

Appendiks C. Crash kursus i fysik og lidt mere

Dette kapitel er ikke mindst en hilsen til Lars, som mange gange undervejs spurgte, om jeg ikke ville servere et crash kursus i fysik. Det er hermed gjort.

Når nu alting - ifølge reduktionisten - kommer fra fysikken og virker opad, så kan det være værdifuldt at kende lidt til fysik. Hensigten er ikke mindst at sikre, at læseren er klar over, hvor fuldstændig mærkelig og kontra-intuitiv verden egentlig er. Vi er bestemt ikke billardkugler i bevægelse.

Bilaget er forsøgt holdt på et meget beskedent matematisk niveau, men hvis man bliver sulten, er der mange referencer i litteraturlisten, og så er Wikipedia altid et godt sted at starte. Hvis man er fortrolig med kvantemekanik og relativitetsteorier, eller ret ligeglad, springer man bare dette bilag over.

Fysik før Newton

Der var ikke meget der og nærmest ingenting, vi bruger i dag. De "gamle grækere" filosoferede en masse omkring verden – og har bidraget uvurderligt inden for filosofi og erkendelse – men fysik var ikke en disciplin i sig selv. Ingen målinger og ingen vigtige forudsigelser. Man tog for givet, at en tung sten falder hurtigere end en let sten (hvad først Galileo viste, at den ikke gør). Man mente, at de fire elementer – ild, jord, vand og luft – altid søgte sammen, og derfor søgte floderne mod havet og varm luft opad. Aristoteles beviste, at Jorden er den eneste planet ved at sige, at en håndfuld jord falder nedad og ikke opad. Altså er der ikke en "jord" over os.

Jeg kan tænke på Arkimedes princip – om legemer, der nedsænkes i vand – og vægtstangsprincipper som brugbare i dag, men de kommer også via Newtons love.

Newtons Fysik

Isaac Newton (1642-1727) er uden tvivl et af de største genier, verden har set, og hans bidrag til fysik og – ikke mindre – matematik kan ikke overvurderes. Det er fantastisk, at hans "love" er helt aktuelle den dag i dag og bruges inden for alle mekaniske grene af ingeniørverdenen. Og hans matematiske opfindelser: differential- og integralregning er grundlaget for store dele af fysikken.

Newtons love er love for mekaniske fænomener: Når legemer – dvs objekter med masse - hviler på hinanden, når de mødes, når de bevæger sig, når de påvirkes af en kraft. Han udledte sine love på baggrund af astronomiske observationer af Tycho Brahe (1546-1601) og efterfølgende astronomiske beregninger af Johannes Kepler (1571-1630). Hvad får planeterne til at bevæge sig i elliptiske baner om solen? Hvorfor flyver månen ikke af efter en tangent? Hvorfor falder et æble til jorden? Hans svar var: der findes en tiltrækningskraft mellem legemer med masse. Og der behøves en kraft, for at et legeme kan accelerere, dvs. ændre fart og/eller retning (hvad man for eksempel gør, når man bevæger sig i en cirkel eller ellipse).

Newtons love er matematisk så simple, at vi vover at skrive dem her (jeg mener, det skal jo ikke kun være Einsteins ligninger, vi ser).

Allerførst har vi Newtons 3 love for legemers bevægelse:

Newton's 1. lov siger, at et legeme i hvile eller i jævn bevægelse forbliver så, medmindre det påvirkes af en ydre kraft. Det betyder, at jeg kan bevæge mig tværs igennem universet uden at mærke, at jeg bevæger mig. Der virker ingen kræfter på mig. Vi oplever det, når vi sidder i et tog på stationen, og toget ved siden af kører. Er det mig eller dem?

Newton's 2. lov siger, at hvis man påvirker et legeme med en kraft, så ændres legemets *bevægelsesmængde*, P , (momentum på engelsk), dvs. produktet af dets masse og dets hastighed, med tiden. Hvis bevægelsesmængden ændres med X under kraftens påvirkning i 1 sekund, så er ændringen 2 gange X efter 2 sekunder. Matematisk skrives det – kraften er lig med den tidlige ændring af bevægelsesmængden:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}.$$

Hvis legemet har konstant masse, så kan loven også skrives

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

En meget kendt sætning: Kraften er lig med massen gange accelerationen. Acceleration er ændring i hastighed per tidsenhed.

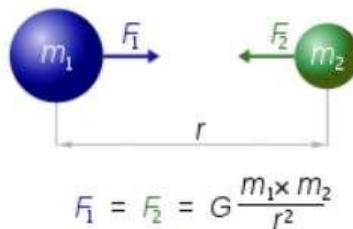
De tykke streger i udtrykkene ovenfor betyder, at bogstaverne står for vektorer, dvs "pile" med både retning og størrelse. Så hastighed har en pil, medens masse ikke

har. Når man påvirker et legeme med en kraft vinkelret på dets bevægelse, så sker accelerationen vinkelret – netop hvad der behøves for en cirkelbevægelse.

Newtons 3. lov siger, at der til enhver aktion svarer en lige så stor modsat rettet reaktion. Dvs når jeg ligger i sengen med mine 65 kg, så trykker jeg på sengen med en kraft på 65 KP (kilopond) og sengen trykker tilbage med det samme. Det må være sådan, fordi jeg ikke flytter mig fra hvile. Men sengen? Den henter sin reaktion fra gulvet, så også den kan være i hvile. Og jorden mærker ingen forskel. Jeg stod jo på gulvet inden, jeg lagde mig i sengen. Mere kendte eksempler er rekylen fra et gevær. Jeg skubber på kuglen, geværet skubber tilbage. Da vi vejer meget forskelligt, får vi også forskellige accelerationer iht 2. lov. Heldigvis. (PS: Den, som rammes af kuglen, oplever samme kraft som rekylen. Så meget bevægelsesmængde ligger jo i kuglen. Dvs hvis offeret falder bagover med stor effekt, så burde jeg gøre det samme. M.a.o det er en Hollywood opfindelse ;-)

Dertil kommer **Newtons tyngdelov** (law of gravity), som forklarer, hvorfor et æble falder nedad.

Loven siger, at to legemer trækker i hinanden med en kraft, som er proportional med produktet af deres masser og omvendt proportional med kvadratet på afstanden mellem deres tyngdepunkter:



F er en vektor, som har samme retning som linjen mellem de to legemers tyngdepunkt (man kan skrive det ind i formlen, men så bliver den lidt mere svulstig).

Newton kunne ikke finde nogen forklaring på, *hvorfra* tiltrækningskraften kommer, og han brød sig ikke om, at den tilsyneladende (som formuleret) virker øjeblikkeligt over ubegrænsede afstande. Men loven virker. Den er et strålende eksempel på, at vores såkaldte naturlove ikke er virkeligheden, men blot *matematiske modeller*. Hvis de giver brugbare resultater, så accepterer vi dem, til vi bliver klogere. Det var Einstein, som kom med en bedre model i sin Generelle Relativitetsteori i 1915.

Med disse ret simple love – og sin nye matematik - kunne Newton forklare planeternes baner omkring solen, en stens flugt gennem luften, og hvorfor alle legemer falder lige hurtigt. I dag bruges de til alt, der er jordisk og mekanisk. Broer, biler, fly, rumraketter.

Vi har allerede nævnt, at Newtons love fik nogle – berømt er Laplace - til at mene, at nu var Gud død, fordi man kunne beregne universets fremtid: Opmål position og bevægelse af alle partikler i universet, og brug ligningerne til at regne fremad. Selvfølgelig ikke en praktisk mulighed, men i princip måtte universets fremtid være givet.

Elektromagnetismen

Den mest nærværende kraft i universet, efter tyngdekraften, som alle møder, er den elektromagnetiske. Vores verden er i dag fuldstændig gennemsyret og styret heraf, medens man i fortiden kun kendte den fra tordenvejr og elektriske ål!

Elektricitet blev langsomt erkendt som en særlig egenskab – et ”stof” – knyttet til visse ting. Fx en ravstang og en kat. I skolen udførte vi simple eksperimenter med ”statisk elektricitet”: Hårene rejste sig bogstaveligt på vore hoveder. Ordet ”electricitet” kommer fra græsk *elektron*, deres ord for ”rav”.

