiment i kældrene på Aarhus Universitet. Gennem en periode på tre uger hjalp næsten tusinde mennesker fra hele verden med at finde måder at skabe så mange ultrakolde atomer

som muligt – vores datapunkter i dette spil var altså ikke af simulerede atomer, men af faktiske ultrakolde atomer i vores kælder i stil med AI-optimeringen af BEC diskuteret ovenfor. Konkret styrede spillerne laserintensiteter og magnetfelter i løbet af den cirka 35 sekunder lange eksperimentelle sekvens. Som det ses på figur 3 er “spil”-interfacet langt fra intuitivt og denne gang heller ikke specielt underholdende. Spillerne trækker i en eller flere af tre kontrollkurver, trykker på submit-knappen, hvorefter løsningen sendes til laboratoriet, eksperimentet udføres og ca. 35 sekunder senere får brugere at vide, hvor mange atomer sekvensen resulterede i. Ingen af spillerne havde den eksperimentelle træning til at opbygge intuition for de underliggende fysiske processer. Alligevel lykkedes det konsekvent igen spillerne at lokalisere overraskende gode løsninger. Hvordan kan det være?



Figur 3. Alice interface. Remote-brugerne (eksperter eller citizen scientists) får adgang til direkte at optimere produktionen af ultrakolde atomer ved at programmere formen af magnetfelt og laserstyrke i eksperimentet (rød, blå og gul kurve). Efter at have modificeret formen i spillet, sendes løsningen til laboratoriet, hvor sekvensen udføres og ca. 35 sekunder senere får brugeren sin score.

Svaret indeholder to elementer. Et element illustreres i et interview med en af top-spillerne, en pensioneret italiensk mikrobølgeingeniør. Han udtalte, at for ham var det at deltage i Alice-udfordringen ligesom dengang han arbejdede som ingeniør. Han havde aldrig opnået en detaljeret forståelse af sine mikrobølgesystemer, men i stedet gennem årtier opbygget en evne til at gennemskue, hvilke ændringer man skulle lave på systemet for at gøre det mest sandsynligt, at opførslen blev forbedret. Disse citizen science-spil kan altså være med til at aktivere en evne til at søge den bedste løsning i et system, som mennesker har opbygget i andre domæner. Det andet element er, at spillerne er effektive til at lære af egne og andres tidligere gode og dårlige løsninger. Disse kollektive tilpasninger sørger for, at spillerne på effektiv vis formår at opdatere deres løsningsforslag. Samlet set komplementerer den kollektive søgeadfærd eksperternes mere konventionelle AI-algoritmer. Begge elementer er et udtryk for og anerkendelse af, at mennesket evolutionært set gennem mange generationer har opbygget en enestående evne til at balancere det førromtalte exploration-exploitation trade-off i deres navigation af komplekse landskaber.

Reelle menneskelige interaktioner er ikke lavdimensionelle, og sandheden omkring komplekse fænomener såsom samarbejde eller kreativitet kan ikke deduceres ud fra enkelte, stiliserede eksperimenter. Når Google og Facebook og de andre tech-giganter laver

avanceret personlig profilering af deres brugere sker det på baggrund af at have opsamlet data om dem fra mange sammenhænge. I SAH mener vi, at denne koncentration udgør et demokratisk problem, fordi de mange datadrevne erkendelser ikke publiceres frit, men derimod i høj grad benyttes til at maksimere firmaernes profit. Derfor er den bærende filosofi i SAH at få et sofistikeret indblik i menneskelig problemløsning og opførsel gennem udviklingen af mange forskellige forskningsspil inden for så forskellige discipliner som fysik, kemi, matematik, psykologi, kognitionsforskning og adfærdøkonomi samt åbent publicere alle erkendelser. Vi er ved at samle de samfundsvidenskabelige citizen science-spil til, hvad vi kalder en Social Science Super Collider (SSSC)-infrastruktur. Analogt til fysikkens CERN skal SSSC være en facilitet, hvor stor-skala samfundsvidenskabelige studier nemt kan afvikles. Hermed håber vi at opbygge store nok datasæt til at kunne foretage en direkte sammenligning af menneskers og kunstig intelligens-algoritmers måde og evne til at løse komplekse problemer. Det faciliterer videre en forståelse for, hvornår og hvordan utrænede citizen scientists har mulighed for at medvirke til løsningen af komplekse problemer, som almindeligvis har været tænkt forbeholdt højtuddannede specialister og AI. I sidste ende søger vi på denne måde at bidrage til udviklingen af en hybrid intelligens, der forener de særlige, komplementære egenskaber, der kendetegner henholdsvis menneskelig og kunstig intelligens.

Litteratur

- [1] G. Marcus (2018) *Deep Learning: A Critical Appraisal*, arXiv:1801.00631.
- [2] D. Silver m.fl. (2017) *Mastering the game of Go without human knowledge*, Nature, bind 550, side 354.
- [3] G. Marcus (2018) *Innateness, AlphaZero, and Artificial Intelligence*, arXiv:1801.05667.
- [4] P. B. Wigley m.fl. (2016) *Fast machine-learning online optimization of ultra-cold-atom experiments*, Sci. Rep., bind 6, side 25890.
- [5] G. Carleo og M. Troyer (2017) *Solving the quantum many-body problem with artificial neural networks*, Science, bind 355, side 602.
- [6] G. Broecker m.fl. (2017) *Machine learning quantum phases of matter beyond the fermion sign problem*, Sci. Rep., bind 7, side 8823.
- [7] G. E. P. L. van Nieuwenburg m.fl. (2017) *Learning phase transitions by confusion*, Nat. Phys., bind 13, side 435.
- [8] E. A. Baltz m.fl. (2017) *Achievement of Sustained Net Plasma Heating in a Fusion Experiment with the Optometrist Algorithm*, Sci. Rep., bind 7, side 6425.
- [9] J. J. W. H. Sørensen m.fl. (2014) *Spillere hjælper kvantecomputer på vej*, KVANT, september.
- [10] M. K. Pedersen m.fl. (2016) *Computerspil tæmmer atomernes verden*, Aktuell Naturvidenskab.

[11] J. J. W. H. Sørensen m.fl. (2016) *Exploring the quantum speed limit with computer games*, Nature, bind 532, side 210.



Jacob Friis Sherson er professor MSO ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han arbejder eksperimentelt og teoretisk mod implementeringen af kvanteteknologi og er leder af det tværfaglige citizen science-projekt ScienceAtHome.

[12] R. Heck m.fl. (2017) *Remote optimization of an ultra-cold atoms experiment by experts and citizen scientists*, arXiv:1709.02230.



Carsten Bergenholtz er lektor ved Institut for Virksomhedsledelse, School of Business and Social Sciences, Aarhus Universitet, samt affilieret ved ScienceAtHome. Han undersøger via eksperimenter, hvordan mennesker både individuelt og kollektivt løser komplekse problemer.

Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, KVANT

Dansk Fysisk Selskab afholdt sit årsmøde den 6.-7. juni på FænøSund Konferencenter ved Middelfart. Programmet bød både på fælles plenar-foredrag og foredrag i parallelle tematiske sessioner, samt poster-session, godt samvær og after-dinner foredrag om GastroPhysics ved professor Ole Mouritsen fra KU Food. Ved samme lejlighed afholdt Kvinder i Fysik, som er en sektion under DFS, også deres årsmøde.

Foredragene på årsmødet præsenterede de nyeste resultater indenfor en bred vifte af fysiske discipliner, fra astro-, partikel- og fusionsfysik til glasfysik, metamaterialer og kvantekommunikation. Derudover var der diskussion om fysikundervisningen på de danske gymnasier med Fagkonsulent Kim Bertelsen og formanden for Fysiklærerforeningen Michael Agermose.

Der var også arrangeret to undervisnings-workshops rettet mod (primært) undervisningen i gymnasiet: “DIY gamma spectrometer” og “Build your own cloud chamber”.

Der var igen kontante præmier til de bedste poster, og vinderne blev inviteret til at skrive en artikel om deres projekt til KVANT.

Førstepladsen gik til Nina Stiesdal (SDU) med posteren “Free-space QED with a single Rydberg superatom”. På vegne af bedømmelsesudvalget motiverede Tina Hecksher fra Roskilde Universitet valget med at Nina Stiesdal udviste et fantastisk godt overblik over sit felt og formåede at formidle et meget komplekst projekt til en “ikke-ekspert” fysiker med sin posterpræsentation.

Andenpladsen blev delt mellem Adrian B. Salo (SDU) og Mikkel Tang (KU). Adrian B. Salo deltog med posteren “Free electron production during ion

beam cancer therapy” og imponerede komiteen med sin entusiastiske og vidende præsentation af et projekt af meget høj kvalitet – især for så ung en studerende.



Figur 1. Vinderne af DFS's posterkonkurrence blev (fra højre) Nina Stiesdal (SDU), Adrian B. Salo (SDU) og Mikkel Tang (KU). Yderst til venstre ses en glad formand for DFS, Kristoffer Haldrup (DTU Fysik), der overrakte priserne.

Mikkel Tang havde medbragt posteren “Modelling lasing on a forbidden transition in a thermal cloud of Sr atoms”, som fungerede rigtig godt både med og uden præsentation med en særlig god balance mellem skreven tekst og visuelle virkemidler.

Redaktionen ser frem til at bringe artiklerne i løbet af efteråret.

Komparativ kognition og naturlig intelligens: Kloge krager, intelligente insekter og dumme dyr

Af Michael Pepke Pedersen, Centre for Biodiversity Dynamics, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim

Kunstig intelligens har få årtiers udvikling bag sig, mens naturlig intelligens har udviklet sig over mange millioner år. Aber, kragefugle og havpattedyr kan synes overraskende intelligente, mens for eksempel insekter, regnorme og bløddyr omvendt umiddelbart virker temmeligt dumme. Men hvor intelligente er ikke-menneskelige dyr egentlig, og hvordan kan vi forstå evolutionen bag deres – og dermed vores – naturlige intelligens og bevidsthed?

På Ny Kaledonien sidder en af de lokale krager med hovedet på skrå og kigger dybt i et hul på en væltet træstamme, hvori der ligger en fed larve. Vi ved ikke hvad, eller om, kragerne tænker, men der går i hvert fald ikke længe, før den kommer tilbage med en gren af passende længde og fleksibilitet. Den bukker enden af grenen, til denne udgør en krog, og lige så hurtigt har den fisket larven ud af hullet og spist den (figur 1). I fangenskab kan kragerne løse lignende komplicerede opgaver på trods af, at de har en hjerne på størrelse med en valnød [1].

Studiet af intelligens og tænkning på tværs af arter kaldes komparativ kognition og har til formål at forklare, hvordan intelligens og tænkning evolutionært har udviklet sig. Darwin var den første til at foreslå, at menneskets høje intelligens måtte have udviklet sig gradvist fra mere simple former, ligesom det var tilfældet med andre morfologiske og fysiologiske træk. Han var dog også hurtig til at konkludere, at regnorme – et af hans mest yndede studieobjekter – var tænkende væsener, der traf aktive valg om for eksempel udvalget af tunnelmaterialer. I dag anses regnormebevidsthed

måske som anekdotiske spekulationer, men der er udført overraskende lidt kognitionsforskning på regnorme siden dengang. Der er nemlig et bias i forskningen i komparativ kognition, da det ofte er de større, "kloge" pattedyr og fugle, der er genstande for undersøgelserne [2].

Dette vanskeliggør en rekonstruktion af forskellige kognitive træks udvikling under hensyntagen til arternes indbyrdes slægtskabsforhold (fylogeni). For hvad med alle de små dumme dyr? Forskningen i ganske små dyrs intelligens, såsom insekternes, kan bruges til at demonstrere, hvor utroligt meget, der kan gøres med relativt få neurale komponenter. For eksempel kan honningbier udføre et kompliceret "dancesprog", der viser vej til nektarkilder, men her støder forskningen på et terminologisk problem: både dans og sprog er menneskelige begreber, der næppe giver mening for bierne. Antropomorfismer er udbredte i kognitionsforskningen, hvor forskere sætter sig for at dokumentere menneskelig adfærd blandt dyr, som for eksempel når aber tilskrives retfærdighedssans, rotter empati og stærke depressioner.



Figur 1. Fra venstre mod højre: Ny kaledonisk krage med hjemmelavet "fiskekrog" til larvefangst; honningbien kan udføre et kompliceret dancesprog, mens rapsplanten underenden endnu ikke har afsløret meget om planters intelligens; en husskade hjemme foran spejlet, der måske sætter selvrefleksioner i gang; neuroner (her fra hjernebarken hos en laboratoriemus) udgør hjernens fundamentale byggeklodser hos alle dyr. Foto: Gavin Hunt/University of Auckland; Leidus/Wikimedia Commons; Marcellini/Etc. galerie; Lee/Wikimedia Commons.

Sammenligninger på tværs

Duer tilskrives normalt ikke større intellektuelle evner, men et studie har vist, at de kan lære at skelne mellem malerier af Monet og Picasso: Duerne blev trænet til at hakke, når de blev forevist for dem ukendte malerier af enten den impressionistiske realist eller den abstrakte kubist. Duerne var også i stand til at generalisere de to stilarter til at inkludere for eksempel Cézanne og Matisse [3]. Hvis malerierne af Monet blev vendt på hovedet, dumpede duer imidlertid testen, mens dette ikke var tilfældet med Picassos malerier. Det tyder på, at duerne derfor reagerede på de genkendelige elementer i Monets malerier. Til sammenligning havde kunstmuseet MoMA i New York Matisses abstrakte "Le Bateau" hængende omvendt i flere uger inden fejlen blev opdaget af en besøgende (figur 2).



Figur 2. Henri Matisses "Le Bateau" (1954). På trods af navnet, har både fugle og mennesker svært ved at se, hvad det forestiller.

Når vi overraskes af eksperimentelle test af papegø-jers eller biers indlæringsevner [2], kragers eller abers redskabsbrug, skyldes det ofte, at disse opgaver ligger tæt på artens naturlige forudsætninger for at håndtere artsspecifikke udfordringer, som er blevet optimeret gennem evolutionen. For eksempel udfører både duer og bier fødesøgning og navigation ved hjælp af en veludviklet synssans, hvorfor de reagerer på visuelle "intelligenstests". Udstyrer man en gammel, erfaren elefant med en pind og noget mad serveret uden for rækkevidde, men som kan nås med pinden holdt i snablen – altså i lighed med den opgave, kragen havde med hule træstammer – så ved elefanten, på trods af dens store hjerne, ikke, hvad den skal gøre. Opstillingen mangler forståelse for elefantens biologi; med pinden i snablen blokerer den for lugte- og følesanser, der skulle gøre den i stand til at lokalisere maden. Får elefanten i stedet for nogle kasser, som den kan sparke på plads og om nødvendigt stable, er det ikke noget problem for den at få fat i maden [4].

At måle grader af intelligens og erkendelsesevne er ikke så simpelt, som den amerikanske præsident Trump giver udtryk for, når han udfordrer sine modstandere til en IQ-test. Kunne man desuden vurdere intelligens på tværs af arter objektivt og relativt i forhold til deres biologi, ville man måske komme til den naive konklusion, at de alle var lige intelligente i forhold til deres biologi, da de er alle er tilpassede deres omgivelser og har overlevet lige længe på Jorden. Der er dog nogle umiddelbart kvantificerbare størrelser, såsom hjernestørrelse og -struktur, der lader til at være afgørende for graden af naturlig intelligens.

