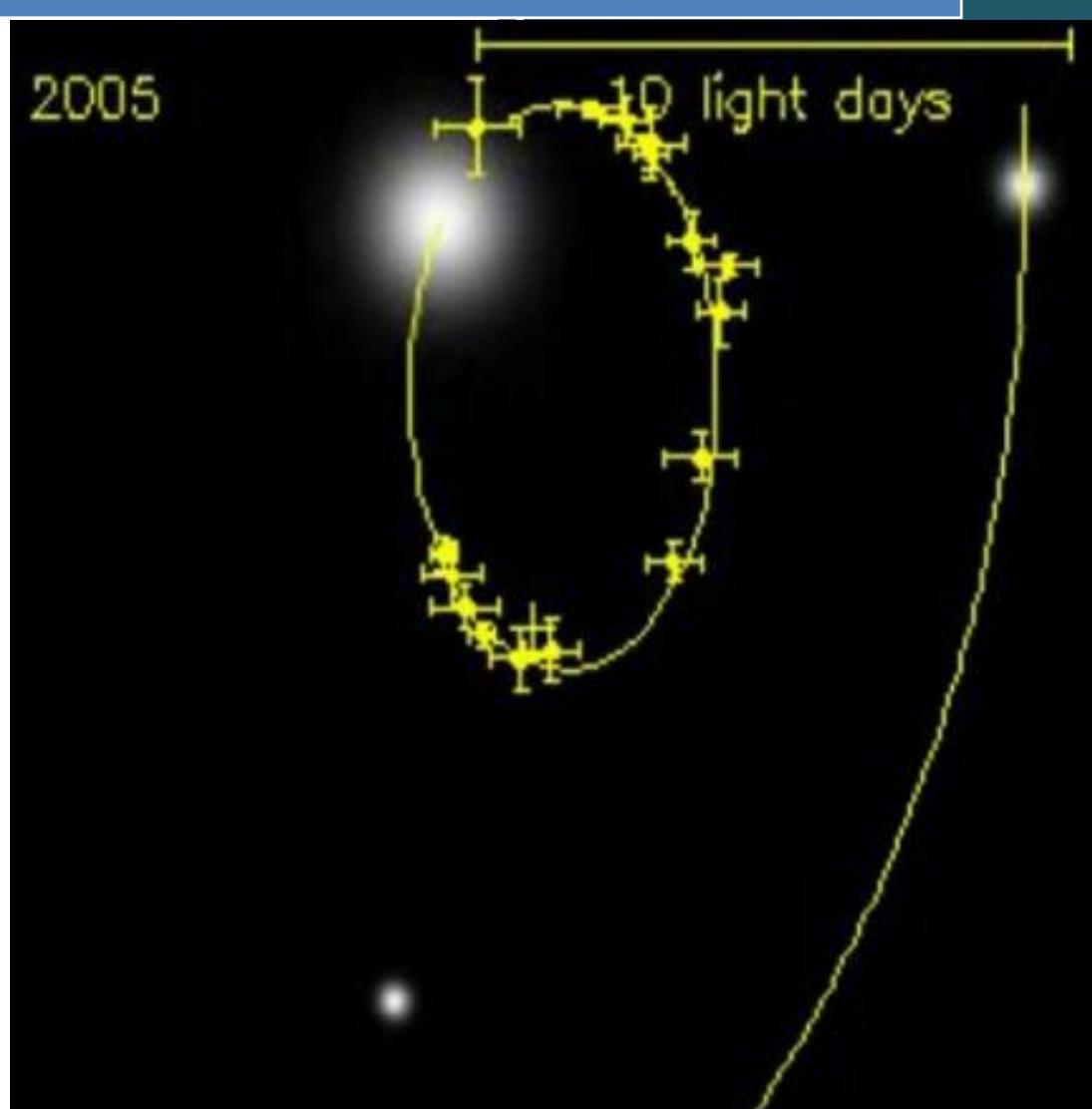


FYSIK C



Marselisborg Gymnasium

Denne note er beregnet til undervisningen i fysik på Marselisborg Gymnasium og forfattet af Henning Fisker Langkjer med bidrag af Frank Carlsen.