Magneter var kendt fra visse sten, man kunne finde i naturen. De ville gerne ”pege” samme vej: Mod Nordpolen eller Sydpolen. De blev selvfølgelig grundlag for kompasset.

Under oplysningstiden voksede interessen for elektricitet voldsomt, og kendisser som Volta (1745-1827), Ampere (1775-1836) bidrog til viden og praktiske produkter, i første omgang batteriet. Med Ørstedes (1777-1851) opdagelse i 1820 af sammenhængen mellem elektricitet og magnetisme åbnede sig en verden af muligheder for elektriske maskiner såsom generatorer og motorer.

Al viden blev på smukkeste vis sammenfattet af James Clerk Maxwell (1831-1879) i et sæt berømte ligninger, som smykker mange T-shirts på universiteter (den kendte udgave skyldes dog Oliver Heavyside):

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

Maxwell brugte ligningerne til at påvise eksistensen af elektromagnetiske bølger, og han foreslog, at lys netop er et sådant fænomen. Ligningerne giver direkte lysets hastighed udtrykt i naturkonstanter for vacuum, ca 300.000 km/s.

De tekniske anvendelser kom i hastigt tempo:

Telefonen tilskrives Alexander Graham Bell i 1876. Allerede i 1877 blev den første kommercielle linie taget i brug.

Endnu et gennembrud kom med opfindelsen af det elektriske lys (Edison, ca 1880), som fra slutningen af 1800-tallet fortrængte de besværlige og farlige gaslys.

Mellem 1886 og 1888 lykkedes det for Hertz at transmittere radiobølger, og allerede i 1901 sendte Marconi det første radiosignal fra Europa til USA. Informationsformidling – tale - med lysets hastighed.

Med opdagelsen af atomets struktur i begyndelsen af 1900-tallet blev elektricitet og dens enorme betydning for alvor forstået. Med Bohr's atommodel blev det klart at alle atomer, dvs al materie, er omgivet af en sky af negativt ladede elektroner, som frastøder hinanden. Derfor "gror" ting ikke bare sammen, og derfor kan jeg stå på et gulv uden at synke igennem. Mine elektronskyer frastødes af gulvets ditto.

I dag erkendes klart, at al kemi kan henføres til elektronernes dans omkring de enkelte atomer. Særlige (kvantemekaniske) spilleregler for elektronskyerne dikterer de mulige kemiske reaktioner.

Selvom elektricitet således har været kendt længe og været udbredt til mange praktiske ting, er det først nu i det 21. århundrede, at den helt store elektriske revolution er på vej: Den totale erstatning af fossile brændstoffer. Kulkraftværker bliver erstattet af vindmøller og solceller. De mest energikrævende maskiner – store fly og skibe – kommer indirekte til at være elektriske fx via Power-To-X teknologier, hvor man bruger grøn elektricitet til at fremstille enten brint eller grønt kemisk brændstof. Resten bliver rent elektrisk: Biler, mindre fly og skibe. Det er rent historisk set en revolution: Den for civilisationen uundværlige energi startede med ild fra træ, og derefter fra kul og olie. De sidste er begrænsede resourcer, som aldrig kommer tilbage. Som Fred Hoyle skrev, hvis HS mislykkes som civilisation, så kommer der ikke en efterfølger: De vil mangle de helt nødvendige energikilder til at komme i gang med. Man kan ikke fra scratch opfinde generatoren, solceller eller atomkraft. Og endnu mindre skabe en civilisation.

Termodynamikken

Termodynamikken er et lag oven på den rene fysik. Den beskæftiger sig med fænomener som tryk, tæthed, temperatur, varme, arbejde og energi, i princip i alle medier, statiske såvel som i bevægelse.

Termodynamikken kom på banen ifm. dampmaskinen. Hvordan kunne man effektivisere den? Hvor meget kunne man få ud af en maskine med en cyklisk proces? Så den tidlige termodynamik var specielt relateret til gasser – damp – og maskiners nyttevirkning. En tidlig fader var Carnot (1796-1832), som mente, at effektive dampmaskiner kunne hjælpe Napoleon til at vinde sine krige.

Termodynamikken definerer et stort antal størrelser, fx tryk, temperatur, absolut temperatur, indre energi, varmekoefficienter, entalpi, entropi. Dertil kommer et antal konstanter, som er fastlagt på forskellig vis, fx gaskonstanten og Boltzmanns konstant. Alt bindes sammen i et hav af formler, som oprindeligt havde basis i eksperimenter, men som i vore dage kan udledes ved hjælp af såkaldt statistisk mekanik, simpelt sagt ved at betragte et emne som en enorm samling af molekyler. Pointen er, at termodynamik kan reduceres til kvantemekanik og altså ikke kommer med nye naturlove.

Termodynamikken er ejer af fire berømte love (nummereret nul til tre), hvoraf to skal omtales her.

1. lov introducerer begrebet **indre energi** og siger, at ændringen i indre energi i et system er lig med tilført varme minus udført arbejde (hvor begge kan være negative eller positive). Det siger bla at energi ikke kan opstå eller forsvinde, men kun ændres fra en form til en anden – fx fra varme til arbejde.

2. lov er berømt. Den findes i mange formuleringer, men fælles for dem alle er, at de udtrykker verdens irreversibilitet: et æg, som falder på gulvet, hopper ikke op på bordet igen og samler sig.

En formulering siger, at varme ikke af sig selv vil flyde fra et koldt sted til et varmt. Man kan ikke lave en maskine, som tapper energien ud af verdenshavene. En anden siger, at hvis et lukket system med forskel i varme eller koncentration af whatever overlades til sig selv, vil det stræbe mod ligevægt i alle parametre. En forældreformulering siger, at hvis man rydder helt op i et børneværelse og derefter overlader det til børnene, vil det ende op i totalt rod ganske hurtigt.

Når man taler om orden og uorden, reversibilitet (omvendbarhed) og det modsatte, kommer den termodynamiske tilstandsstørrelse *entropi* på banen. Entropi blev opfundet (eller snarere opdaget) af Rudolf Clausius (1822-1888), som søgte en tilstandsstørrelse, som kunne udtrykke en termodynamisk proces' reversibilitet.

Clausius kom frem til en tilstandsstørrelse defineret som et integral af tilført varme divideret med en absolut temperatur. Clausius valgte navnet *entropi* som en nær slægtning til *energi*. Skal en process være reversibel, skal entropien være konstant.

Den 2. lov kan også skrives som: I et lukket system kan entropien aldrig aftage. Kritikere af evolutionen fremfører ofte, at den 2. lov forbyder kompleksitet i at opstå, men det gør de kun fordi, de overser ordet "lukket". Det er korrekt, at entropien falder med øget kompleksitet – mere orden – men biosfæren er ikke et lukket system: Solen sender store mængder af energi ned til os hver dag og muliggør derved lokal sænkning af entropien. I det samlede system af Jorden og Solen stiger entropien hele tiden.

Dorion Sagan (2005) mener, at livet er optimalt til at dissipere energi, og dermed til at øge entropien. At den evne kan ses som et formål med "liv".

Jeremy England (The Journal Of Chemical Physics 139, 121923 (2013)) udleder rigorøse sammenhænge mellem celledeling – altså det helt essentielle ved liv - og entropiproduktion. Igen, at liv kræver et åbent system og dermed findes langt fra termodynamisk ligevægt.

Entropi har efterhånden fået kultstatus, og man benytter også begrebet ifm information (der er en lighed, men det er altså ikke det samme fænomen). Som nævnt i Kapitel 4, taler man også om universets død som en "entropi død". Fordi universet er et lukket system (videnskabeligt set), stiger entropien ubønhørligt mod et maksimum. Herefter kan intet arbejde udvindes.

Kvantemekanikken

Kvantemekanikken beskriver fysikken på den mindste skala: elementarpartikler, atomer og molekyler.

Kvantemekanikken blev udviklet som en konsekvens af, at Newtons mekanik ikke kunne forklare et antal fænomener, fx stabiliteten, ja bare eksistensen, af et brintatom.