Små og store hjerner

I Taps uden for Christiansfeldt sidder en konservator og fastslår dødsårsagen af alle fuglene indleveret til udstopning, samt udtager og vejer deres hjerne: På baggrund af flere tusinde individer har han dermed vist, at fugle, der enten bliver skudt i forbindelse med jagt eller bliver kørt ned og dræbt i trafikken – primært i Sønderjylland – vitterligt har relativt mindre hjerner end fugle, der er døde af andre årsager [5]. Størrelsen fortæller dog ikke alt. Store dyr har store sanseorganer og store muskler med flere tilhørende neuroner og dermed store hjerner, så der må tages højde for kropsvægten i sammenligninger af hjerner.

I naturen er variationen i hjernestørrelse og tilhørende antal neuroner imponerende: Fra hvalers op til 9 kg tunge hjerner med over 200 milliarder neuroner, menneskets 1,3 kg og 85 milliarder neuroner, ravnens 14 gram og 2 milliarder neuroner til honningbiens få milligram og 1 million neuroner [6]. Sammenlignet med for eksempel aber er fugle overraskende intelligente i forhold til deres små hjerner. Nye undersøgelser har vist, at fugle generelt har en meget højere neurontæthed i hjernen, hvilket kan tænkes at være endnu en tilpasning til at flyve ved at begrænse den samlede kropsvægt (figur 3). Endelig er store hjerner dyre i drift – menneskets hjerne står for 20% af energiforbruget i hvile, men udgør bare 2% af kropsvægten – og hver art har rimeligvis den hjernemasse, der skal til for at løse de problemer, dagligdagen normalt møder dem med.

Neuroner (nerveceller) er hjernens fundamentale byggeklodser, der ved hjælp af kemiske og elektriske impulser for eksempel behandler sanseinformation fra sensoriske neuroner, sender signal til motoriske neuroner og opbygger netværk med andre neuroner, som sørger for informationsbehandling. Neuronernes komponenter, såsom receptorer, neurotransmittere og ionkanaler, er evolutionært velbevarede på tværs af dyreriget, hvilket vil sige, at de sandsynligvis var til stede i en tidlig fælles stamfar. Neuroner er altså homologe strukturer, der har givet ophav til vidt forskellige kognitive egenskaber hos både mennesker og insekter. Det er derfor oplagt at forsøge sig med en induktiv tilgang til at sammenligne intelligens ved først at kortlægge de neurobiologiske og genetiske fundamenter bag bestemte kognitive egenskaber. Det er teknisk vanskeligt, men



Figur 3. Gul bavian (150 gram hjerne med ca. 11 mia. neuroner), kea papegøje (14 gram svarende til én valnød med 2 mia. neuroner) og afrikansk elefant (4200 gram svarende til 300 valnødder, 250 mia. neuroner). Bemærk, at kea papegøjen ligesom andre fugle har dobbelt så høj neurontæthed som aben, elefanten og flere andre pattedyr. Foto: Michael Pepke Pedersen.

til gengæld kan de molekylære forskelle vise sig at være ganske simple. For eksempel i genet FOXP2, der er afgørende for menneskers taleevne, adskiller bare to aminosyrer sig fra (de mere uarticulerede) chimpansers udgave af genet [2].

Intelligent evolution

Pattedyr og fugle har et fælles ophav for over 300 millioner år siden, men fuglene udgør egentlig en gruppe blandt krybdyrerne, der ellers ikke har udmærket sig i kognitive tests. På trods af sammenlignelig intelligens, er fuglehjerner og primathjerner ganske forskellige, hvilket er et eksempel på konvergent evolution; her er høj intelligens opstået uafhængigt flere gange. Mennesket udviklede sig ikke fra aberne, men fra en fælles stamfar til mennesker og menneskeaber. De nulevende menneskeaber er dog ikke i nærheden af at have gennemgået en kognitiv udvikling lig menneskets gennem de sidste 2 millioner år. Men man kunne spekulere, om noget, der minder om menneskets intelligens, kunne udvikle sig igen for eksempel fra andre grene af menneskeabernes stamtræ. Faktisk har kragefuglene gennemgået en hjerneudvikling, hvor deres relative neuronantal er blevet skaleret op fra deres slægtninge blandt spurvefuglene i lighed med menneskehjernens opgradering fra primaternes hjerne [6].

Menneskers og blæksprutters fælles stamfar levede for mere end 700 millioner år siden og disse bløddyr har udviklet en radikalt anderledes hjerne, der er decentraliseret, og hvor over halvdelen af neuronerne befinder sig i blækspruttearmene. Dermed kan hver arm "tænke" for sig selv, og blæksprutter har da vist sig at være kreative tekniske problemløserne med god hukommelse. Bevæger vi os yderligere 900 millioner år tilbage i tid, finder vi menneskers og planter fælles stamform. Darwin undersøgte, hvorvidt planter ligesom dyr havde udviklet et nervesystem, ved at forsøge at bedøve den kødædende plante soldug, der ved hjælp af tentakler kan fastholde for eksempel en flue. Det lykkedes ikke for Darwin ved brug af kloroform, der lammer centralnervesystemet hos mennesker, og planter har da hverken centralnervesystem eller neuroner. Ikke desto mindre taler nogle forskere om en kontroversiel

form for "plante-intelligens", som omfatter planternes decentraliserede kommunikations- og responssystemer, der kan formidles af både elektriske, kemiske eller vaskulære signaler [7]. Selvom det græske ord "neuron" oprindeligt har været brugt om plantefibre, så er ideen om "plante-neurobiologi" i dag snarere en metafor for planternes til tider komplekse og skjulte adfærdsmønstre, som for eksempel når en plante (forståeligt nok) producerer forsvarsstoffer som reaktion på smaskelydene fra en kållarve [8].

Bevidsthedens spejl

Mens en chimpanse er bedøvet, mærkes dyret med en plet i panden, hvorefter den sættes foran et spejl. Hvis aben giver sig til at undersøge og berøre pletten i panden ved hjælp af refleksionen i spejlet, har den bestået spejltesten, hvilket tolkes som en vis grad af selverkendelse. Andre primater (inklusive de fleste mennesker mere end 18 måneder gamle), delfiner, spækhuggere, elefanter og husskader har bestået den såkaldte spejl-test (figur 1). Ét studie påstår sågar, at myrer, der generelt er meget opmærksomme på hvem, der hører til i kolonien, også kan genkende sig selv. Spejl-testen giver selvfølgelig kun mening, hvis dyret har en veludviklet synssans og dermed forudsætningerne for at reagere på mere eller mindre detaljerede visuelle indtryk, hvilket gælder for en del pattedyr, fugle og sociale insekter. For eksempel kan man på Internettet se videoer af hunde, der bliver temmelig forvirrede foran et spejl, men de vil som udgangspunkt forlade sig på deres veludviklede lugtesans i mødet med andre hunde (og sig selv). Diskussionen om intelligens på tværs af arterne er dermed nært forbundet med evnen til selverkendelse, eller rettere: menneskets evne til at erkende selverkendelse hos andre dyr.

Naturlig intelligens

Forskningen i komparativ kognition illustrerer, hvorledes intelligens og selverkendelse kan have udviklet sig, men gør det samtidig sværere at identificere hvilke egenskaber, som adskiller os mennesker fra alle andre dyr [9]. Kreativitet, selverkendelse, viden om fremtiden og fortiden er ikke længere unikt for mennesker. Dyrene

og deres hjerner er til stadighed blevet sammenlignet med en computer, altså robotter, hvis adfærd kan beregnes. I så fald er det en computer, hvis hardware er under stadig forandring, når neurale netværk opbygges og nedbrydes. For over hundrede år siden blev mennesket sammenlignet med en dampmaskine, der regulerede forskellige (ind-) tryk, og hvem ved, hvilke meningsfulde analogier vi vil være i stand til at trække på om endnu hundrede år [10]?

Fra et subjektivt synspunkt er vi imidlertid ikke blevet meget klogere på, hvad dyrene egentlig tænker, og her udgør kommunikation og sprog den største barriere, selvom der findes eksempler på dyr, der blev trænet til mere eller mindre at forstå mennesker. Chimpansen Kanzi lærte et simpelt symbolsprog, gråpapegøjen Alex talte et nødtørftigt engelsk, og bordercollien Rico kendte flere hundrede tyske navne på legetøj. Generelt er dyr fra insekter til bløddyr og fugle nok ikke så dumme, som man tidligere troede. Hvad værre er, så tyder noget forskning på, at mennesker ikke er så intelligente, som man burde tro. Vi forlader os i høj grad på simple heuristiske algoritmer til at træffe beslutninger, hvilket kan sammenlignes med dyrenes instinkter. Desuden er den gennemsnitlige menneskehjerne muligvis blevet mindre siden agerbrugsrevolutionen for 10.000 år siden, hvorefter småt bemidlede individer har kunnet overleve og reproducere sig ved for eksempel udelukkende at grave huller, hente vand eller slå søm i – noget der ikke var gået blandt fortidens alsidigt udfordrede jægersamlere [10].

Peter Plys (uspecifiseret bjørneart) forsøgte engang at narre honning fra en koloni af honningbier ved brug af en ballon. Efter nøje at have vurderet mulighederne for forskellige visuelle forklædninger, konkluderede Plys dog om sine chancer for succes: "Måske og måske ikke. Man kan aldrig vide, hvad bier tænker."

Litteratur

- [1] Rutz, C., Sugawara, S., van der Wal, J. E. M., Klump, B. C., St Clair, J. J. H. (2016) *Tool bending in New Caledonian crows*, Royal Society Open Science, bind 3, 160439.

- [2] Chittka, L., Rossiter, S. J., Skorupski, P., Fernando C. (2012) *What is comparable in comparative cognition?*, Philosophical Transactions of the Royal Society B, bind 367, 2677–2685.
- [3] Watanabe, S., Sakamoto, J., Wakita, M. (1995) *Pigeons' discrimination of paintings by Monet and Picasso*, Journal of the Experimental Analysis of Behavior, bind 63, 165–174.
- [4] Foerder, P., Galloway, M., Barthel, T., Moore III, D.E., Reiss, D. (2011) *Insightful problem solving in an Asian elephant*, Plos One, bind 6, e23251.
- [5] Møller, A. P., Erritzøe, J. (2017) *Brain size in birds is related to traffic accidents*, Royal Society Open Science, bind 4, 161040.
- [6] Olkiewicz, S., Kocourek, M., Lučan, R.K., Portes, M., Fitch, W.T., Herculano-Houzel, S., Němec, P. (2016) *Birds have primate-like numbers of neurons in the forebrain*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, bind 113, 7255–7260.
- [7] Brenner, E. D., Stahlberg, R., Mancuso, S., Vivanco, J., Baluška, F., Van Volkenburgh, E. (2006) *Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling*, Trends in Plant Science, bind 11, 413–419.
- [8] Appel, H. M., Cocroft, R. B. (2014) *Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing*, Oecologia, bind 175, 1257–1266.
- [9] Madsen, P. L. (2012) *Dr. Zukaroffs testamente*, Gyldendal.
- [10] Harari, Y. N. (2017) *Homo deus – En kort historie om i morgen*, Lindhardt og Ringhof.



Michael Pepke Pedersen er ph.d.-studerende ved Centre for Biodiversity Dynamics ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim, hvor han forsker i udviklingen af fugles økologi og livshistorie. Han har en kandidatgrad i biologi med speciale i evolution og en bachelorgrad i nanovidenskab fra Københavns Universitet.

SNU på Big Bang-konference

Selskabet for Naturlærens Udbredelse deltog med egen stand på Big Bang-konferencen i Odense i april. Der blev fortalt om Henning Haacks vellykkede meteoritturne til 30 gymnasier landet over og om selskabets foredrag i København.

Der blev også uddelt 750 eksemplarer af KVANTs temanummer om meteoritter til glade Big Bang-deltagere, som til gengæld kom med mange gode idéer til nye aktiviteter. SNU fik også fortalt mange grundskolelærere om et nyt initiativ med en H. C. Ørstedmedalje til en inspirerende grundskolelærer i naturvidenskab og teknik.



Robotter, kunstig intelligens og fremtidens uddannelse

Af Jeppe Dørup Olesen, Det danske Innovations Center, Silicon Valley

Nye teknologier som digitale platforme, kunstig intelligens, robotter og adaptive læringsværktøjer får stor betydning for fremtidens uddannelser og undervisning. De nye teknologier optager både forskere, embedsfolk og politikere i Silicon Valley, hvor mange af de nye teknologier bliver udviklet.

De senere år er der blevet investeret mere end nogensinde i uddannelsesteknologi. I 2017 var de samlede investeringer 9,5 mia. dollars. Ud af de 37,8 mia. dollars, der er investeret i uddannelsesteknologi-virksomheder siden 1997, blev 62% af pengene investeret inden for de sidste 3 år [1].

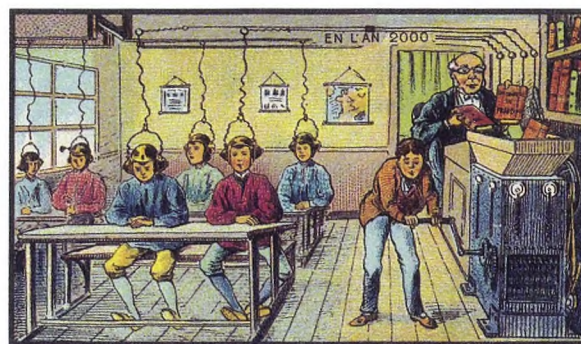
I skoledistrikterne i Silicon Valley diskuterer man, hvordan de nye teknologier kan eller skal integreres i undervisningen i klasserne fra 0.–12. klasse (børnehaveklasse til 3.g). Mens nogle argumenterer for, at alle børn skal lære at programmere, mener andre, at det er overflødigt, for om ganske få år vil computere kunne programmere sig selv (bedre end de fleste mennesker vil kunne).

Universiteterne fokuserer også på emnet, og i slutningen af 2017 afholdt Stanford University et arrangement om, hvordan kunstig intelligens kan få betydning for uddannelse i fremtiden.

Konferencen belyste emnet fra forskellige vinkler. En af dem var den neurovidenskabelige vinkel, hvor forskningen fokuserer på, hvordan børns hjerner fungerer, og hvordan de lærer. Her ser forskerne på, om der kan udvikles læringsværktøjer baseret på kunstig intelligens, der tager højde for det enkelte barns læringsudfordringer baseret på viden om, hvordan børns hjerner fungerer. En anden vinkel, som også blev behandlet på konferencen, er udvikling af tekstbøger, der tilpasser sig den enkelte elevs behov og læringshastighed. Kunstig intelligens kan nemlig også bruges til at udvikle adaptive tekstbøger, der kender fagindholdet og kan svare på spørgsmål fra de studerende, teste, om de har lært stoffet og tilpasse stoffet til den enkelte studerendes niveau. Forudsigelsen er derfor, at fremtidens uddannelse bliver online-baseret – fordi robotter kan lære børn stoffet hurtigere, end en lærer kan.