© Marselisborg Gymnasium v. Henning Fisker Langkjer

Skulle man finde en illustration, som er belagt med anden copyright, er det en fejl, at den har indsneget sig her. Man bør i givet fald ufortøvet meddele det til ovenstående, og den vil straks blive fjernet.

Forsiden:

Et supertungt sort hul i midten af Mælkevejen. Her er beviset:

Forsidebilledet, fra Det Europæiske Sydobservatorium (ESO), viser 10 års observationer - fra 1992 til 2002 - af stjernen S2 (markeret med gule krydser) i stjernebilledet Sagittarius (Skytten).

Det ser ud til, at denne stjerne bevæger sig i en ellipsebane omkring en usynlig massiv radio- og røntgenkilde, som tidligere har fået navnet Sagittarius A eller SgrA.

Ved hjælp af Newtons love og gravitationsloven kan man regne sig frem til, at det central-legeme, som S2 bevæger sig om – ligesom en planet bevæger sig omkring Solen – har en masse på 3 millioner gange Solens masse. Men der er bare ingenting at se.

SgrA ligger i centrum af vor galakse, mælkevejen, og øjensynligt er der altså tale om et supertungt **sort hul**. Det ligger ca. en cm over midten af billedet, i bunden af ellipsen.

Man har sidenhen fundet indicier på supertunge sorte huller i centrum af mange galakser.

INDHOLDSFORTEGNELSE:

VERDENSBILLEDER	4
Tidlige verdensbilleder	7
Stencirklerne ved Birkendegård.....	8
Det babyloniske verdensbillede	11
Det ægyptiske verdensbillede.....	13
Det græske verdensbillede.....	15
Det naturvidenskabelige verdensbilledes gennembrud	18
Den naturvidenskabelige metode	22
Det moderne naturvidenskabelige verdensbillede	23
Den klassiske mekanik	23
Kvantemekanikken	23
Relativitetsteorien.....	24
Standard Modellen	26
Big Bang og universets udvidelse	31
JORDEN OG SOLSYSTEMET	38
Solsystemet og dets dannelse.....	38
Jorden og Månen	42
Jorden og årstiderne.....	46
Jorden	48
ATOMFYSIK	49
Atomerne	49
Atomer, lys og farver.....	52
Tilstandsformer	54
ENERGI	56
Potentiel energi i tyngdefeltet	57

Kinetisk energi	58
Indre eller termisk energi.....	59
Elektrisk energi.....	63
Effekt	65
Energiomsætning og nyttevirkning.....	67
Mekanisk energi.....	68
Brændværdi	72
LYD OG LYS	73
Vibrationer og svingninger	74
Resonans.....	75
Bølger	76
Bølgers interferens.....	78
Dobbeltspalte.....	82
Brydning af lys.....	85
Additiv og subtraktiv farveblanding.....	92
Lydstyrke.....	96
Dekadiske præfikser	97
SI-enheder	98
Omregninger til SI-enheder	99
Fysiske konstanter.....	99
INDEKS:	100

VERDENS BILLEDER

og fysikkens bidrag til DET NATURVIDENSKABELIGE VERDENS BILLEDE



"Mennesket har naturligt en form for helhedsopfattelse af tilværelsens væsen. I den har det indvævet sine forhåbninger, sin rædsel og sine yderste målsætninger" (Oiva Ketonen, finsk kommunikations-teoretiker 1961).

Vi kan se mennesket som et aktivt filter, der behandler mængden af de data vi møder undervejs i livet, både dem vi selv oplever og erfarer og dem vi får formidlet indirekte. Vi kan bearbejde og sortere disse data og erfaringer rationelt og systematisk i vores søgen efter en forståelse af hvordan "det hele" er sat sammen, ikke for at få tiden til at gå, men så vi bliver i stand til at agere mest hensigtsmæssigt i verden.