Hvis man kan tale om en revolution inden for fysikken, så er kvantemekanikken nok den største nogensinde. Hvad den fortæller os om fysikken i atomernes verden, strider fuldstændigt mod vores intuitive opfattelse af verden. Determinisme erstattes

med sandsynligheder, kausalitet er ikke givet, partikler kan være flere steder og i flere tilstande på samme tid. En ny virkelighed. Kvantemekanikken er bekræftet til uhørt præcision og beviser hver dag sin sandhed gennem dens teknologiske indflydelse og resultater. Den kan ikke benægtes.

Kvantemekanikken startede med Max Plancks forslag til en løsning på det dengang vigtige problem med at kunne beregne strålingen fra et sort legeme ved forskellige temperaturer. Det fik Planck i 1900 til at foreslå – uden forståelse i øvrigt – at energi kun kan forekomme i bestemte ”kvanter” og ikke have hvilke værdier som helst. Hans ligning passede perfekt med målingerne.

Derfra startede en lang historie, hvor ikke mindst Niels Bohr spillede en stor rolle. Einstein var den første til at forstå betydningen af Plancks forslag – om eksistensen af kvanter – men derefter var han ikke glad for de teorier, som kom frem. Diskussioner mellem ham og Bohr hører til videnskabens legender (fx Kumar, 2008).

At energi kun kan forekomme i kvanter, fik Niels Bohr i 1913 til at foreslå en atommodel, som forklarede, hvorfor et brintatom kan eksistere og være stabilt. Modellen var sådan set forklaret (for simpel), men bragte videnskaben videre. Niels Bohr kom med mange andre væsentlige bidrag, ikke mindst filosofiske, men han var også en slags fader for mange unge talenter, som tilbragte tid i København på Bohrs institut. En vigtig fortolkning af kvantemekanikken hedder således *Københavnfortolkningen*.

Hvis vi starter oppefra, så kan vi sige med den store fysiker og formidler Richard Feynmans (1918-88) ord: ”Ingen fatter kvantemekanikken”. Bohr sagde det samme: ”Hvis man tror, man har fattet kvantemekanikken, så har man ikke forstået den”. En anden klassisk Bohr bemærkning (til Heisenberg): ”Din teori er helt sikkert skør, men er den skør nok?” Vi kan bruge dens ligninger med uhørt succes, men vi forstår den ikke. Dens ligninger er endnu et eksempel på en *matematisk model* af en virkelighed, vi ikke kender. Dagens ligninger kan meget vel blive udskiftet med andre, som tiden går, men inden for det område, vi i dag anser kvantemekanikken for gældende, skal evt efterfølgere give identiske resultater. Og vi ved med sikkerhed, at der ikke gemmer sig en sand, deterministisk virkelighed bagved sandsynlighederne. Vi ved, at ”Gud spiller med terninger”, i konflikt med en populær bemærkning fra Einstein (som dog var ateist).

På baggrund af kvantemekanikken er skabt den såkaldte *Standardmodel*, som beskriver alle kendte elementarpartikler og kræfterne, som virker – lige med undtagelse af gravitation (tyngdekraft). Standardmodellen er aldrig blevet undsagt af et eksperiment, men har en svaghed i, at den indeholder en snes konstanter, som

skal findes (er fundet) via eksperimenter. Mange drømmer om at finde en ”teori for alting”, hvor værdierne til Standardmodellen bare dukker op, men her og nu er der ingen fremskridt. Tværtimod antyder strengteoriene, at der er frit slag på alle hylder, og et uhyrligt stort antal Standardmodeller, dvs universer, mulige.

Medens kvanteteorien i starten blev set som en teori for det mindste, er der i dag bred forståelse for, at den er en teori for hele universet på alle skalaer. Dens særlige fænomener har dog kun betydning for det mindste, men i princip de er der hele vejen op. Overgangen fra det mindre til det større er et objekt for stadig forskning og filosofi, som bl.a. har stor betydning i forbindelse med de praktiske anvendelser af kvantefysikken i f.eks. kvantecomputers.

Highlights

Nogle highlights fra kvantemekanikken:

- *Energi findes kun i kvanter – bestemte mængder*
I klassisk mekanik er energi (og alt andet) en kontinuerlig størrelse, dvs den kan antage alle værdier. I kvantemekanikken kommer energi i bestemte mængder – kvanter – hvilket er forklaringen bag eksistensen af stabile atomer og dermed hele vores verden.
Der er mange forskere i dag, som mener, at også rum og tid kommer i kvanter (som er umådelig små).

Photoner (lyspartikler) har en energi som kan skrives

$$E = h \cdot \nu$$

hvor h er Plancks konstant, og det græske bogstav “ny” er frekvensen.

- *Dualitet mellem partikler og bølger – Komplementaritetsprincippet*
De mindste stofdele optræder både som partikler og som bølger. De kan agere, som partikler gør – støde sammen – og de kan interferere, som bølger gør. Men i modsætning til vores kendte bølger, kan de populært sagt interferere med sig selv. En strøm af ensomme elektroner gennem to spalter vil over tid tegne et interferensmønster på en fotografisk plade, selvom de aldrig var i nærheden af hinanden.
- *Umuligt at måle begge egenskaber samtidigt*
Hvis man laver en måling, som skal fortælle, hvor en partikel befinder sig, forsvinder bølgeegenskaberne. Og omvendt, hvis man vil observere historien bag et et interferensmønster, er det umuligt at sige, hvad vej en partikel har bevæget sig. Der er lavet utallige snedige forsøg på at narre partiklerne til at fortælle begge dele i samme måling, men det går ikke. Nogle forsøg nærmer

sig det bizarre – som om partiklerne tænker. De kan tilsyneladende ændre deres *fortid* afhængig af hvilken måling, man udfører.

- *Schrödingers bølgeligning*

Kvantemekanikkens vigtigste ligning er Schrödingers *bølgeligning*, som beskriver udviklingen over tid af et kvantesystems *bølgefunktion*, Ψ .

Time-dependent Schrödinger equation (*general*)

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\Psi(t)\rangle = \hat{H} |\Psi(t)\rangle$$

Ligningen, som er lineær, (og som er let at udlede, når man antager at systemet udvikler sig som en bølge) blev opfundet (1925) for at give brugbare resultater, men hvad *bølgefunktionen* egentlig er eller peger på, vidste ingen. Max Born foreslog at dens kvadrat angav sandsynligheden for resultatet af en måling, og den er taget til tros i dag. Resultaterne er bekræftet med 10 decimaler.

Hamilton-operatoren, H , som optræder på ligningens højre side, må fastlægges i det enkelte tilfælde ud fra det aktuelle system

Så brugbar ligningen end er, så er den dog ikke ”konsistent” iht Roger Penrose. Den virker, indtil man udfører en måling eller observation af systemet. Populært siger man (mange), at *bølgefunktionen kollapse*. Og hvorfor nu det? Så det sidste ord er ikke sagt omkring kvantemekanikken.

- *Heissenbergs ubestemthedsrelation / usikkerhedsrelation*

En uhyre vigtig sætning (og ligning), som siger, at hvis den ene af to såkaldt *konjugerede variable* er kendt med fuld præcision, så er den anden helt ubestemt. Generelt er der en mindste værdi på produktet af deres usikkerheder. Fx er sted og bevægelsesmængde (momentum) konjugerede variable, hvilket betyder, at man ikke kan måle disse to samtidig med fuld præcision. Er stedet helt kendt, er hastigheden helt ubestemt.

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Heissenbergs usikkerhedsrelation forklares ofte (populært) som et *målingsproblem*. Hvis man vil måle positionen på en partikel, må man belyse

den med en foton. Fotonens energi (som er proportional med dens frekvens) vil forstyrre partiklens bevægelse, hvilket leder til usikkerhedsligningen. Men det er i bund og grund et fænomen, som skyldes alle partiklers bølgenatur, som påpeget af de Broglie. Uden den hænger Borh's atommodel ikke sammen. Når partikler (også) har bølgenatur, kan man ikke fastlægge en præcis position eller bevægelsesmængde. Dette giver os en uhyre vigtig sandhed: Naturen er ubestemt på det atomare niveau pga bølgenaturen, hvilket dræber den klassiske fysiks determinisme..