Og når fremtidens uddannelse bliver online-baseret forudser flere, at teknologien vil ændre læring og skolesystemet radikalt over de kommende år; når uddannelse er tilgængeligt online til en lavere pris end de nuværende og endda leveret af bedre lærere og intelligente robotter, så vil studerende flytte over på de elektroniske platforme, lyder argumentet – i USA er der forudsigelser om, at op imod halvdelen af de videregående uddannelsesinstitutioner vil være truet i fremtiden [2]. Der er dog også andre typer af forhåbninger til, hvad fremtidens uddannelsesteknologi ville kunne gøre, fx for personaliseret læring, der nøje indretter niveau og hastighed til den enkelte elev på en meget mere effektiv

måde end klasseundervisningen, som vi kender i dag [3].



Figur 1. En fransk kunstners forudsigelse om år 2000 i skolen. Billedet er fra 1898.

Det er naturligvis ikke den første forudsigelse om fremtidens uddannelser; da radioen kom frem, var der også en forudsigelse om, at alle ville få uddannelse gennem radioen, og skoler blive overflødige. Det samme skete, da TV'et kom frem, og da online-kursusudbydere som Coursera og Udacity kom frem for et årti siden, var forestillingen også, at uddannelse fremover ville blive online-baseret. Naturligvis lærer vi i dag meget både gennem radio, TV og online-forløb – men skoler, ungdomsuddannelser og videregående universiteter består stadig. Kognitiv forskning har vist, at vi mennesker lærer mere effektivt gennem social interaktion, og at mange læringsmål opnås bedst gennem dialog mellem lærere og elever.

Uddannelsesteknologi og kunstig intelligens er i konstant og hastig udvikling, og der findes mange eksempler på uddannelsesteknologier, der anvender kunstig intelligens [4], men ser man på, hvor vi står i dag, så er der stadig et stykke vej at gå. Stanford University udgav i 2016 "The one Hundred year study on Artificial intelligence" [5] og på uddannelsesområdet er konklusionen, at uddannelsesteknologien stadig ikke anvendes bredt i skole- og uddannelsessystemet i USA. Det skyldes dels, at det er omkostningsfuldt at implementere det, men også fordi der stadig mangler solide beviser for, at teknologien rent faktisk hjælper eleverne med at opnå læringsmålene. Men også i denne rapport vurderes det, at potentialet er stort på uddannelsesområdet.

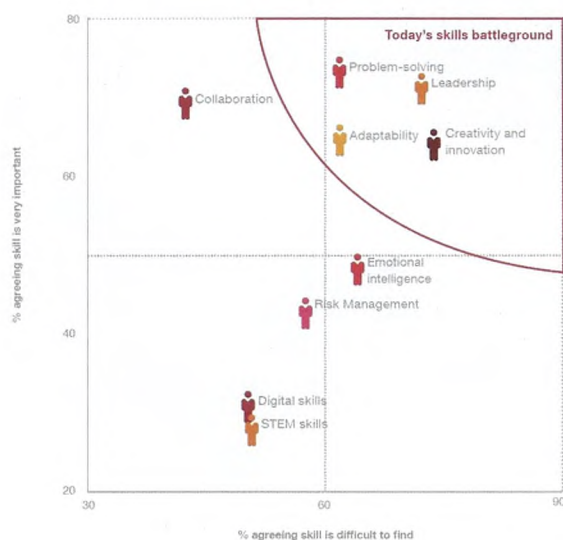
Ét spørgsmål er, hvad teknologien kan gøre i og for uddannelsesverdenen. Men teknologien påvirker arbejdsmarkedet i bred forstand, og den forventes at

påvirke hvilke kompetencer, der efterspørges på arbejdsmarkedet i fremtiden. Og så bliver spørgsmålet, hvad skal vi så lære i uddannelsessystemet?

Skal vi være bedre end robotterne?

Computerkraften er forøget betydeligt i de foregående årtier og vil formentligt blive ved med at gøre det i fremtiden. Det er ikke sandsynligt, at vi mennesker kan blive bedre til at regne end computere eller bedre til at overskue store datamængder; hvis vi skal konkurrere mod robotterne skal vi formentlige være gode til noget andet end computere og komplekse algoritmer i fremtiden. Hvis man vil vide, hvilke kompetencer, der bliver vigtige i fremtiden, kan man naturligvis spørge arbejdsgivere, hvad deres ønsker er til kompetencer hos folk med en videregående uddannelse. Det blev gjort i en amerikansk undersøgelse i 2016. Den kvalitet, flest arbejdsgivere kigger efter hos medarbejdere, er "lederskab" og "evnen til at samarbejde". Derefter kom kompetencer som skriftlig kommunikation, problemløsning, stærk arbejdsetik og initiativ. Alle sammen centrale menneskelige kompetencer. Og tankevækkende er, at først længere nede på listen kommer tekniske færdigheder.

En anden tilsvarende undersøgelse [6] peger på samme tendens (se figur 2). Fremtidens medarbejdere skal være kreative, problemløsende, adaptive osv. Med andre ord, blive de vigtige kompetencer dem, som robotterne har svært ved at klare.



Figur 2. "Soft skills" er efterspurgt, men svære at finde. På y-aksen er vist, hvor mange ledere, som er enige i, at de nævnte færdigheder er vigtige for deres organisation (udover teknisk ekspertise). På x-aksen er vist, hvor mange ledere, der er enige i, at det er svært for deres organisation at rekruttere folk med disse færdigheder eller karakteristika [6].

Når der nu er ved at blive udviklet den mest avancerede generation af maskiner i historien, så har vi også brug for at gøre det samme for os mennesker igennem uddannelse, der bygger på menneskelige styrker og giver kompetencer i en verden, hvor vi skal arbejde sammen med brillante maskiner.

Hvordan gør vi så det?

I 2017 blev udgivet en bog med titlen "Robot-proof" [7]. Forfatteren er professor Joseph E. Aoun, rektor på Northeastern University i USA, og i bogen stiller han spørgsmålet: hvordan laver vi videregående uddannelser, der er "Robot-proof"? – det vil sige uddannelser, der giver fremtidens unge kvalifikationer, der ikke kan erstattes af robotter, men som gør fremtidens unge bedre til at samarbejde med og udnytte robotternes potentiale.

Udover de basale læse-, skrive- og regnefærdigheder får vi i fremtiden også brug for datafærdigheder, teknologiske færdigheder og menneskelige færdigheder – fordi vi ikke i en digital verden kan klare os med analoge værktøjer alene. Vi skal bruge datafærdigheder til at forstå og analysere informationen omkring os, vi skal bruge teknologiske færdigheder for at få en forståelse af programmering, og ingeniørkundskab for at forstå maskinerne, vi skal samarbejde med. Menneskelige færdigheder omfatter humaniora, kommunikation og design, som skal lære os at arbejde i menneskelige omgivelser. Viden er ikke tilstrækkeligt til at klare sig i fremtiden, det kræver også en række kognitive evner, der omfatter systemtænkning, entreprenørskab, kulturel agilitet og kritisk tænkning.

Teknologi er en forandrings-driver på uddannelsesområdet på to måder: den ændrer både mulighederne for, hvordan uddannelse kan leveres, designes, tilpasses. Men den ændrer også på, hvad vi skal lære i uddannelsessystemet i fremtiden. Og det sidste er det centrale; teknologien skal hjælpe med at opnå de målsætninger, vi sætter i uddannelsessystemet.

Det er i disse årtier, teknologien forandrer arbejdsmarkedet, og det er nu, vi skal have dialogen om, hvordan kunstig intelligens og digitale læringsværktøjer kommer til at påvirke fremtidens uddannelser og forbedrer læring i fremtiden. Den dialog har vi heldigvis allerede i Danmark. Den diskussion handler både om alle de fordele, teknologien kan give os som samfund, og hvordan den kan bruges i uddannelsessystemet i form af personaliseret læring og fleksibilitet i uddannelsessystemet. Men også om de sider af teknologiudviklingen vi muligvis ikke ønsker eller ønsker at begrænse, eksempelvis omkring personlig databeskyttelse. Teknologiudviklingen indeholder overvejelser om hvad vi kan gøre for dem, der ikke kommer med på teknologibølgen. Det er bestemt ikke alene en diskussion om teknologiens muligheder, men vigtigst: hvad vil vi bruge den til at opnå?

Om innovationscenteret i Silicon Valley

På det danske innovationscenter i Silicon Valley har vi arbejdet med emnet kunstig intelligens – se mere her: www.icdk.us/aai.

Vi arbejder i 2018 på et projekt om fremtidens arbejdsmarked og fremtidens uddannelse.

Har du/din organisation interesse i dette felt, og er du/I interesseret i, hvordan det gribes an i Silicon Valley, så kontakt os: jepole@um.dk

Litteratur

- [1] www.forbes.com/sites/robynshulman/2018/01/26/edtech-investments-rise-to-a-historical-9-5-billion-what-your-startup-needs-to-know/#68c0547e3a38.
- [2] www.axios.com/a-harvard-professor-predicts-that-50-of-u-s-colleges-will-soon-be-bankrupt-2509721438.html.
- [3] medium.com/futurepi/a-vision-for-education-and-its-immersive-a-i-driven-future-b5a9d34ce26d.
- [4] Se en række eksempler her: www.techemergence.com/examples-of-artificial-intelligence-in-education/.
- [5] ai100.stanford.edu/2016-report.
- [6] www.pwc.com/gx/en/ceo-survey/2017/deep-dives/ceo-survey-global-talent.pdf.
- [7] Joseph E. Aoun (2017) *Robot-Proof: Higher Education in the Age of Artificial Intelligence*, MIT Press.



Jeppe Dørup Olesen er forskningsattaché ved det danske innovations center i Silicon Valley.

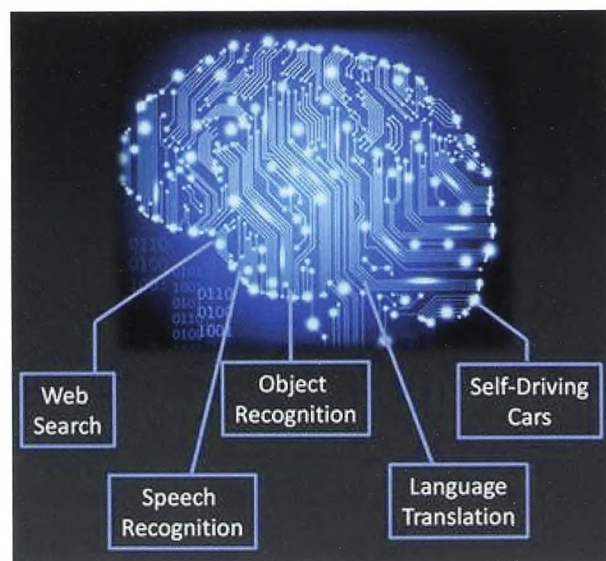
Kunstig intelligens, snart?

Af Henning Heiselberg, Security DTU

En fysikers syn på: hvad er kunstig intelligens, hvor langt er vi, og hvad venter os? Maskinintelligens og Google DeepMind buldrer uimodståeligt derudaf. Moores lov og de fleste eksperter forudsiger bred kunstig intelligens i dette århundrede og måske super AI.

Med kunstig intelligens (eller Artificial Intelligence, AI i det følgende) mener vi for det meste menneskelig intelligens – bare på en siliciumchip fremfor i biologisk materiale. AI findes ikke endnu, men vi arbejder stærkt derhen imod. Machine Learning er et godt stykke på vejen til AI. De er yderst nyttige og effektive selvlærende algoritmer, der de seneste år er udviklet til at løse et væld af opgaver og problemer. Maskinintelligens som Apples stemmegenkendelse Siri, Googles søgemaskiner, IBMs altidviede Watson, Microsofts Hanover til genkendelse af kræft, Tesla og Googles selvkørende biler, bankernes automatiske investeringsalgoritmer (som har ført til crash på aktiemarkedet), Amazons sociale trend-analyseprogrammer, osv. kalder de selv for AI.

Forskellen mellem kunstig/menneskelig intelligens og Machine Learning kan illustreres med vores Sudoku-løsningsalgoritmer. Vi løser dem deduktivt ud fra reglerne ved brug af udelukkelsesmetoder. I Machine Learning lærer computeren selv at løse sudokuerne lynhurtigt ved smarte genkendelsesalgoritmer ud fra et større træningssæt og deres løsninger. Da den selv skal lære reglerne, er der ikke fuld garanti for, at løsningen er korrekt, men hvis træningssættet er stort, er det meget sandsynligt og i al fald meget hurtigere. Ved eftertanke bruger vi faktisk vores hjerne på samme måde for det meste. Vi indlærer træningssæt og genkendelsesalgoritmer ved at vise børn billeder, ord, lyde, fx "En kat siger mjav", osv. Mange års skolegang er i den forstand Machine Learning. At tænke ud af boxen er derimod intelligens.



Figur 1. Hjernen er hovedsagelig et neuralt netværk til mønstergenkendelse.

1997 var et vendepunkt, da skakcomputeren Deep Blue bankede verdensmesteren i skak Gary Kasparov. Inden da ansås skak for at være højdepunktet for akademisk intellekt og den ultimative Turing test af AI. Bagefter indså man, at Deep Blue blot kunne spille skak. Den var en snæver, men på ingen måde bred AI. I alle andre sammenhænge var den "dum som et bræt", sagde vi med hånlige arrogance.

2017 var næste milepæl, da Google DeepMind generaliserede AlphaGos Machine Learning spillealgo-

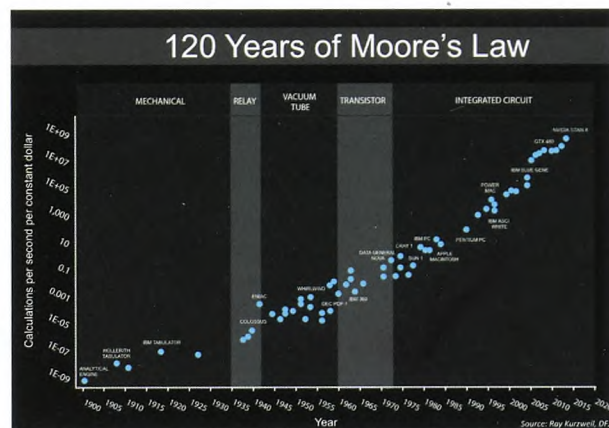
ritmer til skak og andre spil. Denne nye selv-lærende spillealgoritme hedder AlphaZero. Den havde skakreglerne som eneste input og blev sat til at spille mod en skakcomputer. I sin første time kludrede den håbløst rundt, men så begyndte den at lære spillet selv. Efter to timer kunne den banke menneskeheden, og efter fire timer lammetævede den selv den mest avancerede skakcomputer Stockfish8. Den havde vi ellers brugt tre årtier på at fodre med vores mest intelligente skakalgoritmer. AlphaZeros fire timers selvtræning skal sammenlignes med menneskets fire milliarder års biologiske evolution!

Mine kolleger på DTU Compute har for længst solgt deres sjæl til Machine Learning, Big Data Mining, Internet-of-Things, osv., og jeg forstår dem godt. Computere og software letter arbejdsbyrden, kværner gennem tonsvis af data, løser mange ting meget bedre, hurtigere og billigere end os. Fx kan Machine Learning-algoritmer lære sig selv at genkende hudkræft langt bedre end selv erfarne hudlæger. Der er et utal af nyttige eksempler, og vi har blot set begyndelsen. Vi er uimodståeligt fristet af bekvemmelighed, dovenskab og profit.