Det er dette indre tolkningssystem der kaldes en verdensskuelse, eller et verdensbillede. Det er en helhedsopfattelse af verden, en referenceramme, der organiserer den information vi konstant møder, gennem det vi selv laver, og det vi får fortalt.

Verdensskuelsen er dels sammensat af indre forestillinger og hypoteser, om verdens tilstand eller dens ønskværdige tilstand, kaldet vidensmæssige forestillinger, der kan være mere eller mindre videnskabelige. Men denne del er kort sagt vores forståelse af hvordan verden **er**. Her finder vi især **det naturvidenskabelige verdensbillede**...vi brænder os på ild, mærker vand, varme, kulde, sol, sne, vind osv. Erfarer en del selv, og får formidlet andre hypoteser, som vi vejer op mod vores erfaringer. At vi kan tænke abstrakt hjælper os, vi behøver ikke at afprøve alting i praksis selv for at forstå nye fakta og større problemstillinger.

I et højt udviklet videnssamfund som vores i dag, må vi acceptere, at ingen kan vide alt. Hvor bøger for 150 år siden kunne sammenfatte vores samlede naturvidenskabelige viden på mindre end 500 sider, er dette i dag umuligt. Vi må som samfund stole på videnskabsfolkene - ikke på den enkelte - men på de store forummer af videnskabsfolk. Og spørger man hvad moderne videnskab er, må man som samfund nærmest antropologisk sige, at det er det, store sammenslutninger af videnskabsfolk bedriver, når de forsker i CERN, mødes til kongresser osv.

Dertil kommer verdensskuelsens moralske materiale, den del af verdensskuelsen som handler om hvordan verden burde være. Vores grundlæggende værdier med en portion normer oveni, der guider os i forhold til hvordan vi kommer fra hvordan verden er, til hvordan den bliver, som den burde være. Hvilke midler berettiger målet? Hvis vi vil bevare jorden, hvordan sikrer vi os mod klimaforandringer, der fx vil betyde en voldsomt øget vandstand....eller er det bare ligemeget...jorden skal jo nok overleve os...?

Kun at forholde sig til et verdensbillede med såkaldte "videnskabelige fakta" er for snævert. Verdensbilleder har i vid udstrækning også altid været et produkt af moral og værdier. Vidensdelen og den moralske del med værdier og normer, er to sider af samme mønt. Det er til dels også derfor, forståelsen af hvordan verden **er** skifter, hos den enkelte som erfarer nye ting og hele tiden udvikler sig, og i samfundene som helhed.

Dette kapitel er en kort oversigt over verdensbilleder gennem tiderne og grundtræk af vort moderne naturvidenskabelige verdensbillede med særlig vægt på universets udviklingshistorie, Jorden som planet i solsystemet som grundlag for forklaring af umiddelbart observerbare naturfænomener, og atomerne som grundlag for forklaring af makroskopiske egenskaber ved stof.

En rejsende - en videnskabsmand - søger ud bagom det geocentriske verdensbillede med den flade jord og fiks-stjernesfæren. (Illustration fra Camille Flammarion 1888).



Tidlige verdensbilleder



På Tustrup Mark på Norddjursland ligger en række stenaldermonumenter. Et af dem er det såkaldte "kulthus", som til venstre er fotografet fra nordøst, det sted hvor Solen ses stå op over horisonten ved sommersolhverv.

Det ses, at kulhuset peger i denne retning, og her befinder sig også en "offersten".

Kulhusets orientering tyder på, at stenalderfolk herhjemme tilbad Solen ligesom det er kendt fra Stonehenge i det sydvestlige England.

Danmark har også haft imponerende stenalderanlæg som Stonehenge. Øst for Kalundborg viser en udgravning ved Birkendegård, at der har været 3-4 cirkler op mod 300m i diameter med sten af en højde på flere meter, og øjensynligt med "udlæggersten" mod nordøst.