- *Paulis udelukkelsesprincip*

Paulis princip, som kan forklares ud fra bølgeligningen, siger at elementarpartikler er af to slags: fermioner (som danner alt stof, vi kender) og bosoner (som formidler kræfter mellem fermionerne), og at to fermioner ikke samtidig kan befinde sig i samme tilstand. Fx kan der ikke være to ens elektroner i kredsløb om en brintkerne (en proton). Når der dog kan være to, skyldes det, at elektroner udover ladning og masse også har såkaldt *spin*. Så der kan være to elektroner, hvis de har modsat rettet spin. Efter Paulis princip styres antallet af elektroner i alle atomers elektronskaller, og derved hele kemien. Kemien, som startede som en ren eksperimentel videnskab, fik herved en kvantemekanisk forklaring.

- *Tunneleffekt*

Tunneleffekten kaldes det fænomen, at en partikel kan gå fra en tilstand til en anden uden at kunne befinde sig i en nødvendig mellemtilstand. Den passerer så at sige forbudt og umuligt område. En partikel kan kravle over en umulig energibarriere – den kan låne energi i et kort øjeblik pga Heissenbergs ubestemthedsrelation (tid og energi er et andet sæt af konjugerede variable). Vi kan takke tunneleffekten for eksistensen af transistorer og dermed alt elektronisk udstyr. Al elektronik bygger på kvantemekanikkens sandheder.

- *Superposition*

Bølgefunktionen, Ψ , for et kvantesystem er løsningen til Schrödingers bølgeligning for det givne system. Her skal en passende Hamilton-operator (som beskriver energiforholdene) såvel som begrænsninger for bevægelse indsættes. Da ligningen er lineær, kan løsninger adderes til hinanden, og resultatet vil ligeledes være en løsning.

Kvantesystemet siges at være i *superposition* af alle de mulige løsninger samtidig, **så længe** ingen måling foretages, i modsætning til et klassisk system, som kun kan befinde sig i én tilstand på et givet tidspunkt.

Når en måling foretages på kvantesystemet, siges bølgefunktionen at "kollapse" (hvis vi følger den fortolkning, som kaldes

Københavnertolkningen – se nedenfor), og en enkelt tilstand fremstår.

Et "klassisk" eksempel på superposition er tankeeksperimentet "Schrödinger's kat": En kat befinder sig i en lukket boks sammen med en "dræbermekanisme", som er styret af et kvantefænomen: et radioaktivt henfald. Et sådant er uforudsigeligt, og så længe ingen kigger i boksen, siges katten at være i en superposition af "død" og "levende", de to tilstande som er løsninger til den aktuelle Schrödinger-ligning. Der er 50% chance for begge dele, indtil vi åbner boksen, og derved foretager en "måling". Målingen vil vise en enkelt tilstand.

- *Entanglement (sammenfiltring)*

Et efterhånden "berømt" kvantemekanisk fænomen, som i sjælden grad har givet ophav til diskussioner mellem forskerne, og som den dag i dag ikke kan siges at være forstået.

Sammenfiltringen kan etableres på flere måder fx mellem elektroner eller fotoner og indebærer, at tilstanden for de to objekter skal beskrives som en helhed, selvom de efterfølgende kan adskilles nærmest ubegrænset. F.eks kan de anbringes i en tilstand, hvor de to partikler har modsat rettet (såkaldt) "spin", som i øvrigt er ubestemt indtil, man måler på det. Måler man så spin på den ene partikel i en given retning og finder "spin up", vil den anden altid have "spin ned" i samme retning, når man måler på den, selvom det er umuligt at forudsige, hvad der bliver målt, og selvom de er adskilt af store afstande.

Årets nobelpris i fysik 2022 blev givet til forskere, som kunne bekræfte fænomenet, og påvise, at forbindelsen mellem partiklerne var "hurtigere end lyset" (universets max fart).

Einstein kaldte det "Spooky action at a distance", og kunne absolut ikke acceptere det: At det tilsyneladende virkede hurtigere end lyset. Han mente, at der måtte være "skjulte variable" til stede i de to partikler, som havde forudbestemt (fx) spin. Men det er efterhånden afvist gennem mange forsøg. Der findes ingen skjulte variabler i kvantesystemer: Deres tilstand er ubestemt indtil, man måler på den. (Det var endnu en vindsgang for Niels Bohr).

Jeg har set (i en Youtube) Leonard Susskind sige, at "entanglement" er det samme fænomen som "ormehuller" (i Den Almene Relativitetsteori). Begge to fungerer på store afstande uden respekt for lysets hastighed. Måske?

Vigtigt – og måske til ærgelse for nogen – kan man ikke benytte sammenfiltring til at sende information hurtigere end lysets hastighed. Den grænse består.

Fortolkninger af kvantemekanikken

At vi ikke "forstår" kvantemekanikken, er mest et filosofisk problem al den stund, vi kan "regne på den" med stor præcision. Ikke desto mindre adskiller det den fra al anden fysik. Vi kan fatte "Den specielle relativitetsteori" selvom den er på tværs af al almindelig erkendelse. OK, hvis jeg måler en længde, så måler du en anden, hvis vi bevæger os i forhold til hinanden. Men at en partikel kan være to steder på samme tid...? At partikler kan interagere på tværs af universet øjeblikkeligt?

Det har ledt til et større antal "fortolkninger" af kvantemekanikken. Og, bemærkelsesværdigt, er der ingen vindere selv efter 100 år. København var, takket være Niels Bohr, et centrum for forskning og ideudveksling inden for kvantemekanikken i starten af 19-hundredtallet, og den måske mest "populære" fortolkning bærer navn derefter.

Her bringes kun de to vigtigste fortolkninger på bordet. Mange flere findes fx på Wikipedia: [Interpretations of quantum mechanics - Wikipedia](#)

- *Københavnfortolkningen*
Københavnfortolkningen, længe den mest populære fortolkning, er en betegnelse for et antal fortolkninger, som har det tilfælles, at en måling afgør, hvilken tilstand et system befinder sig i. Hvis ingen måling udføres, er tilstanden ubestemt. Faddere var Niels Bohr og Werner Heisenberg.

Man taler om, at kvantetilstanden (beskrevet ved bølgeligningen) *kollapser* i forbindelse med en måling. Diskussionerne drejer sig om, hvorfor! Og om der nu skal være en *bevidsthed* bag målingen, hvilket selvfølgelig åbner for mange mystiske teorier. "Vi bestemmer virkeligheden".

Roger Penrose (i en Youtube – Closer to Truth) havde et ironisk tankeeksperiment: På en fjern planet findes ingen bevidsthed (men måske simpelt liv). En rumsonde tager et foto, som ikke viser andet end ubestemte kvantetilstande, dvs flimrer. Tilbage på Jorden kigger en bevidst person på billedet, og straks viser billedet kollapsede bølgefunktioner og synligt miljø.

- *Mangeverdensfortolkningen (Many Worlds Interpretation)*
Den nærmeste konkurrent til Københavnfortolkningen, men nok også den mest misforståede og misforståelige. Ophavsmand var Hugh Everett III (Ph.D thesis 1957).
Helt i basen siger den, at bølgefunktionen **ikke** *kollapser* ved en observation (hvad jo ingen kan forklare ordentligt), i stedet splittes vores univers op i

mange nye universer, hvor hver af de superpositionerede løsninger udspiller sig. Nogle – rigtig mange - læser og beskriver dette bogstaveligt: Hver gang en elektron kan gå til højre eller venstre, gør den begge dele, men i to universer. Kritikerne siger selvfølgelig: Det lyder absurd. Andre – herunder ”store”, kendte forskere – siger: Du misforstår det. Det er bare flere historier, som udspiller sig. Jeg tror, vi skal gå den sidste vej, men jeg må erkende, at jeg ikke forstår, hvad de siger. Men det kommer?