På mange områder overgår computere langt den menneskelige intelligens, omend de har ret i, at nutidens computer endnu er "dum som et bræt" sammenlignet med den brede menneskelige intelligens – software-mæssigt. Hardwaren har faktisk for længst overgået menneskets hjerne i kapacitet (neuroner og synapser), processorkraft (operationer per sekund), og lager (memory). De påpeger samtidigt med stolthed, at Machine Learning-algoritmerne bliver mere og mere snedige, og det går stærkt. Facebook, Google og Amazon har forskningsbudgetter, der langt overgår danske universiteters samlede forskningsbudgetter inden for software og IT i det hele taget. Amazon har algoritmer, der analyserer sociologiske samfundstrends og kan forudsige, hvilke bøger vi vil bestille længe før, at vi ved det selv. Facebook manipulerer os tilmed i "den rigtige retning". Nyttens og dermed indtjeningen gør udviklingen i maskinintelligens ustopkelig.

Nu er min baggrund fysik, og her har vi lignende eksempler på, at forskerne ukritisk gribes af udviklingen. I Los Alamos fandtes nok den største samling af nobelpristagere – mange af mine helte. De udviklede dommedagsbomben, fordi de ville. Selv efter nazisternes kapitulation fortsatte de, og efter atombomben over Hiroshima fortsatte mange med brintbomben. Oppenheimer udtrykte dog visse moralske skrupler og blev derfor sat udenfor til sin store fortrydelse. Apropos dommedag er der en interessant fodnote: chefen for teoridivisionen, den store kernefysiker Hans Bethe, beregnede for en sikkerheds skyld, at atombomben ikke ville antænde atmosfæren og dermed kvæle alt liv på Jorden. Atombomben var nok en game-changer, men selv her kunne vi dog forudsige nogle af de umiddelbare konsekvenser. Vi har derimod ingen anelse om, hvad AI vil gøre ved menneskeheden: Dette irriterende, hurtigt formerende, hensynsløse, krigeriske, ressourcefor-

brugende, forurenende, klima- og planetødelæggende skadedyr.



Figur 2. Moores lov: eksponentiel vækst i transistorkapacitet, processorkraft, memory, mv.

Hjerneforskere udi medicinsk neurovidenskab har fundet mange ligheder mellem hjernen og maskinintelligens. De elektrokemiske signaler mellem hjernecellerne i det komplekse neurale netværk i hjernen er kopieret i moderne maskinintelligens og kaldes af samme grund neurale netværk. Algoritmer til billedgenkendelse og læring ligner også hinanden. Nogle hjerneforskere mener dog, at bevidsthed kræver en dybere biologisk kompleks netværkskommunikation end dagens computere, og dermed at AI ikke kan opstå. Her ryger vi dog ind i en mere filosofisk diskussion af, hvad intelligens, bevidsthed og sjæl egentligt er. De er vanskelige at definere, hvad der jo typisk sker, når man bevæger sig uden for de eksakte videnskaber. Forsøg med elektroder på hjernen viser dog, at beslutningsprocesser let kan manipuleres med elektriske signaler, og at vi reelt ikke kan mærke forskel. Så er der nogen forskel? Vent og se.

Singulariteten er en slags dommedagsscenario for maskinintelligens. Den blev først nævnt af computerens fader von Neumann (ifølge Stanislaw Ulam, brintbombens fader). Singulariteten bygger på Intelgrundlæggeren Moores lov, at transistorkapaciteten fordobles hvert andet år. Tilsvarende vokser også CPU-processorkraft, RAM, internetbåndbredde, mv. Eksponentiel vækst kendes i mange sammenhænge, fx renters rente og inflation, befolkningsekspllosioner, neutrons-paltning i atombomber, etc.

Tæller man neuroner i hjernen og beregner processorkraft, finder man, at større computere for længst har overgået os. Ekstrapolerer man Moores lov, finder man, at en almindelig pc til 1000 dollars overgår hjernens processorkraft i 2023 og hele menneskeheden i 2047 ifølge Kurzweil. Han påpeger desuden, at væksten i processorkraft ikke flader ud, som forudset af teknologiske bagstræbere, men faktisk går hurtigere end eksponentiel. Moores lov er nu oppe på en fordobling hvert år. Ved overgang fra flade chips til 3D-chips forventes et kvantespring i processortæthed. Sempel matematik¹ viser, at sådanne ikke-lineære systemer leder til en singularitet. I fysikken ses tilsvarende singulariteter i tornadoer, hurricanes, sorte huller, big bang/crunch,

¹ $\frac{dx}{dt} = kx \rightarrow x \sim e^{kt}$; $\frac{dx}{dt} = kx^2 \rightarrow x \sim \frac{1}{t_{sing}-t}$

chirps fra gravitationelle bølger, når to neutronstjerner spirallerer mod hinanden, og mange andre situationer.



Figur 3. AI personificeres ofte som robotter, men AI har ikke hjernens begrænsning i rumfang på halvanden liter, som skyldes den trange fødselskanal.

Ved singulariteten vokser processorkraften mod (næsten) uendelig. Processorhastigheden i en computerchip er ti millioner gange hurtigere end signalhastigheden mellem hjernens neuroner. Hjernen har dog massiv parallel processing, hvor computere halter bagefter endnu. Hukommelsen er næsten ubegrænset, især hvis computeren går i skyen. Udviklingen rammer ikke lige et loft, som kaninerne gjorde i Australien. Denne invasive art yngede bogstaveligt talt som kaniner, og antallet voksede eksponentielt, indtil det ramte ressourceloftet (og det hurtigt voksende antal af invasive ræve). Loftet for AI er derimod ufatteligt højt. Hvornår singulariteten rammes, vides ikke, måske allerede i dette århundrede. Hvad enten super-AI kommer ved singulariteten eller blot ved eksponentiel gradvis vækst, så vil den i alle tilfælde blive ufatteligt avanceret for en primitiv menneskelig hjerne.

Kvantecomputeren bringer nye ubekendte. De første qubits og kvanteberegninger af heltalsfaktorisering er lavet. Om 10-20 år kan vi koble os på kvantecomputere i skyen fra Microsoft, Apple, Google og andre.

Ifølge partikelfysikeren Roger Penrose skyldes hjernens intelligens, at den grænser til kvanteinformation. Beviserne er dog svage, og flertallet tvivler. Hvad kvante-AI bringer, bliver dog spændende. Når vi på bjerget kaster os ud på den sorte pist med dødsforagt, er det fordi, vi har set andre overleve det – eller i værste fald tage med knogleekspresen hjem. Med AI er vi offpiste, og bjergskrænten kan vel være lodret med en lavine lurende bagved.

Techguruerne Elon Musk og Bill Gates, nyligt afdøde Stephen Hawkins samt AI-eksperter som Ray Kurzweil advarer, at AI vil overtage verden, og dommedag kan være nær. Vi ved reelt ikke, hvad AI bringer. Det kan være en fredelig og meget nyttig hjælp til menneskeheden som hidtil. Det kan blive til integrerede, biomekaniske organer og hjerneimplantater (cyborgs), hvor vores nylige afhængighed, mobiltelefonen, internettet og Google bliver tilsluttet hjernens elektrokemiske signaler. Super AI forventes at blive skabt i dette århundrede, men vi har ikke hjernekapaciteten til at forudsige, hvad der så sker. Til den tid er Arnold Schwarzenegger fortid, og vi skal nok ikke regne med, at han kommer fra fremtiden og redder os fra SkyNet.



Henning Heiselberg er PhD i fysik, BSc i matematik fra Aarhus Universitet. Tidligere lektor på Nordita, Staff Scientist på Lawrence Berkeley Laboratory, seniorforsker ved Forsvarets Forskningstjeneste og nu centerleder på Security DTU.

Nobelpriset i fysik 1932

Af Anders Bárány, Tomelilla

I forbindelse med artiklen i sidste nummer af KVANT om Werner Heisenberg skriver professor og tidligere sekretær for Nobelkomiteen for Fysik, Anders Bárány:

Det är rätt att Heisenberg mottog 1932 års Nobelpriset, men beslutet togs 1933, samtidigt med att man beslöt att belöna Schrödinger och Dirac med 1933 års pris. Så alla tre kom till Stockholm med nattåget från Köpenhamn (där de förstås hade träffat Bohr) på morgonen den 9 december 1933. Bilden nedan visar dem på Centralen, tillsammans med tre kvinnor.

Men vilka är kvinnorna? Det är Schrödingers hustru (nummer två från vänster) tillsammans med Heisenbergs mamma (längst till vänster) och Diracs mamma (nummer tre från vänster). Schrödinger var äldst och redan gift (med samma person hela livet) och hade just fått en sin första dotter (dock med en älskarinna)

hemma i Dublin. Heisenberg och Dirac hade satsat allt på forskningen och inte ingått äktenskap ännu!



Foto: Nobelstiftelsen.

Vad jag vet är detta enda gången som fysikmammor dominerat över fysikhustrur vid Nobelceremonien!

Ny grundbog

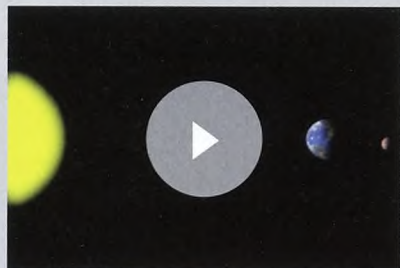
ASTRONOMI

Astronomi er en helt ny grundbog til faget astronomi på C-niveau på stx og htx.

Astronomi bringer eleverne tæt på forskningen og indeholder ud over tekst og illustrationer et stort antal videoklip og interaktive elementer.

Under læsningen bliver eleverne aktiveret af udfordrende 'Hvad tænker du?'-bokse og 'Checkpoint'-bokse.

Astronomi udkommer som iBog® til skolestart 2018 og lever op til kravene i læreplan 2017.



Video 2.2: Animationen viser Månens, Jordens og Solens positioner ved en total solformørkelse.



Video 4.1: Simulering af dannelsen af en stjernehop (gengivet med tilladelse fra Prof. Matthew R. Bate).



Video 7.3: (Simulering) Sammenstødet af Mælkevejen og Andromeda simuleret på en supercomputer.

iBog® astronomi.systime.dk

Af Ole Eggers Bjælde, Torben Arentoft og Hans Kjeldsen | Redaktion: Michael Bjerring Christiansen

Supernova-planetariet i München – med meteorit fra Danmark

Af Holger Pedersen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Hvis turen går til Bayern, så læg vejen forbi Münchens nordlige udkant. Her har det Europæiske Sydobservatorium, ESO, netop indviet et high-tech planetarium, kaldet Supernova. Det er doneret af Klaus Tschira Foundation, hvis afdøde stifter var en stor ven af naturvidenskaben. Man kommer lettest dertil med undergrundsbanen, og der er kun tre minutters gang fra station "Garching-Forschungszentrum". Adgangen er gratis.



Figur 1. ESO Supernova Planetariet.

Modsat klassiske planetarier har det ikke nogen central projektør, hvor stjerner skabes ved kraftigt lys, som passerer talrige små huller i en metalplade. Moderne teknik har også her fundet indpas; firmamentet dannes nu af fem digitale projektører, placeret kimingen rundt, godt skjult. Det er lykkedes overmåde godt. De fem skarpe billeder blander sig umærkeligt sammen, og det uanset, hvor man sidder i den 14 meter store kuppel. Der er allerede fremstillet flere programmer, afhængigt af publikums sammensætning, årstid, m.v. Da jeg fik en særforestilling, var det en, der var skabt til tidligere ESO-medarbejdere!

Rundt om kuppelsalen er der et meget stort udstillingsareal med fotostater og videoer om universets opbygning og udvikling, dokumenteret fra ESOs egne kikkerter i Chile og fra andre observatorier, på Jorden, og i rummet. Og der er noget for alle interesser og aldersgrupper.

I udstillingsområdet kan man bese en meteorit, som besøgende til det hjemlige Tycho Brahe Planetarium måske erindrer har været udstillet dér. Formelt er det et lån fra Geologisk Museum, København, men jeg tager æren for at have sat præsentationen i værk. Det var et opkald fra en kollega ved ESO, som spurgte, om jeg kunne foreslå en meteorit til planetariet. Jeg viderestillede straks henvendelsen til museet, hvor først Henning Haack og senere Martin Bizzarro og Zina Fihl tog sig af sagen. Meteoritten blev i 2015 sendt til

Frankfurt am Main, hvor den blev skåret igennem og poleret. De to endestykker, samt to tynde skiver, blev returneret til København. Som antydning ligger den ene del nu i Garching, medens den anden fortsat er udstillet på Geologisk Museum. Det er en del af det store fund ved "Vaca Muerta" i Chile, af typen mesosiderit. Herom har jeg skrevet en hel bog [1].

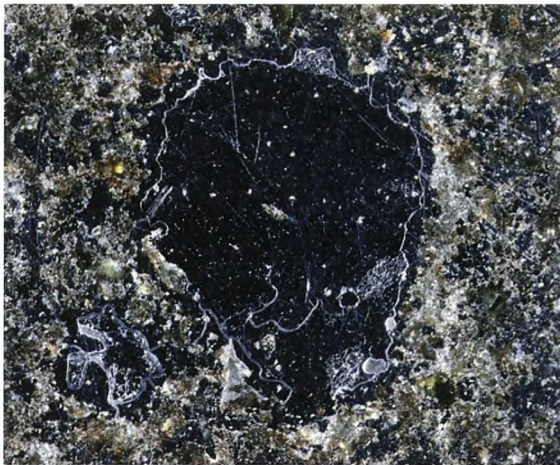


Figur 2. En synlig glad finder, 8. januar 1988. Meteoritten vejer 32.6 kilogram.

Meteoritter vinder ved nærmere betragtning! Vi satte derfor et projekt igang til fotografisk afbildning, i så stor opløsning som praktisk mulig. Et stort antal billeder blev hæftet sammen, så den 29 cm store flade blev afbildet over 54.948 gange 45.620 pixels. Hver pixel er altså 5 x 5 mikrometer. Det var ESOs fotograf Mahdi Zamani, som tog sig af alt dette. Ret ukonventionelt blev billedet optaget i diffust lys, snarere end spejlende lys. Derved ses de mange silikat-inklusioner med veldefinerede farver, uden at være "blændet" af reflekser fra metallet. Der er dog også information i de mørke områder, bestående af metal; her kan man se antydning af tværstriber. Det er det bekendte Widmanstätten-mønster bestående af de to jern-nikkel legeringer, kamacit (5-8 % nikkel) og taenit (20-40 % nikkel). Normalt kommer de bedst til syne, hvis meteoritten er ætset i fortyndet syre, hvilket dog ikke er sket her – af bevaringshensyn. Læserne inviteres til at gå på opdagelse i de 2,5 milliarder pixels [2].

For lige at vende tilbage til Widmanstätten-mønstret: Ved kanten af klumperne bemærkes i mange tilfælde en veldefineret rand, ca. 30 mikrometer bred, som bugter sig på finurlig vis. Denne rand består af

mineralet tetrataenit, også kaldet “den ordnede fase”, hvor mono-atomare lag af jern veksler med mono-atomare lag af nikkel. Det er opstået ved diffusion mellem kamacit og taenit ved temperaturer ikke over 320 grader Celcius, hvor slige processer går meget trægt.



Figur 2. En jern-nikkel-inklusion, ~5 mm på tværs, omgivet af en tynd rand af tetrataenit.