En kongelig ordre påbød imidlertid i 1100-tallet nedbrydning af "hedenske kultanlæg" og en genanvendelse af stenene i kirkebyggeri, derfor er mange stenalderanlæg i dag forsvundet.

Det skorter ikke på kulørte teorier om hvorledes disse stenalderanlæg blev benyttet til astronomiske observationer af sol og måne, og at stenalderfolkene ligefrem kunne forudsige formørkelser, men disse teorier kan ikke underbygges, og må i dag karakteriseres som ren spekulation. Tilbage står dog som et faktum, at stenalderfolkene tilbad solen, og at disse anlæg er at betragte som datidens templer.

Det er formodentlig karakteristisk for de første agerdyrkende urfolk over hele jorden, at man praktiserede forskellige former for solkult, hvorimod tidligere jægersamfund ofte tilbad både solen og månen: Solen som styrende for årstidernes skiften, den tiltagende Måne som et frugtbarhedssymbol og den aftagende Måne som et symbol på hunger.

I oldtiden søgte man ikke naturvidenskabelige men mytologiske forklaringer på, hvordan verden var indrettet og var skabt af guderne. Guden/guderne - om det nu var Solen, Månen, andre fænomener eller kræfter, der styrede disse - kunne formildes ved bønner, ofringer og besværgelser. Det var først med de gamle grækere, man begyndte at forklare verden mere rationelt.

Ekstra:

Stencirklerne ved Birkendegård

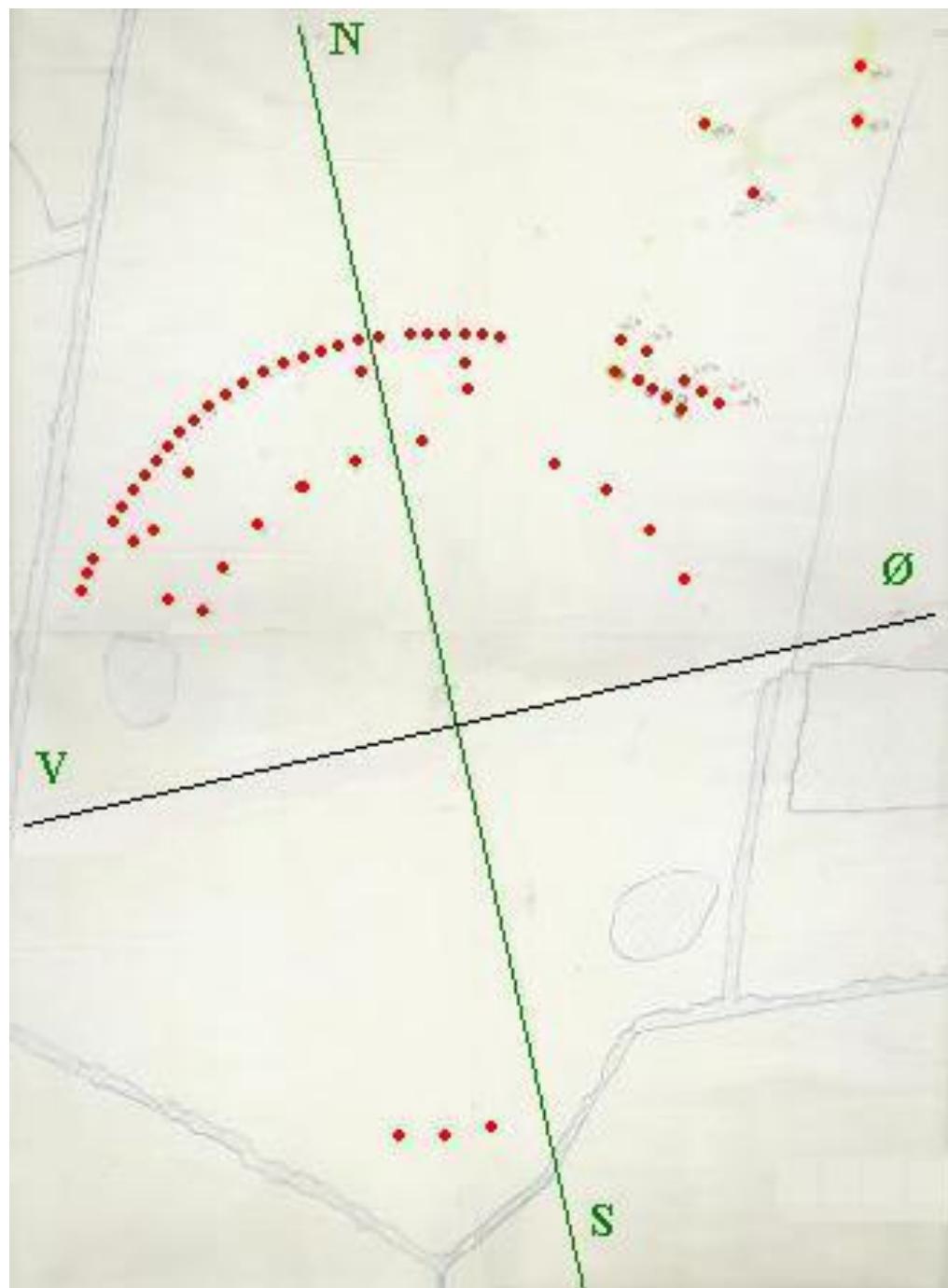
29. april 1965 fløj et fly fra Geodætisk Institut i København en rutinemæssig luftfotoflyvning hen over området øst for Kalundborg. Da man efterfølgende fremkaldte flyvningens fotos studerede en medarbejder over fotografierne nr. 140, 141 og 142. Det var som om en masse pletter lå i koncentriske cirkler omkring lokaliteten "Overdrevsbakken" 8 km øst for Kalundborg:



Fænomenet blev diskuteret blandt medarbejderne. En forklaring kunne være, at der lå noget fra oldtiden i jorden i disse cirkler.

Nogle år senere sendte instituttet et nyt fly op for at tage et farvefoto af samme område, og på farvefotoet kan man svagt se de samme pletter i cirkelformer plus enkelte flere.

Kombinerer man de to fotografier og fremhæver pletterne, får man dette mønster:



© Henning Fisker Langkjer

I mellemtiden havde arkæologen Thorkild Ramskou, inspektør ved Nationalmuseet været kaldt over til Geodætisk Institut tæt ved for at se på luftfotoene. Ramskou mente, der kunne være tale om resterne fra et forlængst nedbrudt stenalderanlæg.

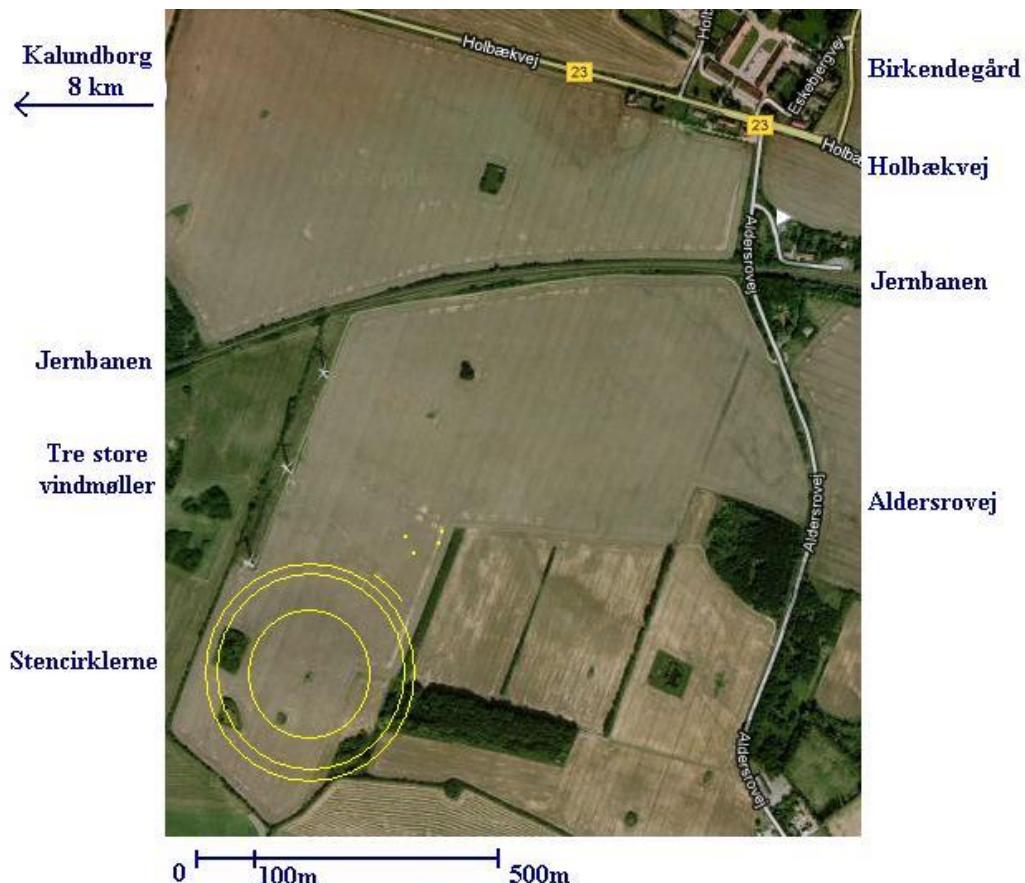
Ejeren af marken kunne oplyse, at han hvert år kørte flere tons sten væk fra stedet, men næste år kunne starte forfra igen. Vinterens frost havde skubbet lige så mange nye sten op.

Ramskou fosestrede den teori, at der var tale om foringer eller fundamenter til store sten, som nu var væk. Store opretstående sten satte stenalderfolkene nemlig på fundamenter af mindre sten, og det kunne være disse mindre sten, man nu kunne se sporene af.

"Sten, der ligger under pløjelaget, virker erfaringsmæssigt som en slags dræn. Falder der en regnbyge, vil den jord, der ligger over stenene, hurtigere tørre op end den pløjejord, der ligger direkte på den urørte undergrund, så det er at formode, at den flyver, der den 29.4 -65 kl. 10.37.30 optog billedet, er kommet på en dag, da overfladen var ved at tørre på en sådan måde, at de jorddækkede sten afslørede sig som lysere pletter mod den omgivende mørkere overflade, og det vil altså sige, at han lige har passeret i det rette øjeblik."