En vigtig begrundelse for Everetts teori er, at han (og i dag de fleste eller alle) mente/mener, at kvantemekanikken gælder hele universet, bogstaveligt: Universet har også en bølgefunktion, og da der ikke findes observatører uden for universet, er Københavnerfortolkningen tydeligvis forkert. Universet udvikler sig ganske ligeglåd med os.

Der findes mange gode forslag til tilhængerne: Lav en selvmordsmaskine styret af et kvantefænomen: Lige meget hvad, så vil der jo være et univers, hvor du er i live. Ganske som ”Schödingers Cat”, som vil være i live i et univers, men død i et andet.

Uanset det misforståelige og nærmest groteske i idéen, så vinder den frem, fordi den må ses som en meget consistent teori for hele universet.

Kvantemekanik og humbug

Den manglende generelle, filosofiske forståelse af kvantemekanikken har naturligvis lokket fantasterne frem. Der findes et større antal spirituelle ”pseudoreligioner”, ”New Age” retninger, som i kvantemekanikken har fundet en kilde til lidt opfriskning.

F.eks. bliver Københavnerfortolkningens behov for en *observation* til behov for en *bevidsthed* til at styre virkeligheden. Vores bevidsthed afgør verdens udvikling. Hvordan universet har klaret de første 13 mia år, står hen i det uvisse, selvom nogen hævder, at vi i dag rent faktisk også styrer den del af festen!

Kvantemekanisk *sammenfiltrering* støtter ideer om mystisk forbindelse mellem vore bevidstheder. Telepati, energi healing. Positive tanker har reelle, fysiske effekter. At man ikke kan sende information ad den kanal, er bedst glemt i farten.

Men også banale misforståelser forekommer. F.eks. som beskrevet I Kapitel 9, mener tidligere biskop Steen Skovsgaard, at kvantemekanikken tillod Jesus at gå gennem lukkede døre (i Apostlenes gerninger), og at de, som siger nej til det, ganske enkelt ved for lidt om fysik. Sim-sala-bim.

Sammenfatning

Kausalitet og determinisme er død på det atomare niveau. Partikler er bølger og partikler på samme tid. Partikler kan befinde sig i mange tilstande og på mange steder samtidig. Enhver beregning leverer kun sandsynligheder. Ubestemthedsprincippet tillader overtrædelse af energibevarelsen i korte tidsrum. Udelukkelsesprincippet dikterer hele kemien.

Den Specielle Relativitetsteori

Fysikkens mest berømte ligning, nemlig



som her præsenteres på USS Enterprise i selskab med USS Long Beach og USS Bainbridge – verdens første atomdrevne overfladekrigsskibe på en demonstrationstur verden rundt i 1964 - kommer fra Einsteins *Specielle Relativitetsteori* fra 1905.

Da teorien blev til, vidste man fra Maxwell, at lyset var en elektromagnetisk bølge, som bevægede sig med en bestemt fart, ca 300.000 km/s i vakuum. Men i forhold til hvad? Samtiden mente, at der fandtes en allestedsnærværende æter, som bar lyset, på samme måde, som luften eller et andet medie bærer en lydbølge, og at bevægelsen af lyset var relativt æteren. Det skulle så betyde, at man kunne måle forskel på lyshastigheden, hvis man bevægede sig i forhold til æteren, fx *med* lyset eller *mod* lyset. I et meget berømt forsøg forsøgte Michelson & Morley i 1887 at måle en sådan

forskel, men der var ingen. Lysets hastighed var tilsyneladende den samme for enhver iagttager, uanset dennes bevægelse.

Det blev døden for æteren, og dermed et stort spørgsmålstegn, som først blev slettet med Einsteins teori, som gjorde op med faste begreber som tid, længde og masse. Der findes ingen absolut tid, ingen absolut længde og ingen absolut masse. Og lysets hastighed er den samme for enhver iagttager. Gentag det for dig selv.

I den specielle relativitetsteori finder man alle vegne en korrektionsfaktor, kaldet Lorentz-faktoren:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Her er v hastigheden (farten) af et legeme relativt en observatør, og c lyshastigheden (ca 300.000 km/s). Fx ændres massen af et legeme i bevægelse med Lorentz faktoren. Hvis $v = 0$ er der ingen ændring; hvis $v = 10$ km/s (som en satellit) er der en ændring på 0,0000001 %; hvis $v = c$ er massen pludselig uendelig. Vi husker, at massen er et udtryk for modvilje mod bevægelse, hvilket her betyder, at når vi nærmer os lysets hastighed, bliver yderligere hastighedsændring tæt på umulig. Man kan ikke bevæge sig hurtigere end lyset. Hvilket sætter en grænse på vores muligheder for at rejse i rummet.

Lorentz faktoren er mere end blot end korrektionsfaktor: Den er den eneste mulige transformationsformel, som gør det muligt for enhver observatør at måle lysets hastighed som en konstant, altså samme værdi for enhver iagttager.

At tiden ikke er absolut, men også underlagt Lorentz faktoren, er en kendsgerning vi tager hensyn til i dagens GPS system, hvis satellitter flyver med 10 km/s. Ellers virkede det slet ikke! Læs mere om GPS i næste afsnit.

Men den konsekvens af den Specielle Relativitetsteori vi mest mærker, er konsekvensen af $E = m \cdot c^2$. Energi og masse er ækvivalente og kan forvandles til hinanden.

Vi forvandler energi til masse i enhver kemisk reaktion, som kræver energi tilført, fx den fotoelektriske proces i grønne planter. Solens energi lagres i energirige kulhydrater, som vejer mere end de indgående konstituentter.

Den anden vej – fra masse til energi – går vi, når vi spiser kulhydraterne: den lagrede energi kommer til rådighed, og slutprodukterne vejer mindre. (Det kan desværre ikke måles på en almindelig vægt).

Et skridt mere spektakulært er atombomben og atomkraft. I en atombombe forvandles en ganske lille masse (mindre end 1 gram!) til en enorm energirig eksplosion, og i en kontrolleret atomreaktor, som fx som i maskinrummet på USS Enterprise, forvandles masse til arbejde i skibets skruer. På 1 kg brændstof, kan USS Enterprise sejle i 10 år.

Helt på toppen finder vi forvandlingen af masse til energi i Solen. Det er Solens maskine og ganske enkelt vores livsgrundlag. Brint fusionerer til helium med væggtab. Det er så energirigt, at Solen kan brænde og udsende enorme energimængder i 10 milliarder år. Før Einstein var der ingen idé om Solens maskineri, som kunne finde en løsning på dens alder (som vi kunne slutte fra Jordens alder).

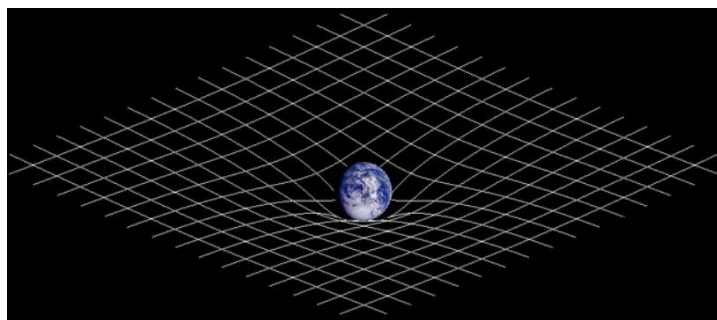
Et lille pudsigt eksempel. Hvis en bil på 8 meter kører med næsten lysets hastighed ind i din garage på 6 meter, så vil du kunne tage et billede, hvor hele bilen er inde i din garage pga Lorentz kontraktionen af bilens længde. Meget fantasifuldt kunne du lukke dørene i begge ender med bilen inde i garagen. Men set fra bilen var den aldrig i sin helhed i din garage. Næsen var ude inden halen var inde. Hvem har ret? Begge. Den specielle relativitetsteori afskaffer begrebet samtidighed. Afhængig af vores hastighed ser vi forskellige ting ske. Verden er ikke, som vi lige tror.