Mineralets eksistens var teoretisk forudsagt, men findes ikke på Jorden og har hidtil kun kunnet fremstilles i meget små mængder. Det var Jørgen T. Albertsen, specialestuderende hos Jens Martin Knudsen på Niels Bohr Institutet, som sidst i 1970'erne fandt de første eksempler på tetrataenit i meteoritter. Mineralet har på

det seneste påkaldt sig betydelig interesse. Det kan fungere som en meget kraftig permanent-magnet og mister kun vanskeligt sin magnetisering. Hermed kan det sammenlignes med de bedste magneter fremstillet af REE, de “sjældne jordarter” og er dermed af interesse for fremstillingen af vindmøller. Så sig ikke, at astronomin er unyttig.

Litteratur

[1] Holger Pedersen (2012) *Road-map to the Indian's treasure – On the Chilean meteorite Vaca Muerta and its early mistake for silver*, Books on Demand, Norderstedt, Tyskland.

[2] supernova.eso.org/exhibition/images/vaca_muerta/



Holger Pedersen har tidligere beskæftiget sig med optisk emission fra “X-ray Bursters” og fra gammaglimtkilder. Senest har han fundet interesse for et mere jordnært emne: meteoritternes historie efter faldet.

PFEIFFER  **VACUUM**

SPECIAL UNIVERSITY PROMOTION 2018

VALID UNTIL
31st AUGUST 2018



Prices from € 760

Rotary vane pumps Duo 1.6 to Duo 255

- Includes oil mist filter, oil return unit and operating fluid
- Hermetically sealed for high operating safety
- Compact design – simple system integration
- Low maintenance – cost savings for each pump



Priced at just € 3890

Turbo pumping station HiCube® 80 Eco with total pressure measurement

- Ready for operation – no installation needed
- For high and ultra-high vacuum applications
- Simple to operate
- Clean and dry
- Includes Pirani/Cold Cathode gauge PKR 361
- Gauge with longer lifetime, easy maintenance and minimized magnetic stray field magnetic stray field



Prices from € 3190

Turbopumps HiPace 80 to HiPace 2300

- Includes power supply, integrated electronic drive and mains cable
- Compact design along and simple system integration
- Cost savings through reduced service intervals
- Highest reliability, robust design and proven bearing system
- Long maintenance intervals
- High performance, integrated electronic drive unit
- Reduced process times



Prices from € 3100

Multi-stage Roots pumps ACP 15 to ACP 40

- Packages with external silencer or sound enclosure
- Contact-free pump system – improves process quality through oil and particle-free vacuum
- Long maintenance intervals – low operating costs
- No dynamic loads on the seals in the pump block
- Consistent long-term performance
- Easy installation

Are you looking for a perfect vacuum solution? Please contact us:
Pfeiffer Vacuum Scandinavia AB · Johanneslundsvägen 3 · 194 61 Upplands Väsby · T +46 8 590 74810
sales@pfeiffer-vacuum.se · www.pfeiffer-vacuum.com

Besvarelse af opgave i KVANT af Ole Rømer: “beregning og anvendelse af mit lommeur”

Af Poul Darnell

Poul Darnell har på vegne af Ole Rømer stillet en opgave om Rømers lommeur i forrige nummer af KVANT, og her bringes løsningen. Poul Darnell er pensioneret ingeniør, og hans interesse for Ole Rømer stammer fra, at han som den første nogensinde i 1982–84 fik lov til at adskille, opmåle, tegne og beskrive Ole Rømers planetarium og eklipsarium, som findes på Rosenborg Slot.

Opgaverne som blev stillet i sidste nummer af KVANT var:

1. Opstil det matematiske udtryk som viser, hvorledes tandhjulsvudvekslingen vil frembringe $27000\frac{1}{2}$ slag (svingninger) pr. $1\frac{1}{2}$ time.
2. Beregn hvilke tider mit lommeur vil vise.
3. Fremkom med forslag til urets anvendelse.

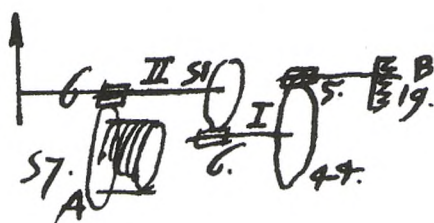
Besvarelse

1. Da der er tale om en beskrivelse af et samtidigt lommeur, kan følgende udtryk opstilles for det antal svingninger, som uroen vil udføre i $1\frac{1}{2}$ time:

$$\frac{57 \times 51 \times 44 \times (19 \times 2)}{6 \times 6 \times 5} = 27.002,8$$

svingninger i $1\frac{1}{2}$ time.

Som det ses, er tallene i tælleren netop tandantallene for hjulene, som vist på Rømers skitse. 2-tallet er tilføjet, fordi fligene, som går i indgreb med ganghjulet, foretager 2 svingninger for passage af hver tand (Rømer kalder det for “38 halvsvingninger”, idet $2 \times 19 = 38$). I nævneren er de små hjuls (drevenes) tand antal angivet.



Figur 1. Ole Rømers skitse, der viser antallet af hjul og deres tandantal i lommeuret.

I teksten ses det, at Rømer kommer til det samme resultat som jeg; nemlig 27.002,5 (spørgsmålet er så, om der i den oprindelige tekst står 27.002,8?).

Man kan nu beregne, hvor mange svingninger uroen vil udføre pr. time. Rømer regner videre med de 27.000 svingninger pr. $1\frac{1}{2}$ time; så det gør jeg også:

$$\frac{27.000}{1,5} = 18.000$$

svingninger pr. time (h).

Antal svingninger pr. sekund:

$$\frac{18.000}{3.600} = 5$$

svingninger pr. sekund (s).

Astronomen G. F. Ursin, der har udgivet en bog om ure, anfører følgende for et lommeur: “17.000-18.000 svingninger i timen kræves, når uroen skal være en fuldstændig regulator” [1].

2. Jeg kan nu beregne hvilke tidsangivelser lommeuret vil vise, se figur 1:

- Uroen gør 38 svingninger for en omgang af ganghjulet B.

- Der gøres 5 svingninger pr. s.

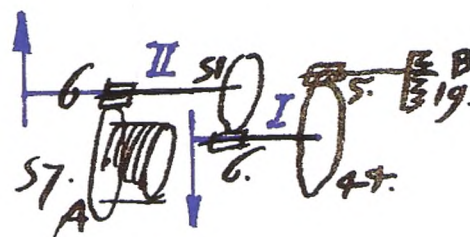
Dette betyder, at ganghjulet drejes en omgang i: $38/5 = 7,6$ s.

Aksel I drejes derfor en omgang i: $7,6 \text{ s} \times 44/5 = 66,8 \text{ s} = 1,1 \text{ min.}$

Aksel II drejes derfor en omgang i: $7,6 \text{ s} \times 44 \times 51/5 \times 6 = 568,48 \text{ s} = 9,47 \text{ min.}$

På et lommeur fra Ole Rømers tid vil viseren på aksel II normalt drejes 1 omgang i 60 minutter og ikke 1 omgang i 9,47 minutter!

Den alternative løsning er, at sekundviseren er anbragt på aksel I, og at denne aksel så drejes 1 omgang i 1 minut i stedet for 1 omgang i 1,1 minut. I dette tilfælde ser principskitzen således ud som på figur 2.



Figur 2.

For at få aksel I til at gøre en omdrejning på 1 minut, er det nødvendigt at justere spiralfjederen på urets balance. Fjederen skal derfor strammes, da uret skal gå hurtigere. Dette indgreb var/er den almindelige måde at justere et lommeurs/armbåndsurs gang på.

Det er nu interessant at se, hvor hurtigt aksel II drejes. Akslen gør 1 omdrejning i:

$$1 \times 51/6 \text{ min} = 8,5 \text{ min.}$$

Vi har altså nu et lommeur med en sekundviser, som drejes 1 omgang i 60 sekunder, og med en minutviser som drejes 1 omgang i præcis 8,5 minutter. Dette indikerer at minutskiven på Rømers lommeur har været inddelt i 17 dele; dvs. $\frac{1}{2}$ minut pr. deling.

3. Følgende er gætteri, når det gælder dette lommeurs anvendelse; men man kan udemærket forestille sig, at astronomerne på Rømers tid kunne have haft brug for et bærbart observationsur, idet urene altid var placeret indendørs, hvorimod observations-instrumenterne ofte

blev placeret udendørs. Dette var eksempelvis tilfældet på Paris Observatoriet, hvor der øverst var en åben platform, hvorfra man kunne observere.



Figur 3. Observationsur til astronomisk brug, fremstillet i Paris af den franske urmager Abraham Louis Breguet.

Når man så justerede det bærbare ur efter et pendul ur, og efterfølgende tog det med udenfor i en begrænset tidsperiode til astronomisk brug (f.eks. i max. 8,5 min.), da ville det bærbare urs eventuelle tidsafvigelse ikke blive stor. Under alle omstændigheder kunne man efter observationen igen sammenligne de to ures visninger, og så konstatere den eventuelle tidsafvigelse for dernæst at korrigere observationen.

Hvor nøjagtigt gik urene på Ole Rømers tid?

På den tid var alle pålidelige ure forsynede med spindelgang, pendul og lod. Et sådant ur var altid stationært, idet det enten var ophængt på en mur, eller placeret stående op ad en mur (standur), og gangnøjagtigheden lå indenfor 10 s på et døgn, idet det temperaturkompenserende pendul endnu ikke var opfundet på dette tidspunkt [2]. Et lommeur med spindelgang og spiralbalance var en endnu dårligere tidsmåler end penduluret. Det kunne højst gå med en nøjagtighed indenfor 2–3 minutter pr. dag.

Hvordan så Rømers lommeur ud?

Det ved vi naturligvis ikke noget om; men det er interessant, at der findes et tilsvarende observationsur til astronomisk brug, som blev fremstillet i Paris ca. 125 år senere af den berømte franske urmager Abraham Louis Breguet (Breguet nr. 1553). Beskrivelsen af dette ur oplyser, at det var beregnet til brug ved observationer i meridianen, og at det kun var beregnet til at kunne benyttes i en kortvarig periode. Af denne årsag var uret forsynet med to urskiver; en, som viste sekunderne, og en anden, som angav op til 20 minutter. Figur 3 viser uret.

Der er altså her tale om et tilsvarende ur, som det Ole Rømer skitserede, og vi kan derfor måske antage, at udseendet af de to ure har været nogenlunde ens.

Litteratur

- [1] G. F. Ursin (1843) *Om Uhre, deres Indretning og hensigtsmæssige Behandling*, København.
- [2] Det temperaturkompenserende pendul blev først opfundet i 1726 af den engelske urmager John Harrison. Ole Rømer kunne dog allerede i 1692 temperaturkorrigere sine pendulure; men på en anden måde. Se artiklen af Poul Darnell: *Ole Rømer's temperature correction of pendulum clock rates*, *Antiquarian Horology*, december 2013. Kan downloades her: www.danskhorologiskelskab.dk/wp-content/uploads/2017/08/ole_roemers_temperature_correction_of_pendulum_clock_rates.pdf

KVANT og GDPR

Af Bjarne Andresen, KVANT

På grund af GDPR-forordningen om persondata-beskyttelse skal vi informere dig om, at vi i forbindelse med, at du modtager KVANT, opbevarer visse personlige data om dig. Det er nødvendigt dels for at kunne sende dig vores medlemsudgivelser (fx KVANT og Europhysics News), dels for at kunne opkræve dit årlige kontingent/abonnement, samt endelig for at kunne sende dig relevante oplysninger om vores aktiviteter. Disse data omfatter højst følgende: navn, adresse, telefon, email, ansættelsessted, forenings- og

sektionstilhør, medlemstype, ind- og udmeldelsesdato, og kontingent/abonnement-betalingsdato. Specielt for modtagere af Europhysics News sender vi navn og adresse til European Physical Society for, at de kan udsende bladet direkte til dig. Ingen af de lagrede data bliver brugt til andre formål eller videregivet til andre organisationer. Ovenstående erklæring dækker også de samarbejdende foreningers og redaktionens håndtering af persondata. Astronomisk Selskabs persondatapolitik kan læses på hjemmesiden astronomisk.dk/foreningen/privatlivspolitik/.

Af Christine Pepke Gunnarsson, KVANT

Jagten på den 9. planet

ASTRONOMI. Astronomer har i længere tid holdt øje med tegn på en 9. planet i vores solsystem, altså efter Neptun (Pluto mistede som bekendt sin titel som planet i 2006). Det er bevægelsen af små asteroider bag Neptun (Trans-Neptuniske Objekter), der tyder på, at der er en planet, som påvirker dem med sin tyngdekraft. Asteroiderne er i kredsløb omkring Solen, og astronomerne mener, at de for at være i de baner, de er i, som følge af den 9. planets påvirkning, må have været i solsystemet i mere end en milliard år. Det er lang tid, og derfor undrer det astronomerne, at asteroiderne ikke er blevet udstødt af solsystemet fx ved kollision med andre planeter eller har forladt deres baner pga. tyngdekraften fra andre planeter. Da den 9. planet endnu ikke er blevet observeret direkte (fx ved i et teleskop at se lyset fra Solen blive reflekteret på planeten), må astronomerne bruge simulationer for at undersøge tilstedeværelsen af planeten.



Astronomerne arbejder med simulationer af den 9. planet for at forklare asteroidernes baner, hvis altså planeten eksisterer. De foreslår, at en planet, der er ca. fire gange Jordens størrelse, ca. 10 gange Jordens masse og med en omløbstid omkring Solen på mellem 10.000 og 20.000 år, kunne forklare banebevægelserne. Simulationerne forudsiger desuden en proces (resonanshop), der kan forklare, at asteroiderne stadig er i solsystemet. Processen går ud på, at asteroiderne hopper mellem stabile baneresonanser med den 9. planet.

En baneresonans opstår, når objekter i kredsløb omkring samme sol periodisk påvirker hinanden med deres tyngdekraft, da deres kredsløbsperioder er i et indbyrdes forhold. Fx er Pluto og Neptun i en 2:3 baneresonans, da Pluto færdiggør to kredsløb omkring Solen i samme tidsrum, som Neptun færdiggør tre kredsløb. Astronomerne fandt også ud af, at Neptun ville forstyrre en asteroide i dens baneresonans, men i stedet for at sende asteroiden ud af solsystemet, var der et objekt, passende med en 9. planet, der fangede asteroiden i en anden baneresonans. Astronomerne har også foreslået, at den 9. planet kunne have haft en indflydelse på de andre planeters banehældning, og de har foreslået planeten som en forklaring på, hvorfor objekterne i Kuiper-bæltet bevæger sig i en retning modsat alt andet.

For nylig er der kommet endnu et bevis på den 9. planets eksistens. Et objekt kaldet Caju (2015 BP₅₁₉) viser tegn på indflydelse fra en stor planet. Caju er speciel, da den af alle Trans-Neptuniske Objekter har den højeste banehældning i forhold til vores solsystems plan. Cajus baneplan er næsten vinkelret på solsystemets plan, og da Caju blev observeret, forsøgte forskerne at beregne dens bane, hvilket kun lykkedes ved at tilføje den 9. planet til simulationerne. Nu mangler de så bare at finde den 9. planet.