Sammenfatning: Einsteins Specielle Relativitetsteori giver os et fuldstændigt nyt verdensbillede. Tid er ikke længere absolut – der findes ikke samtidighed, længder afhænger af observatøren, og masse vokser med hastigheden. Intet kan bevæge sig hurtigere end lyset. Masse og energi er ækvivalente.

Den Generelle Relativitetsteori

Den Specielle Relativitetsteori var begrænset til at gælde i systemer i jævn bevægelse. I 1916 offentliggjorde Einstein så sin Generelle Relativitetsteori, som også inkluderer systemer i accelereret bevægelse, dvs os alle sammen.

Endnu engang lykkedes det for Einstein at forvandle verdensbilledet fuldstændigt. Den gådefulde tyngdekraft – se Newton mekanik ovenfor – blev forklaret: Når to masser ser ud til at trække i hinanden, krummer de i virkeligheden rum-tiden og vælger den nemmeste vej. Et *populært* billede ser således ud:



Jorden krummer rumtiden således, at en billardkugle vil søge ned mod jorden. Jorden trækker ikke i kuglen, men rumtiden krummes, og kuglen tager ”den lige vej”. Det ligner en ”tiltrækning” til Jorden, men er noget andet.

Einstein ræsonnerede ud fra en simpel tanke: Hvad er egentlig forskellen på at mærke Jorden trække mig ned og så oplevelsen af acceleration ude i rummet i en elevator, som trækker mig op? Kan jeg mærke eller måle nogen forskel på de to situationer? I begge tilfælde vil en vægt under mine fødder vise det samme. Jeg vil føle det samme. Jeg bliver trukket nedad. Måske er det det samme fænomen? Det besluttede han sig for, at det var.

Ligningen (som egentlig er 16 feltligninger), som beskriver teorien, er så smuk – og tilsyneladende simpel – at vi vover at trykke den.

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

Venstre side er den såkaldte metrik – rummets geometri – og højre side er massen og energien. Rummets geometri styres af den tilstedeværende masse / energi og styrer derved bevægelsen af masser. En smuk knude. Det tog Einstein 10 år at udvikle teorien, og almindelige mennesker kan roligt afsætte et lignende antal år på at forstå den.

I sin oprindelige udgave indholdt ligningerne kun termene med G og T. Men da det ikke rakte til at beskrive et statisk univers, hvilket Einstein og alle andre antog i 1917, tilføjede Einstein den anden term med faktoren Lambda, kendt som ”den kosmologiske konstant”. Da det senere blev opdaget af Hubble, at universet ikke er statisk, men udvider sig, blev termen overflødig. De oprindelige ligninger kunne beskrive den situation. Einstein kaldte den sit livs størst bommert. MEN da man så senere opdagede, at universets udvidelse accelererer, kom konstanten til sin ret igen. Nu kaldes den også ”vacuum energi” og endnu mere berømt ”dark energy”.

Den ukendte energi, som dominerer universet. Forsøg på at beregne Lambda ud fra kvantemekaniske overvejelser går helt galt. En fejl af størrelsesordenen 10^{123} ! Så vi ved i dag ikke, hvordan værdien fremkommer.

Teorien er bekræftet gennem utallige forsøg, hvoraf de første i Einsteins egen tid. Man vidste længe, at planeten Merkur roterer om Solen på en lidt anderledes måde, end hvad Newtons love foreskriver. Einstein testede sin ligning på dette problem, og det siges mange steder, at han næsten fik hjertestop, da han fandt fuld overensstemmelse mellem sin teori og virkeligheden. Han blev verdensberømt – big time, overnight – da man bekræftede hans teoris forudsigelser om, at lys afbøjes i tyngdefelter, ved observation af afbøjningen af stjerners lys under en total solformørkelse i 1929.

Afbøjes lys i et tyngdefelt? Ækvivalensprincippet siger, at ophold i et tyngdefelt svarer til en acceleration i en elevator. Og så er det jo nemt at forstå: Når jeg i elevatoren sender en lysstråle fra den ene side af elevatoren til den anden, så må den jo bøjes nedad, fordi elevatoren har flyttet sig inden strålen når frem til den anden side. Og hvad kan man så bruge det til? Man har brugt dette fænomen til at veje hele universet (se Krauss "A universe from nothing", 2012), og til at observere meget fjerne galakser, hvor mellemliggende galakser virker som optiske linser.

En anden vigtig konsekvens af teorien er, at tid og rum ikke kan adskilles, men danner et rum-tids kontinuum. Tid er en 4. koordinat på linje med de 3 kendte. Ikke bare i illustrationer, men sådan "virkelig". Einstein sagde selv, at tid er en illusion. Alle tider har været og er der. Jeg (Jørgen) har aldrig fundet den detalje spisbar, og nu har Lee Smolin glædet mig med en bog ("Time reborn", 2013), som hjælper mig. Han er heller ikke glad for den ide.

En nyttig anvendelse af teorien er i GPS systemet. En konsekvens af teorien er, at tiden går langsommere i stærke tyngdefelter, hvilket betyder at tiden – målt på dit ur – går langsommere på jordoverfladen end i højden. Når du står på toppen af Rundetårn går dit ur hurtigere – du ældes hurtigere. Man kan i dag måle forskellen på to atomure, når man løfter det ene ur så lidt som 20 cm. Da GPS satellitterne flyver i ca 20.000 km højde, går tiden hurtigere i dem, og hvis ikke man tog hensyn til det (og den Specielle Relativitets Teoris ligning om tid og hastighed), så ville din GPS uden problem sende dig til Sverige hver morgen! Tak, Einstein.

Sammenfatning: Tyngdekraften er et geometrisk fænomen. Tunge legemer krummer rummets geometri og tiden. Tiden går langsommere nær tunge legemer. Ved meget store massekoncentrationer er tid og rum samme sag.

Grundliggende fysikbegreber

Et lidt ekstra afsnit til ”nørder”?

Nogle begreber, som – hvis man ”forstår” dem og deres relationer – hjælper med til at forstå fysik og hjælper med til at løse alle fysikopgaver!

Inden for fysikken tilhører alle objekter en eller anden ”art”; på engelsk taler vi om ”dimension”. For eksempel ”tid”, ”masse”, ”længde”. Man kan ikke sammenligne forskellige ”arter” – fx giver det ingen mening at spørge, om 4 sekunder er mere end 2 kg. Men man kan – interessant nok - opstille ligninger, hvor man ganger eller dividerer dem med hinanden. Helt almindeligt kender vi ”kilometer pr time”, hvilket er ”længde” divideret med ”tid”, som vi kalder ”hastighed”. Hvis vi ganger ”hastighed” med ”tid”, får vi ”længde” tilbage. Hos købmanden møder vi ”kr/kg”, og slankekure lover os tab af ”kg/uge”.

Når man opstiller fysiske ”love” / formler - også kaldet ligninger: matematiske udtryk med et lighedstegn i - så skal ”dimensionerne” være de samme på begge sider af lighedstegnet, hvis det skal give mening. Men man skal også være omhyggelig med de ”enheder” man bruger: Længde kan udtrykkes i mange enheder, fx meter, fod, alen, osv. De skal også passe sammen.

De måleenheder, vi bruger i dag i det meste af verden, tilhører det såkaldt SI system og er en gave til alle fysikere. Inden SI systemets introduktion var alle fysikkens ligninger forpustede af alle mulige omregningskonstanter, nærmest som vekselkurser. Populært sagt enedes man om, at et antal enheder blev bevaret, som de var, fx 1 kilogram og 1 meter, medens andre blev tilpasset, så konstanterne forsvandt. Enheden for kraft hed tidligere Kilopond, men blev skiftet ud med Newton. 1 Kilopond er ca 9,81 Newton. Enheden for varme og energi hed tidligere kalorier (også skrevet *cal*), men blev skiftet ud med Joule (mange – de fleste – hænger stadigvæk fast i kalorier og kan ikke rigtig vænne sig til Joule. Men se forskellen bag på en mælkekarton. Det, vi kalder kalorier i ernæringsammenhæng, er i virkeligheden 1000 kalorier). En anden stædig rad er Hestekraften (som slet ikke er en kraft, men en effekt) som i dag byttes med Watt. 1 Hk er ca 735 Watt. I USA har man aldrig rigtig (bortset fra fysikere) taget SI systemet til sig, så der taler man stadigvæk om miles, feet og pound.