Kilde: J. C. Becker et al: Discovery and Dynamical Analysis of an Extreme Trans-Neptunian Object with a High Orbital Inclination, arXiv:1805.05355

& J. C. Becker et al: Evaluating the Dynamical Stability of Outer Solar System Objects in the Presence of Planet Nine, The Astronomical Journal (2017), bind 154, nr. 2

Ingen tegn på annihilation af mørkt stof

PARTIKELFYSIK. Efter 10 års søgning er der ikke fundet nogen tegn på annihilation af mørkt stof-partikler, konkluderer forskere fra High Energy Stereoscopic System (HESS)-teleskopet i Namibia. De har i det sidste årti søgt efter gammastråling fra Mælkevejens center, hvilket kunne være et tegn på annihilation af mørkt stof. Mørkt stof er som bekendt stof, der ikke kan observeres direkte, da det ikke vekselvirker med elektromagnetisk stråling, men beregninger viser, at stoffet må eksistere for at forklare, hvordan synlige objekter bliver påvirket af en tyngdekraft. Mørkt stof udgør ca. 85% af alt stof i universet. En favoritkandidat for mørkt stof er de hypotetiske WIMP (weakly interacting massive particle)-partikler.



Når to WIMP-partikler kolliderer, kan de annihilere og udsende andre partikler, bl.a. gammastråling. En af de metoder, forskerne bruger til at lede efter mørkt stof, er ved at se efter emissionsspektrene af WIMP-partiklernes annihilation. Når WIMP-partikler annihilere, forventes det, at de producerer gammastråling ved meget høj energi. Bølgelængden af strålingen er bl.a. bestemt af WIMP-partiklernes masse (energi), og derfor ved forskerne, hvilke spektrallinier de skal lede efter i emissionsspektrene. Forskerne har skannet rummet efter emissionsspektrene fra WIMP-partiklernes annihilation omkring Mælkevejens center, da det her forventes, at der er en høj koncentration af mørkt stof. De har ledt efter spektrallinier fra WIMP-partikel-annihilationer, hvor WIMP-partiklerne har en energi i området 300 GeV – 70 TeV, hvilket er det mest sandsynlige energiområde for mørkt stof-partikler.

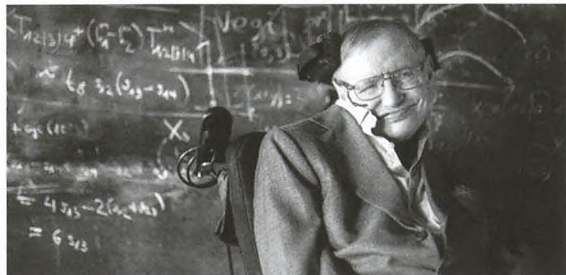
Konklusionen er, at der ikke er signifikant flere gammastråler fra det undersøgte område i Mælkevejen i forhold til baggrunden, men søgningen efter gammastråler fra WIMP-annihilationer har dog kunnet indsnævre de øvre grænser på tværsnittet af WIMP-annihilationen (tværsnittet af en partikelreaktion fortæller om sandsynligheden for reaktionen, da sandsynligheden er proportional med tværsnittet) og forbedrer derved de tidligere grænser med en faktor 6, hvilket kan hjælpe forskerne videre med at sortere mulige WIMP-kandidater ud.

Kilde: H. Abdallah et al: Search for γ -Ray Line Signals from Dark Matter Annihilations in the Inner Galactic Halo from 10 Years of Observations with H.E.S.S., Phys. Rev. Lett. (2018), bind 120, 201101

Hawkings sidste teori

KOSMOLOGI. Den berømte fysiker Stephen Hawking gik bort den 14. marts i år, 76 år gammel. Hawking var til sin død en aktiv forsker, og et af de sidste projekter, han arbejdede på sammen med professor Thomas Hertog, er for nyligt blevet publiceret. Hawking og Hertog regnede på den evige inflation og multivers-teorien, som handler om, hvad der skete lige efter Big Bang. Det er et emne, som teoretiske fysikere har diskuteret meget, da der er delte meninger om det.

Lige efter Big Bang var der en periode kaldet inflation, hvor universet ekspanderede enormt meget på kort tid. Teoretisk burde inflationen fortsætte for evigt, men den er påvirket af kvantefluktuationer. Kvantefluktuationer er tidlige forandringer i energien i rummet (jf. Heisenbergs ubestemthedsrelation), og de er ansvarlige for, at et partikel-antipartikel-par kan skabes ud af vacuum og annihilere igen. Kvantefluktuationerne kan have fået nogle områder af universet til at være i en hurtigere inflation og nogle områder til ikke at opleve inflation. Globalt ville universet være i en evig inflation.



De områder, der er undtaget inflation, er fx vores univers; det synlige univers, dvs. den del af universet, vi kan se. Her er inflationen stoppet, og det har været muligt for stjerner og galakser at blive til. Ifølge evig inflationsteori har vi et stort multivers bestående af en masse små paralleluniverser, der alle opfører sig forskelligt, og hvori fysiklovene kan være forskellige. Dette store multivers vil dog hele tiden skabe nye universer, der også oplever inflation, og derfor vil hele strukturen vokse som en uendelig fraktal. Et sådant univers vil være meget ujævnt og kan sammenlignes med en ballon, der pustes op, hvor nogle små dele på overfladen ophører med at være elastiske og ikke udvider sig længere. Hele ballonen udvides, mens disse små steder giver en strittende overflade.

Problemet med multiverset er, at hvis de forskellige paralleluniverser har forskellige størrelser eller er uendelige, kan teorien ikke testes. I multiversteorien er alt muligt, og den fortæller ikke meget om, hvad vi skulle observere i vores eget univers for at bekræfte teorien. Desuden er det et problem, at den evige inflationsteori antager et univers, der udvikler sig ifølge Einsteins generelle relativitetsteori, hvor kvantefysik kun er en fluktuation. Da kvantefysik er væsentlig for at beskrive inflationen, burde Einsteins teori bryde ned i evig inflation.

Hawking og Hertog er ikke fans af et fraktalt multivers. Deres nye inflationsteori er baseret på strengteori, hvor relativitetsteori, kvantefysik og tyngdekraft forenes ved at beskrive universets byggesten som små, vibrerende strenge. Strengteoriens holografiprincip siger, at universet er et stort og komplekst hologram, hvor den fysiske realitet i 3D (rum) matematisk kan projiceres til 2D (overflade). Hawking og Hertog udviklede en variation af holografiprincippet til at projicere tidsdimensionen i den evige inflation ud, og på den måde kunne de regne på den evige inflation uden at bruge Einsteins teori.

Med den nye teori udregnede de sandsynligheden for, om multiverset er som i den evige inflation (den strittende ballon), eller om det er mere glat i overfladen, og de fandt, at universet foretrækker at være glat. Deres resultat siger derfor, at evig inflation, som mange forskere ellers troede, nok ikke er det foretrukne for universet. Deres teori siger stadig, at vi har et multivers, men at det på stor skala er rimelig udjævnet, og at det er endeligt, hvilket gør det mere simpelt end den uendelige fraktalstruktur. Deres teori reducerer multiverset til en mindre gruppe mulige universer, og da et endeligt antal paralleluniverser er lettere at arbejde med end et uendeligt antal, gør det teorien lettere at forholde sig til, og da den er forudsigelig, kan den muligvis testes.

Hertog er nu interesseret i at bekræfte teorien, og han håber, at teleskoper vil kunne se nogle af teoriens forudsigelser i baggrundsstrålingen eller i de gravitationsbølger (krusninger i rumtiden), der blev skabt i Big Bang lige ved inflationen. Gravitationsbølger fra begyndelsen af universet har meget lange bølgelængder (da universet har udvidet sig, siden de blev sendt afsted), og derfor vil LIGO ikke kunne detektere dem, men det vil det planlagte europæiske rumbaserede gravitationsbølgeobservatorium LISA muligvis kunne.

Kilde: S. W. Hawking & T. Hertog: A smooth exit from eternal inflation?, Journal of High Energy Physics (2018) 147

Satellitter vil måle vandet på Jorden

GEOFYSIK. To satellitter kaldet GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On) skal måle vandets kredsløb på Jorden. De blev opsendt med en SpaceX Falcon 9-raket den 22. maj fra Vandenberg Air Force Base i Californien og kommer i kredsløb omkring Jorden i en højde på 490 km og med en afstand mellem hinanden på 220 km. Satellitterne kan måle vandet på Jorden, da en lille variation i Jordens massefordeling vil ændre på, hvordan Jordens tyngdekraft påvirker afstanden mellem satellitterne. Hvis man ser bort fra effekter som fx jordskælv, er det nemlig kun vand, der kan ændre massefordelingen på Jorden hurtigt. Vandet på Jorden ændrer sig hele tiden, fx når is smelter, hvilket øger havenes masse, eller når det regner meget i en region, hvilket øger volumenet i grundvandsmagasinene.



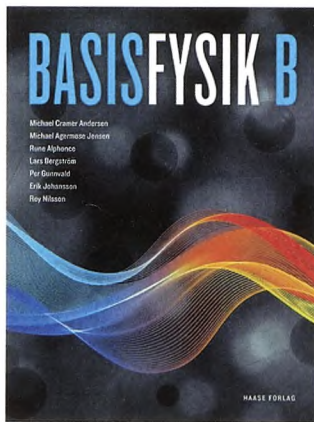
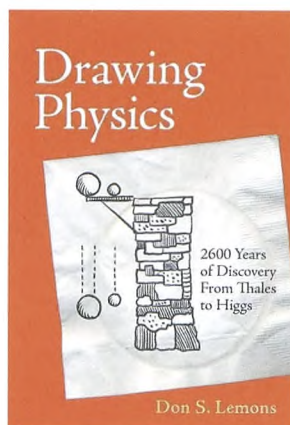
Ved at observere vandets cyklus kan man få et overblik over, hvordan vandet i forskellige områder på Jorden ændrer sig over tid og holde øje med og advare om fx tørke eller voldsom regn. Måleteknikken går ud på, at når de to satellitter bevæger sig over noget massivt, fx et bjerg, vil den første satellit blive tiltrukket af bjergets masse, og den vil blive trukket lidt længere væk fra den anden satellit. Når den anden satellit passerer bjerget, vil den også mærke en øget tyngdetiltrækning, og den vil komme tættere på den første satellit. Når begge satellitter passerer bjerget, vil de begge blive holdt lidt tilbage pga. bjergets tyngdekraft. Ved på den måde at flyve over de samme objekter flere gange, kan afstanden mellem satellitterne fortælle om masseændringer på Jorden.

Metoden kan desuden bruges til at måle vandet i vandreservoirer langt under jordoverfladen, som ikke kan ses på billeder fra rummet. Satellitterne kommunikerer med mikrobølger for hele tiden at måle afstanden mellem dem præcist, og deres præcision er på 1 cm i vandhøjde over områder på 340 km i diameter. Satellitterne skal desuden teste et laser-interferometer, som kunne øge præcisionen af afstandsmålingen mellem dem med en faktor 10. Det bliver for øvrigt den første demonstration af laser-interferometermålinger mellem satellitter i rummet.

Kilde: <https://www.nasa.gov/missions/grace-fo> & <https://phys.org/news/2018-05-twin-spacecraft-earth.html>

Aktuelle bøger

Af Anja Skaar Jacobsen og Jeppe Willads Petersen



At tegne fysik

Don S. Lemons, "Drawing Physics: 2600 Years of Discovery from Thales to Higgs", med tegninger af Jesse Graber, Cambridge Massachusetts: MIT Press, 2017, 246 sider, ca. 85 kr.

Titlen på denne bog, Drawing Physics, fangede med det samme min interesse. Jeg forestillede mig, at den ville indeholde kraftdiagrammer, kredsløbsdiagrammer, Feynman-diagrammer og Bohrs og Einsteins tankeeksperimenter blandt meget andet. Jeg forventede også, at bogen ville have en analytisk eller en undersøgende tilgang til emnet; Jeg vil gerne læse en bog om hvilken rolle tegninger har spillet i forskellige opdagelseskontekster, altså hvordan tegninger har lagt kimen til en fysisk undersøgelse eller til at igangsætte den svære matematisering af et fysisk fænomen; men også om hvordan ordløse skitser præciserer, idealiserer eller approksimerer et fysisk fænomen og åbenbarer et væld af information, når man har lært at tyde tegnene, en form for tavs viden; og endelig hvordan tegninger anvendes som et pædagogisk redskab til at anskueliggøre teori og modeller.

Men det var desværre ikke, hvad jeg fandt. Bogen har et rent pædagogisk sigte. Don S. Lemons er en teoretisk fysiker, hvis mål det er at formidle og popularisere fysikkens store opdagelser for ikke-fysik- og ikke-matematikkyndige. Det er et prisværdigt mål og al ære værd, og det er en disciplin, som enhver fysiklærer kan identificere sig med og genkender fra hverdagen. Jeg synes Lemons lykkes delvist med sit projekt indenfor de rammer han selv udstikker; teksterne er kortfattede, simple og velskrevne. Lemons får antydning, hvad tegninger og skitser kan bidrage med i den kreative opdagelseskontekst og i processen med at matematisere et fysisk fænomen. Men bogen nævner intet om disse processer og forfalder i stedet til en typisk amatørhistorisk tilgang med en række små essays (51 af slagsen) om opdagelser og tilhørende ultrakorte

biografier om opdagerne. Historiske og/eller filosofiske overvejelser og refleksioner der kunne samle, strukturere eller guide rækken af essays glimrer ved deres fravær.

At tegne fysik er en 26 århundreder gammel tradition og det er et ydmygt, men effektivt værktøj i fysikkens kunst. Fysikkens abstrakte tegninger er vigtige i den teoretiske praksis og nok endnu mere som pædagogiske redskaber. Bogen indeholder en skøn blanding af repræsentationer i fysikkens historie: Observationer såsom Galileo Galileis tegninger af de fire synlige månens varierende positioner omkring Jupiter den 7.-13. januar 1610 samt Galileis tegning af månens overflade med kratere og bjerge. Kun i disse tilfælde har Lemons medtaget de oprindelige tegninger. Ellers er tegningerne simple rekonstruktioner lavet af tegneren Jesse Graber. Heriblandt finder vi skitser af eksperimentelle opstillinger som fx Isaac Newtons prismeforsøg og af kraftdiagrammer, der skal hjælpe med at analysere en mekanisk situation og holde styr på kræfterne. Det er i øvrigt en gymnasiedisciplin, som forhåbentlig ikke går tabt med digitaliseringen af den skriftlige eksamen. Desværre indeholder bogen hverken Feynman-diagrammer eller Bohrs og Einsteins tankeeksperimenter. Selvom Lemons ikke er fysikhistoriker, og hans bog ikke kvalificerer sig som videnskabshistorie, skal det til hans ros siges, at han har konsulteret den anerkendte videnskabshistoriske sekundærlitteratur, når det gælder biografier om store fysikere. Og det er da en smuk lille bog.

ASJ

Ny lærebog til Fysik B

Michael Cramer Andersen, Michael Agermose Jensen m.fl., "BasisFysik B", Haase Forlag, 2018 (www.haase.dk), 462 sider, 325 kr. Elektronisk version 87,50 kr. (gennem gymportalen.dk)

BasisFysik B er en reformklar lærebog. Med 22 kapitler og godt 400 sider er det også en omfattende bog. Det er langt fra kun kernestoffet, der er dækket. Elektricitet er fx dækket ind med fire kapitler på omtrent 60 sider samlet set, herunder et helt kapitel afsat særligt til det nye emne om sensorer. Ligeledes er kinematik og astronomi stærkt repræsenteret.