Alle SI-enheder kan præfikses med bogstaver, vi kender fra hverdagen, fx Mega, kilo, centi, milli, som forkortes passende: MJ, km, mm. Standarden kan findes på Wikidia (SI-systemet) [International System of Units - Wikipedia](#)

Masse – alle ”legemer” har masse. Fra de mindste atompartikler til de største stjerner. I dag tilskriver vi årsagen til ”Higgs-mekanismen”, hvor den tilhørende Higgs partikel endelig blev observeret i 2012! Masse oplever vi som en uvilje mod at ændre bevægelsestilstand, herunder hvile. Vi kalder det også legemets *inerti*. Et og samme legeme – fx en astronaut – har den samme masse i hvile uanset hvor, det befinder sig. På Jorden, på Månen, svævende i det uendelige kosmos. Store sten har større masse end små sten. Masse måles i kilogram (kg).

Længde – måler afstanden mellem to punkter i rummet. Hos Newton og os alle sammen er længden noget fast (men ikke hos Einstein). Gennem historien har vi haft et utal af måleenheder for længde, fx tommer, fødder, mil, men i dag måler vi i meter (m).

Tid – er et kompliceret begreb – der er skrevet tykke bøger om det – men fordi vi alle har et ur, der viser tidens gang (og et spejl i badeværelset), føler vi os fortrolige med det på hverdagsplan. Hændelser følger efter hinanden i tid, og vi kan måle mængden af forløbet tid mellem to hændelser vha et ur. Tid måles i sekunder (s).

Kraft – egentlig svær at forklare, men vi ved alle, hvad det er. Påvirker man et frit legeme med en kraft, vil det accelereres. Mange lærebøger bruger netop det som *definition* på begrebet kraft. Puffer jeg til en billardball, vil den flytte sig. Kraft er en vektor, dvs den har størrelse og retning. Accelerationen vil være i samme retning som kraften. Kraft er ikke nødvendigvis knyttet til bevægelse (i Newtons mekanik): En billardball i hvile på bordet trykker på bordet med en kraft, som skyldes tyngdekraften på Ballen. Kraft måles i *Newton*, skrives N. I Newton er den kraft, som accelerer en masse på 1 kg 1 meter/sekund. Med Newtons lov – kraften = massen * accelerationen – ser vi, at kraft har dimensionen $\text{kg} / (\text{m/s}^2)$

Kraft findes i mange former og er et helt grundlæggende fænomen fra det mindste til det største. Kraft formidles mellem partikler og legemer af et antal *kraftbærere*, som i sig selv er elementarpartikler.

Vi kender i dag:

Den stærke kernekraft, som holder atomkernernes neutroner og protoner sammen. Formidles af *gluoner*, hvoraf der findes mange varianter.

Den svage kernekraft, som er ansvarlig for radioaktive henfald. Formidles af nogle tunge partikler, som hedder W og Z bosoner.

Den elektromagnetiske kraft, som virker på elektrisk ladede partikler, som fx elektronen og protonen (der findes mange flere). Den elektromagnetiske kraft formidles af *fotoner* (lyspartikler). Når jeg trykker på en væg, er det mine atomers elektroner, der skubber på væggenes elektroner. Det samme med mine fødder på gulvet. Vekselvirkningen mellem elektroner og fotoner er grundlaget for al kemi.

Tyngdekraften (gravitation), som virker mellem alle masser. I Newtons mekanik formidles tyngdekraften ikke – den er der bare. Einstein lærde os noget andet, og i dag kalder vi den formidlende partikel *gravitonen*. Den har vi endnu ikke observeret, fordi tyngdekraften er så umådelig svag. Tænk på, at en lille magnet kan løfte en clips op fra bordet, selvom hele Jorden trækker clipsen den anden vej.

Derudover taler vi i fysikken og dagligdagen om kræfter på et mere makroskopisk plan, fx rekylkraft, fjederkraft, men de kan alle føres tilbage til en af de 4 ovenfor nævnte, specielt den elektromagnetiske kraft.

Tyngde – vægt - en masse har tyngde, når den befinder sig i et tyngdefelt. Lægger vi en kugle på en vægt, vil Jordens tyngdekraft på kuglen (se Newtons Fysik) trække den nedad og få vægtens fjeder til at flytte viseren. Det, vi aflæser, kalder vi legemets tyngde eller i daglig tale vægt. På Jorden vil astronautens vægt vise 70 kg (det står på vægten), på Månen 11 kg og ude i rummet 0 kg. Tyngden / vægten er egentlig en kraft, som skal måles i Newton, men i daglig tale bruger vi vægt og taler om kg. Det er egentlig noget rod, men en fysiker bliver ikke forvirret.

Tryk – er kraft per fladeenhed. Luft i en beholder vil udøve et tryk på beholderens vægge, som er molekyllernes rekylkraft, når de bumper ind i væggene og kastes tilbage: deres bevægelsesmængde skal vendes om, hvilket kræver en kraft fra væggen. Tryk måles i Newton per kvadratmeter, N/m^2 , hvilket har fået æren af sit eget navn: *Pascal (Pa)*. Vi hører typisk i vejrudsigten, at lufttrykket er 101 kPa.

Arbejde – er kraft gange vejlængden, hvorover kraften virker. Både kraft og vej er vektorer (har retning og størrelse); produktet er et såkaldt vektorprodukt (af typen skalarprodukt): Hvis pilene peger i samme retning, svarer det til almindelig "gange". Hvis de står vinkelret på hinanden, er resultatet nul. Med andre vinkler mellem pilene fås resultater imellem de to nævnte.

Hvis en kraft på 1 Newton virker på et legeme over en strækning af 1 meter, er der udført et arbejde på 1 Newton meter (Nm), hvilket også kaldes 1 *Joule*. Hvis man presser alt, hvad man orker, mod en væg, som ikke flytter sig, har man ikke udført noget arbejde.

Hastighed – et legemes hastighed er en vektor – den har både størrelse og retning. Størrelsen kaldes normalt legemets fart (duer ikke på engelsk;-). Hastighed (og fart) måles i meter per sekund, som vi skriver m/s .

Bevægelsesmængde (momentum) – er masse gange hastighed, dvs også en vektor. Newtons 2. lov lærer os, at ændringen i bevægelsesmængde per tidsenhed er lig med kraften, der virker. Bevægelsesmængden ændres således i retning af kraften. Enheden for bevægelsesmængde bliver $kg \cdot m/s$.

Energi – er evnen til at udføre arbejde. Hvis jeg udfører arbejde på et system, så øger systemets energi med netop mit arbejdes værdi. Systemet – whatever – kan derefter aflevere et tilsvarende arbejde. Energi har derfor samme "dimension" som arbejde og måles i Joule.

Energi findes i mange former, hvad man ikke vidste på Newtons tid. Newton arbejdede med to former:

- *Potentiel energi* – opsparet energi fx i form af beliggenhed. Løfter man et pendul 1 meter op, kan det svinge bagefter. Jeg tilfører pendulet en energi, som er præcis så stor, som det arbejde, det var at løfte det op (kraften, jeg brugte, gange vejen, jeg løftede).

- *Kinetisk energi* – er bevægelsesenergi. Et legeme med en masse på m kg har en kinetisk energi på m gange farten i kvadrat. Energien er ikke en vektor, derfor "fart". Newtons ligninger fortæller klart, hvad der sker, når et pendul svinger: Den potentielle energi i topstillingen omsættes til kinetisk energi i bunden og så tilbage igen. Men ethvert virkeligt pendul stopper til sidst med sine svingninger pga friktion i lejet og luftmodstand. Hvor energien blev af, vidste Newton ikke.

Vi ved i dag, at energi ikke kan skabes eller forsvinde. Den kan kun omformes mellem forskellige former for energi. Andre former for energi, som vi senere har fundet:

- *Varme* – er molekylernes kinetiske energi. Når vi opvarmer et emne, sætter vi emnets molekyler op i fart. Når vores pendul til sidst standser sin svingning, har det omsat al den oprindelige potentielle energi til varme, dels i lejet og dels i luftens molekyler. Når en lerkrukke falder på gulvet og knuses, har det omsat sin kinetiske energi i nedslagsøjeblikket til varme i krukken og gulvets molekyler.

Varme er den mindst værdifulde energiform. Den kan kun udnyttes – bruges til at udføre arbejde – hvis vi kender et koldere sted. Og til sidst findes det ikke. Så er universet dødt – varmedøden.

- *Kemisk energi* – ethvert atom og ethvert molekyle (vi husker: atomer, som hænger sammen) har en energi. Ved kemiske reaktioner får vi nye molekyler ud af gamle ved enten at tilføre eller fjerne energi. Fx får vi energi frigivet ved at sammensætte ilt og brint til vand. Et lille spark, og de reagerer lystigt. Omvendt kan vi genvinde ilt og brint fra vand ved at tilføre energi fx via elektrisk strøm.

En kemisk reaktion løber af sig selv, hvis slutproduktet har lavere energi end udgangsprodukterne, men man skal altid (og heldigvis) over en lille energi-barriere før reaktionen starter. For at forene fx 2 atomer til et molekyle skal man overvinde den frastødende kraft mellem deres elektronskyer, men derefter leverer reaktionsoverskuddet energi til de næste atomer – vi får en kædereaktion. Ilt og brint kræver en gnist, hvorefter det siger bum med resten.

Jeg nævner dette for at gøre det klart, at kemiske reaktioner i hjernen følger de kendte love og IKKE styres af nogens "frie vilje". I så fald skal den "frie vilje" tilføre den nødvendige startenergi, dvs den må være fysisk og ikke "åndelig".

- *Elektrisk energi* – er en art potentiel energi. Elektroner vil gerne møde protoner og kan undervejs udføre arbejde. Hvis man adskiller de to, kan man oparbejde et stort potentiale, fx i et batteri.

- *Masse energi* – Einstein viste, at masse er endnu en energiform. Faktisk en helt vild sådan. Vi skriver lige hans berømte ligning

$$E = m \cdot c^2$$

Energi er lig massen gange lysets hastighed i kvadrat. Fordi lysets hastighed er meget stor – 300.000 km/s – er energiindholdet i materien enormt. Vi møder udbetalingen først og fremmest i solens stråling, hvor brint fusionerer til helium med en ganske lille gevinst i massen. Og vi møder den i atomenergien – og atombomben – hvor Uran 235 forvandles til lettere atomer med en ubetydelig masseforskel. Og rent faktisk i enhver kemisk reaktion: slutemnet af en selvkørende kemisk reaktion vil veje mindre end startemnet.

Effekt – er udført arbejde per tidsenhed. Hvis jeg fx udfører arbejdet 1 Nm (Newton Meter) hvert sekund, dvs 1 Nm/s, eller – det samme – 1 Joule/s, kalder vi det 1 Watt (W). Hvis jeg løber op ad en trappe med mine (det er tilladt at drømme)

75 kg, 1 meter hvert sekund, kræver det en kraft på $75 \cdot 9,81$ N, eller 736 Watt når vi ganger med 1 m/s. Det kaldte man i "gamle dage" en "hestekraft" (1 Hk), hvad vi stadigvæk bruger, når vi snakker biler ældre biler. Hvor mange Watt er din motor på? Jeg aner det ikke. Så Joule er en energimængde, medens Watt er en ydelse – en effekt: så mange Joule hvert sekund.

Elektrisk ladning – er en fundamental fysisk størrelse, knyttet til visse sub-atomare partikler. Man kan ikke forklare elektrisk ladning med noget andet (med dagens fysik). Elektroner og Kvarker og (dermed) protoner – blandt mange andre partikler – bærer elektrisk ladning. Når en elektrisk ladning bevæges, skaber den magnetisme, og de to fænomener tilsammen bygger elektromagnetismen op – det måske vigtigste af alt? Al kemi og dermed liv bygger herpå. Elektrisk ladning måles i Coulomb, som er ca $6,24 \cdot 10^{18}$ ladninger af en elektron.

Elektrisk strøm – et mål for antallet af elektriske ladninger, der passerer en ledning per tidsenhed. Måles i Ampere (A). 1 Ampere er defineret gennem en kraftpåvirkning mellem to ledere (se boksen nedenfor), dvs den er på snedig vis koblet til kraftenheden Newton. Ladningsenheden Coulomb er defineret fra Ampere: Når strømmen er 1 A, passerer 1 Coulomb en ledning hvert sekund.

Elektrisk spænding – udtryk for energien, der kan leveres af elektriske ladninger. Spændingen består mellem to punkter, hvor imellem strøm kan flyde. Kan sammenlignes med trykket i en strømmende gas. Ved høj spænding er der lagt et stort arbejde i at separere de elektriske ladninger fra hinanden (de vil gerne være sammen), et arbejde, der kan genindvindes gennem en strøm. Spænding er derfor energi per ladningsenhed, eller Joule per Coulomb, som har fået sit eget navn: Volt (V). Vi ser, at de elektriske enheder er definerede ud fra de mekaniske – kraft, længde og tid – og derfor passer de som hånd i handske med disse! Ganger vi Ampere med Volt får vi (Coulomb / sek) * (Joule / Coulomb) eller Joule / sek, dvs Watt! Så $A \cdot V = W$.

Nedenstående oversigt stammer fra Wikipedia.

Størrelse	Enhed	Enhedens symbol	Definition
Længde	meter	m	Den distance lyset tilbagelægger i det tomme rum på 1/299 792 458 sekund.
Masse	kilogram	kg	Massen af det internationale prototypelod på 1 kg i Paris. Fra 2014 kommer der en ny

			definition på et kilogram der baseres på Plancks konstant ^[Kilde mangler] .
Tid	sekund	s	Varigheden af 9 192 631 770 svingninger af strålingen fra en ganske bestemt overgang i cæsium-133 atomet.
Elektrisk strøm	ampere	A	Den strømstyrke, der giver anledning til en kraftpåvirkning mellem to uendeligt lange parallelle ledere i afstanden 1 m fra hinanden på 2×10^{-7} N pr. meter.
Termodynamisk temperatur	kelvin	K	1/273,16-endedel af den termodynamiske temperatur for vandets triplepunkt , som svarer til 0,01 °C.
Stofmængde	mol	mol	Antallet af atomer i 0,012 kg af kulstof-12-isotopen .
Lysstyrke	candela	cd	Lysstyrken i en given retning af en lyskilde, som udsender monokromatisk lys med en frekvens på 540×10^{12} Hz, og hvis strålingsstyrken i denne retning er 1/683 W/sr .

Dimensionsanalyse

Jeg har nævnt i Kapitel 4.3, at mange af de forkætrede "naturlove" kan udledes alene ud fra dimensionsanalyse. Dvs en intelligent designer kan ikke gøre meget andet end at sige OK.

Når man laver dimensionsanalyse, finder man først de indgående størrelser: Hvilke fysiske elementer indgår i mit problem? Fx vil arealet af en drage spille en rolle for flyveevnen, medens ugedagen ikke vil. Dens masse kan også være af betydning, medens afstanden til Odense næppe vil indgå.

Dernæst opstiller man en formel, som skal være et *produkt* og/eller en *kvotient* af elementerne. Nogle skal måske opløftes til en eller anden potens, nogle skal måske reduceres via en kvadratrod. Man kan ikke addere æbler, kilo og kroner, men man kan multiplicere dem og/eller dividere dem med hinanden. Kunsten er så at kombinere elementerne, så resultatet af formelen får den rigtige "dimension", fx kroner (et beløb) eller Newton (en kraft).

Der kan siges meget mere teoretisk om dimensionsanalyse, fx muligheden for at lokalisere "dimensionsløse parametre" for et vist problem, hvilket kan udnyttes i modelforsøg. En meget værdifuld ting fx ved flykonstruktion eller modelfilm af bølger. Læs meget mere i [Dimensional analysis - Wikipedia](#).