Det er ikke kun på emnerne, bogen fremstår reformopdateret. Anvendelsen af IT-værktøjer som supplement til bogen er gennemtænkt, selvom det ikke indgår direkte som i I-bøger. Der er flere steder lagt op til undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning, eksempelvis ved forsøg med barbie-bungy-jumping og de mange åbne opgaver. Det måske eneste punkt, hvor bogen ikke kan opfylde den nye reform, er på kravet om engelske tekster, hvilket jo ikke er så overraskende.

I sin struktur er bogen meget traditionel. Hvert kapitel indledes med et billede og afsluttes med først

en sammenfatning og derefter en række opgaver. Den mellemliggende tekst indeholder masser af figurer, vigtige ligninger er fremhævet med blå og historiske perspektiver er indsat i grå bokse. Forsøgsvejledninger til eksperimenter er indsat som afslutning på afsnit, hvor der også er såkaldte "tænk efter" opgaver.

De mange "tænk efter" opgaver er en af bogens største forcer. Her kan læseren dels teste, om det læste er forstået, men også relatere det til hverdagssituationer. De giver naturlige ophold i læsningen og kan danne udgangspunkt for mange gode diskussioner i undervisningen. Regneopgaverne er, som man kender dem fra så mange andre lærebøger, krydret med filmfysikopgaver. Eksperimentelt arbejde skal på B-niveau udgøre mindst 20 % af undervisningstiden, og den tid får man masser af inspiration til at udfylde. Der annonceres med 52 forskellige eksperimenter, som findes i et indeks i starten af bogen. Der er mange klassikere blandt eksperimenterne, men også nogle nye. Særligt kan det fremhæves, at der er fire forskellige eksperimenter med konstruktion af elektriske sensorer, som indgår i det nye kernestof. Bagerst i bogen er der blevet plads til et appendiks om kinematik med differentialregning, et om målinger og usikkerhed, et om rapportering af forsøg og endelig en række tabeller. Særligt appendikset om målinger og usikkerhed kan anbefales. Notationen vil nok være svær for mange elever, men figurerne hjælper

godt på vej.

Digital dannelse er et af de nye slagord med 2017 reformen, og forfatterne bag BasisFysik B lader til at have taget det til sig. I løbet af bogen bliver man opfordret til at installere mindst fem forskellige programmer (hvoraf 4 er gratis og alle kan køre på både Mac og Windows) og en stor del af opgaverne kræver enten et par søgninger på internettet eller et plot i et CAS-program. Alt sammen noget man bør forvente eleverne kan klare, men som ofte vil give udfordringer.

I september 2016 udgaven af KVANT blev BasisFysik C anmeldt af Anja Skaar Jacobsen. Her blev særligt prisen og formatet diskuteret. BasisFysik B er billigere end de øvrige bøger på markedet, og kan sagtens måle sig med konkurrenterne på indhold. Den er ikke udgivet som I-bog, men som E-bog, hvilket betyder, at man må undvære interaktive dele i selve bogen, hvis man køber en elektronisk version.

De specifikke indholdsmæssige kritikker Jacobsen fremhævede i 2016 går igen i 2018. Brydningsfænomener er ikke med i bogen, selvom man skulle mene, der var plads, og det videnskabsteoretiske fundament er til tider usikkert. Samlet set er BasisFysik B et godt køb, hvis man skal ud at investere i nye bøger. Der er ikke mange nytænkninger, men det er solidt håndværk.

JWP

Generalforsamling i Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab afholdt sin generalforsamling den 14. april 2018 på Nygammelsø B & B på Møn med foredrag og efterfølgende rundvisning i det lokale næsten nybyggede Damsholte Observatorium.

Før generalforsamlingen holdt Formanden for Astronomisk forening for Sydsjælland Tom Axelsen foredrag om Dark Sky Møn og om hvor vigtigt det er, at bekæmpe lysforurening til gavn for planter, dyr og mennesker – og selvfølgelig muligheden for at se den smukke nattehimmel!

På generalforsamlingen blev Majken Brahe Ellegaard Christensen genvalgt som formand og Peter Zethner-Møller blev genvalgt til bestyrelsen. De øvrige bestyrelsesmedlemmer var ikke på valg.

De fremmødte noterede sig med tilfredshed, at antallet af medlemmer de sidste par år er steget til næsten 700 mod tidligere 500-600 medlemmer. Stigningen skyldes blandt andet foreningens arbejde med at skabe større synlighed. Desuden er der lavet hvervekampagner med tilbud på jubilæumsbogen (især op mod jul), som kasserer Julie Søgaard fik anerkendelse for at stå bag.

Formanden kunne også glæde sig over, at Kosmosklubben fortsætter sin succes for børn, at Astronomisk Ungdom er startet op for teenagerne og at AstroForum er blevet færdigt.

Den 21. august 2017 var der fuld solformørkelse i USA, og i den forbindelse var 250 deltagere rejst med

AS-medlem Knud Strandbæk til Yellowstone for at opleve begivenheden, der også blev dækket af medierne.



Figur 1. Majken Brahe Ellegaard Christensen blev genvalgt som formand for Astronomisk Selskab.

Som noget nyt kan nye medlemmer, der bor i samme husstand, nu tegne et husstandsmedlemskab på 450 kr, der gælder for op til 4 personer. Husstandens medlemmer kan deltage i alle foreningens aktiviteter, men vil kun modtage ét eksemplar af KVANT.

Eksisterende medlemmer af foreningen, der bor sammen, vil ved opkrævningen for 2019 blive tilbudt husstandsmedlemskab.

Opdrift på flyvinge

- breddeopgave 76 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUC's fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

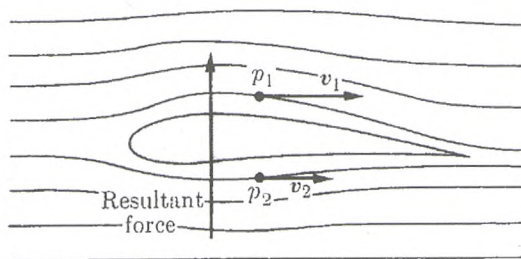
Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave (nr. 76 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 76. Opdrift på flyvinge

Hvorfor er vingen på en flyvemaskine mere buet på oversiden end på undersiden?

Løsning

På figur 1 er vist et tværsnit af en flyvinge med strøm-linjer omkring, svarende til luftens bevægelse i forhold til flyvingen. Flyvingen er mere buet på oversiden end på undersiden. Derfor er luftens fart langs oversiden, v_1 , større end luftens fart på undersiden, v_2 . Ifølge Bernoullis ligning er trykket på oversiden, p_1 , derfor mindre end trykket på undersiden, p_2 . Konstansen langs en strømlinje af $\frac{1}{2}\rho v^2 + p$, hvor ρ er massefylden af luft, er nemlig den samme i det fjerne for strømlinjen over vingen og strømlinjen under vingen, således at $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$. Følgelig medfører $v_1 > v_2$, at $p_1 < p_2$, altså større tryk på undersiden end på oversiden og dermed opdrift. Derfor er vingen mere buet på oversiden end på undersiden.



Figur 1. Luftens løft på flyvinge ifølge Alonso-Finn. Den større hastighed af luften på vingens overside giver et mindre tryk, mens den mindre hastighed på vingens underside giver et større tryk.

Kommentar

Løsningen svarer til, hvad jeg tænkte på i 1976, da opgaven blev formuleret som breddeopgave. Det er også sådan problemet er behandlet i f.eks. Alonso-Finn, Fundamental University Physics I (1967), side 273, hvor figuren er kopieret fra. Men forklaringen

er uigennemtænkt og figuren grundlæggende fysisk forkert.

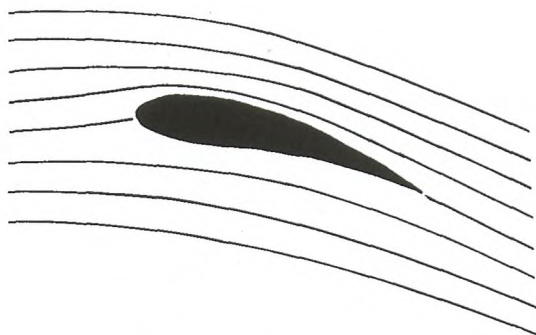
At luftens fart langs oversiden er større end langs undersiden, fordi flyvingen er mere buet på oversiden end på undersiden, er ikke et selvindlysende argument. Umiddelbart trækker argumentet på, at afstanden fra forende til bagende af vingen er større langs oversiden end langs undersiden. Og en forestilling om, at naboluftpartikler ved forenden, der løber hver sin vej om vingen, mødes igen ved bagenden. Men det er en ubegrundet forestilling. Eksperimenter har også vist, at den er forkert.

Man kan med en vis ret hævde, at tætheden af strømlinjer og v_1 må være større på oversiden end tætheden af strømlinjer på undersiden og v_2 , fordi oversiden indsnævrer passagen mere end undersiden. Tilsyneladende er det ikke det, der signaleres i figuren. I det hele taget er figuren helt u-fysisk ved at lade strømlinjerne have samme retning før og efter flyvingen.

Grundlæggende skyldes opdriften på flyvingen, dvs. kraftpåvirkningen fra luften, at flyvingen påvirker luften med en tilsvarende modsatrettet kraft med dertil hørende impulsoverførsel per tid nedad til luften. Eller på jævnt dansk: Luften skal løbende sparkes nedad for at holde flyet oppe. Det – og ikke Bernoullis ligning – er det grundlæggende. Det forklarer, hvorfor man kan flyve med plane skråtstillede vinger, og hvorfor fly med buede vinger kan flyve på ryggen mm.

Ifølge Klaus Weltner ("A comparison of explanations of the aerodynamic lifting force", Am. J. Phys. **55**(1), januar 1987) er det hastighedsforskellene på hver side af en buet vinge, der ud fra trykforskellene kan forklares ved hjælp af Bernoullis ligning, ikke trykforskellene ud fra hastighedsforskellene, som i vores løsning af opgaven. I Klaus Weltners artikel findes figur 2 med et rigtigere strømlinjeforløb end i Alonso-Finn-figuren.

Vingeprofilen får strømlinjerne til at krumme nedad både over og under vingen. Ifølge Newtons anden lov må der da være en trykgradient nedad både over og under vingen. Derfor er trykket over vingen mindre end trykket et stykke over flyet og trykket under vingen større end trykket et stykke under flyet. Trykket i nogen afstand fra flyet er stort set det samme. Derfor kan Bernoullis ligning benyttes til at forklare, at luften har større fart langs oversiden end langs undersiden.



Figur 2. Strømlinier omkring flyvinge, ifølge K. Weltner.

I det tekniske museum i Luleå i Sverige, skrev de, da jeg besøgte det i 2004, at videnskaben var splittet angående forklaringen på opdrift på flyvinger. Det er nok at tage munden for fuld. Men rigtigt er det, at fejlagtige forklaringer med henvisning til Bernoullis ligning har huseret i indledende lærebogslitteratur, som i Alonso-Finn tilfældet. Imidlertid er der mest tale om fortidssynder. I de fleste indledende lærebøger nu om dage er fremstillingerne i orden. Om det er Klaus Weltners artikel, der har katalyseret opretningen, er svært at opspore. Men kollektivt er der sket en opretning.

Grunden til, at der i en periode kan cirkulere en fejlagtig forklaring, er formentlig, at lærebogsforfatterne skriver af efter hinanden. Det er svært for lærebogsforfatterne at overkomme at tænke alt i en lærebog igennem fra bunden af. En tilsvarende fejlagtig vandrefortælling i fysiklærebøger er den, som jeg omtalte i artiklen om rulning i KVANT, april 2011. Vandrefortællingen går ud på, at momentsætningen, $dL/dt = \tau$, ved rulning kan benyttes med momenter taget om røringpunktet, fordi røringpunktet momentant ligger stille. Som vist i KVANT-artiklen er det, ligesom Bernoulliforklaringen her, også forkert (pointen vedrørende rulning har jeg uddybet i: “Rules for rolling as a rotation

about the instantaneous point of contact”, Eur. J. Phys. **32**, 389-397 (2011), og yderligere i “Five ways of deriving the equation of motion for rolling bodies”, Am. J. Phys. **80**, 1073-1077 (2012)).

Breddeopgave 77. Åreforkalkning

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra eksamen januar 2016, nr. 77 i rækken her i KVANT):

Hvor meget skal blodtrykket procentvis øges for at sikre den samme blodgennemstrømning ved 5% formindskelse af årenes indvendige diameter på grund af åreforkalkning? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer af KVANT.

Videnskab.dk

Samarbejde med videnskab.dk

KVANT samarbejder med Videnskab.dk, hvilket betyder, at enkelte artikler fra KVANT vil kunne læses på Videnskab.dk. Fra KVANTs decembernummer kan man således læse Helge Kraghs artikel om naturvidenskaben som kristent projekt.

Videnskab.dk dækker forskningen bredt fra kultur og samfund til teknologi og naturvidenskab. Redaktionen har hjemme i Valby og består af 10 ansatte samt journalistpraktikanter, studentermedhjælpere, projektmedarbejdere og freelancere.

Kvantefysikken og erkendelsens afgrund

Af Børge Krag Pimenta

I denne artikel vil jeg med relevante nedslag i filosofihistorien kort opridse den filosofihistoriske udvikling fra de tidligste tænkere i vesten op til kvanteteoriens udformning, der bryder det erkendelsesbegreb, som har øvet sin magt over os i mindst 2500 år – og fortsat gør det. Denne magt udspringer ikke kun af tradition (der dog har en stor betydning for forståelsen), men også af hvordan vores forståelse på et mere neurologisk plan kommer i stand.

Platons idé

Siden filosofihistoriens begyndelse har mennesket spekuleret over, hvad det værende egentlig er. Man har forestillet sig, at der bag de synlige og foranderlige fænomener skjulte sig en art substans eller et urstof af naturlig (fx vand, luft, ild) eller af ideal (fx “to apeiron”

(“det uafgrænsede” – altså: kvalitetsløse), “det ene”) karakter. I mere generelle termer kan man sige, at de gamle grækere søgte en *logos* (λόγος) – en struktur eller orden – i naturen. Denne grundstruktur eller orden måtte alt andet stå i *forhold* (latin: ratio) til. Platon, der ganske vist ikke hører blandt de tidligste tænkere, er ingen undtagelse. For ham er *idéen* (“εἶδος” (eidos)

eller “*ἰδέα*” (idea)) – der betyder *billede* på oldgræsk – denne værensgrund eller logos, der får betydningen: *det der lader sig begribe* med vores *fornuft* (*ratio*-nalitet), hvilket er muligt fordi tingenes logos (*ratio*) selv er *fornuftig* (= logisk). Anderledes udtrykt: fornuften er *selv* denne begribose, så det den begriber, er *egentlig sig selv* (som “absolut fornuft”, hvilket dog først går op for de tyske idealister: Fichte, Schelling, Hegel). Derfor bliver *erkendelse* til *genkendelse* hos Platon – idéen er ikke blot et billede, den er fornuftens *spejlbillede*. Fornuften *genkender* en fornuftig (*rationel*) orden (*logos*) i tingenes *natur* (*φύσις*: *physis*, der også kan forstås som nogets “indre” væsen/væren), fordi denne *natur* (*væren*) *væsentligt* er fornuft (*idé*). Med Aristoteles’ begreb for væsen (*τὸ τι ἦν εἶναι*), der egentlig betyder: “det-at-være-hvad-det-var”, bliver hans gæld til Platon åbenlys: Billedet *er* jo det-der-er-hvad-det-var – det af-bilder noget i fortiden, som det viser i nutiden.

Når Platon taler om idéer, er der ikke tale om noget, der lader sig videnskabeligt efterprøve. Der er *ikke* tale om en hypotese, men en afdækning af den metafysiske forudsætning for erkendelse. Det er Parmenides’ vise ord: “Tanke og væren er det samme” – som man vel kan kalde metafysikkens grundsætning – der genlyder i Platons filosofi og i filosofien i det hele taget. Hvis ikke væren og tanken deler samme logos, er enhver erkendelse umulig (erkendelsen *forudsætter* en metafysik). Selv det at *benægte* sætningen, forudsætter den, for det negative udsagn er *afledt* af det positive: “Tanke og væren er *ikke* det samme” er *også* en identitetssætning, omend den er negativ. Den *benægter* hvad den selv *forudsætter*.

Fra sandhed til sikkerhed – “den epistemologiske vending” i filosofien

Med den franske filosof og matematiker René Descartes (1596-1650) vendes forholdet mellem metafysik og erkendelsesteori (epistemologi) på hovedet. Det er ikke længere Platons transcendent idéer, der udgør det værendes *hypokeimenon* (*ὑποκειμενον*) – latin: sub-strat (grund-/underlag). Det gør i stedet *subjektet* (latin: *subiectum*, der betyder “underlagt/-kastet”). *Sikker viden* (epistemologi) får forrang for *sand viden* (metafysik) – modsat tidligere – i troen på muligheden af en dogmatisk fordomsfri fornuft. Dette sker i løbet af Den Videnskabelige Revolution, der *baserede* fysik (“natural science”) på matematik, altså lod matematikken være fysikkens (*natures*) grundlag, og hvad der var matematisk gyldigt (“sikkert”) kunne indses af forstanden (subjektet), hvilket Descartes ikke var sen til at indse. I sine *Meditationer* (1641), forsøger han netop – ved hjælp af en “metodisk tvivl” – at stedfæste det metafysiske *grundlag* for “den nye videnskab”

(erkendelsen): subjektets *sikre* vished om sig selv som tænkende subjekt – “*cogito ergo sum*” (“jeg tænker, altså er jeg”).¹

Denne “subjekt-filosofi”, som Descartes regnes som faderen for, blev videreført af den tyske filosof Immanuel Kant (1724-1804). Han reagerede oprindeligt – eller det er i det mindste det som han fortæller os i forordet til *Prolegomena* (1783) – på den skotske empirist David Humes skeptiske undergravning af videnskabens *rationelle* grundlag.² Kant viderefører traditionen fra Descartes ved i sin *Kritik af den rene fornuft* (1781), at forankre naturlovene rationelt i subjektet. Dermed ikke sagt, at naturlovene kan udledes ud fra fornuften alene, men snarere at der i erfaringen også indgår et moment af fornuft – eller rettere: *forstand*, som Hume, altså ifølge Kant overser. Det er *udledningen* af disse i erfaringen indeholdte *rene, transcendentale begreber* (af Kant kaldet “forstandskategorier”, som qua *rene* ikke selv kan gøres til genstand for erfaring, altså er de *transcendentale* – de ikke blot *overskrider*, men *muliggør* erfaringen), som den første halvdel af *Kritik af den rene fornuft* har som sin primære delmål. Efter at have udtømt hvilke (*rationelle*) forstandsbegreber a priori, der indgår i og muliggør erfaringen, gælder det for Kant om, at begrænse den rene fornuft til forstandens egentlige virkefelt: *erfaringen*. Forstandskategorierne skal med Kants termini knytte an til de *rene, transcendentale anskuelser*former: *tid og rum*. Så snart forstandens begreber/kategorier appliceres på noget, der ligger *uden for* tid og rum og altså “hinsides enhver mulig erfaring”, mister de deres *videnskabelige* (epistemologiske) legitimitet, ifølge Kant. Det er denne *anskuelighed*, der i nærværende sammenhæng er interessant, for ligesom idéerne hos Platon er de *billeder* (metaforer?³), hvori fornuften spejler sig, er anskuelserformerne hos Kant, dem der bringer forstanden inden for erkendelsens sfære, eller sagt med Kants egne ord: “Tanker uden [anskueligt erfarings]indhold er tomme, anskuelser uden [forstands]begreber er blinde.”[1] For Kant er altså erkendelse af et objekt *afhængig* af *anskueligheden* af dette objekt: Det, der ikke kan *forestilles* (anskueliggøres) – gøres til “*billede*” – kan heller ikke *erkendes*⁴. Heri, hvor Kant ironisk nok mente sig allermest frigjort fra Platon, var han allermest forbundet med ham.

Videnskabens metafysiske hjemløshed – beregningen

Med kvantefysikken forsvinder denne genkendelighed af syne. Enhver anskuelighed er udelukket, fordi atomerne opererer helt anderledes end de genstande, vi ser i den synlige verden, hvis lovmæssighed er bestemt af den newtonske mekanik. Vores forståelse gør brug

¹Omend denne sætning er blevet emblematiske for Descartes, findes den ikke i noget værk af ham. Men *tanken* finder sted i 2. meditation, stk 6.

²David Hume (1711-1776) gør sig allerede sine tanker i hovedværket *A treatise of human nature* (1739/40), men det var den tyske oversættelse af den mere populære fremstilling i *An enquiry concerning human understanding* (1748), som Kant læste og reagerede på. Det bør understreges, at Hume (som empirist) ikke anfægter videnskaben som sådan, men udelukkende dens (fx af Descartes) påståede *rationelle* (metafysiske) grundlag.

³Idéen (*eidos/idea*) er i sig selv en metafor, et *billede*, hvormed vi begriber.

⁴Så sent som hos den tidlige Ludwig Wittgenstein (1889-1951) hedder det endnu: “‘Et sagforhold er tænkeligt’ betyder: vi kan danne os et billede af det.”(3.001), *Tractatus Logico-Philosophicus* (1918), oversat af D. Favrholdt, Moderne Tænkere, Gyldendal 2003.

af metaforer, og disse metaforer er formet af vores (før)sanselige erfaringer, hvilket ingen revideret lærdom kan ændre på.⁵ Metaforerne står fast fordi sanseerfaringen, hvorfra de oprinder, har den samme faste struktur. Og det er en sådan fast struktur, som Kants rene, transcendentale anskuelsesformer sætter som *forudsætning* for al erfaring, herunder også erkendelse: Noget kan ikke bevæge sig baglæns i tid og én og samme ting kan ikke være flere steder i rummet på samme tid. Faktisk svarer Kants rumlige anskuelsesform til Euklids geometriske bestemmelse af rummet, som er den samme, som Newtons mekanik baserer sig på – og den måde hvorpå vi mennesker umiddelbart og *naturligt* opfatter verden. Her må physis-begrebet atter betænkes: Er physis sådan som naturen virkelig er (kvantefysisk) eller hører der til physis en genkendelighed og fortrolighed fordi physis er selve det der stemmer overens med menneskets egen natur? Hvis det sidste er tilfældet er physis *ude af sig selv* i kvantefysikken. Menneskets bestræbelse med den newtonske mekanik var at samle himmel og jord under ét og samme naturbegreb, men kulminerer med adskillelsen af menneskets (natur)erfaring og hvordan naturen er “i sig selv” (for nu at tale kantiansk) – altså en splittelse i mennesket selv. Man kan faktisk mene, at Niels Bohr netop overholder den kantianske klausul ved at hævde, at før målingen finder sted er der tale om en “ting i sig selv” om hvilken vi ingenting kan vide. Det er så Einstein der ikke vil kendes ved “tingen i sig selv”, som noget for forstanden *ubegribeligt*.

Med kvantefysikken overskrider videnskaben bestemmelserne i *Kritik af den rene fornuft*. Der kan *principielt* ikke foreligge noget anskueligt objekt (hvilket vil sige: en metafor) for erkendelsen, og dermed er erkendelse ikke længere genkendelse, men beregning. Albert Einstein, der i en ung alder begejstret havde læst Kant, var ikke særlig glad for de paradokser kvantefysikken indebar. Nu kunne et objekt pludselig – som fx elektronen, der i nogle sammenhænge må opfattes som en partikel – med brug af Schrödingers ligning for bølgefunktionen også opfattes som bølger, der indeholdt flere (sandsynlige) energitilstande samtidigt (såkaldt “superposition”), så længe ingen måling fandt sted. Når målingen af energitilstande fandt sted, skete et såkaldt “kollaps af bølgefunktionen” (sandsynlighedsfordelingen for elektronens lokalitet i rummet), men aldrig før. Det var ifølge Københavner-fortolkningen ingen *epistemologisk* påstand, men en *ontologisk* (= metafysisk): Elektronen *som partikel* findes ikke eksakt i rummet *før* målingen, men er *flere* steder (som fordeling af energitilstande) *på én gang* i rummet. Dette paradoks er forsøgt illustreret ved det berøm-

te tankeeksperiment kaldet “Schrödingers kat”, efter ophavsmanden. Tankeeksperimentet illustrerer dog – modsat hensigten – snarere absurditeten ved at foretage en analogi mellem makroskopiske objekter (som katte) og kvantefysiske objekter (subatomare partikler såsom elektroner, fotoner osv.).

Det er til Niels Bohrs hæder, at han i sin vedholdende bestræbelse på at levere en videnskabelig teori (i betydningen: en teori der lader sig *eksperimentelt* gendrive) har set bort fra vores fordomsfulde opfattelser af – og *forestillinger* om – hvad der er muligt og hvordan virkeligheden er beskaffen. Men formentlig skyldtes den modstand, han mødte hos Einstein, at videnskabens selvopfattelse med kvantefysikken måtte revideres: det er ikke længere en *erkendelse* af verden, der er dens drivende kraft.⁶ Videnskaben tjener nu udelukkende teknikken: vi kan *bruge* kvantefysikken; vi kan ikke *forstå* den, hvilket Einstein nok har set som videnskabens intellektuelle falliterklæring. I stedet for at forstå virkeligheden, begiver mennesket sig nu til at beregne sandsynligheder. Måske var det en oprindelig trang til at forstå sin verden, der drev mennesket til videnskab, og måske er det denne “oplysningsoptimistiske” forestilling, som en fysiker som Einstein bevarede til det sidste.

Hvis dette holder stik: at fysikvidenskaben med kvantefysikken har afsløret sig som teknik, er vi nået fysikvidenskabens sidste epoke. Ikke i den forstand, at der i fremtiden ikke vil blive bedrevet fysikvidenskab, men at vi må give afkald på en forståelse, der netop forudsætter den anskuelighed, fysikvidenskaben ikke længere kan levere – alle metaforer er dømt til at slå fejl.

Litteratur

- [1] I. Kant (1787) *Kritik af den rene fornuft*, B75, s. 83, oversat af C.B. Østergaard, Det Lille Forlag (2002).



Børge Krag Pimenta er cand.mag. i filosofi ved SDU (2012) med tilvalgsfag i kognitiv semiotik, Aarhus Universitet (2009).

⁵Inden for kognitionsforskningen tales der om “image schemas”, som er abstrakte skemaer, der formes i den tidligste erfaring. Det er disse “image schemas”, der ifølge teorien danner grundlag for metaforerne og dermed vores forståelse. Disse image schemas, som jeg forstår dem, skal dog snarere forstås naturalistiske end transcendentale, men der er en latent tvetydighed knyttet til dem.

⁶Jf. de indledende ord til Aristoteles’ *Metafysik*: “Alle mennesker stræber af naturen efter viden.” (980 a21), her citeret fra K.F. Johansen: *Den europæiske filosofis historie I*, Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck 1998, s. 429.

Andreas Mogensens rumkapsel er landet

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, KVANT

Den 2. september 2015 blev Andreas Mogensen den første dansker i rummet, da han blev sendt op til Den internationale Rumstation med en Soyuz-raket, affyret fra den russiske rumhavn Bajkonur i Kasakhstan. Med ombord var også kosmonauterne Sergej Volkov fra Rusland, som skulle blive på Rumstationen, og Aidyn Aimbetov fra Kasakhstan, som fløj hjem igen sammen med Andreas Mogensen.

Nu er Soyuz rumkapsel nummer TMA-18M, som astronauterne sad i, da de fløj op til Rumstationen, efter to års intenst arbejde og omfattende økonomisk støtte fra Aage og Johanne Louis-Hansens Fond, "landet" i udstillingen på Danmarks Tekniske Museum i Helsingør.



Figur 1. Andreas Mogensen i rumkapslen (foto: ESA).

Rumkapslen ligner nærmest en stor kirkeklokke, og overfladen er mørk og ser noget ujævn og medtaget ud efter turen gennem atmosfæren. Det mest overraskende er måske, hvor lille den i virkeligheden er. Der er ikke plads til at bevæge sig ret meget, og de tre astronauter sidder meget tæt ved hinanden, når de bliver sendt af sted.

Når først astronauterne er ude i rummet, kan de dog også gå ind i et lille beboelsesmodul. Desuden har Soyuz-fartøjet et servicemodul med bl.a. solpaneler og raketmotor. Under hjemturen afskydes både servicemodulet og beboelsesmodulet i ca. 140 km højde, således at kun rumkapslen vender tilbage til Jorden.

Da Soyuz-fartøjet også fungerer som redningsbåd for astronauterne på Rumstationen,

og da modulerne kun kan være et halvt år i rummet uden at tage skade, landede Mogensen dog med Soyuz rumkapsel nummer TMA-16M. Modulet i udstillingen landede den 2. marts 2016 med Sergej Volkov, Michail (Rusland) og Scott Kelly (USA). Kornijenko og Kelly havde da tilbragt 340 dage i rummet, som er det længste ophold i rummet nogensinde.



Figur 2. Soyuz rumkapsel TMA-18M på Danmarks Tekniske Museum (foto: JOPP).

Selvom Soyuz-kapslen ikke er særlig komfortabel, har den til gengæld vist sig at være særdeles pålidelig og sikker, og den er stort set ikke ændret siden den blev udviklet i 1960'erne. Den første landing med et Soyuz-modul i 1967 gik dog helt galt, fordi hovedfaldskærmen ikke foldede sig korrekt ud, og da den sovjetiske kosmonaut Vladimir Komarov udløste reservefaldskærmen, blev den viklet ind i hovedfaldskærmen, hvorefter han blev dræbt ved sammenstødet med Jorden.

Efter at USA i 2011 opgav at holde rumfærgerne i drift, har kun Rusland kunnet sende mennesker op til Rumstationen. Det private amerikanske firma SpaceX har dog siden 2012 kunnet sende forsyninger op til Rumstationen med deres Dragon-modul, og de har siden udviklet Dragon 2, der kan have astronauter ombord.

SpaceX får dog hård konkurrence fra Boeings "Crew Space Transportation" (CST) Starliner-modul. Begge firmaer har planlagt ubemandede prøveflyvninger til august og de første bemandede prøveflyvninger senere på året.