skriver Thorkild Ramskou senere i "Nationalmuseets arbejdsmark" 1970.

En arkæologisk udgravnning af to cirkeludsnit blev iværksat i september 1969. Desværre kom en gummiged, der skulle fjerne det øverste muldlag øjensynligt til at ødelægge en del af stenhullerne, men udgravningerne bekræftede ellers Ramskous teori: Der var tale om fundamenter til store opretstående sten, 2-300 stykker, formodentlig af vægte på 3-5 tons.



Det babyloniske verdensbillede

Det babyloniske rige blev samlet omkring år 2000 BC med udgangspunkt i det frugtbare land mellem floderne Eufrat og Tigris i det nuværende Irak.

Babyloniernes guder var de himmellegemer, som de kunne se bevæge sig: Solen, Månen, Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn.

De havde hver deres dag, og det er derfor ugen den dag i dag har syv dage. Man kan genkende det på: Sunday, Monday /Lundi, Mardi, Mercredi, Jeudi, Vendredi og Saturday. (De fem planeters navne er de romerske oversættelser og ikke de originale babyloniske). I den germanske og nordiske kultur er krigsguden Mars skiftet ud med Tir/Tyr, kærligheds-gudinden Venus med Freja, Jupiter med tordenguden Thor og i det nordiske/saxiske har Odin/Wodan overtaget Merkurs plads i Onsdag/Wednesday. Lørdag kommer af Løverdag og Søndag af Søgnedag, så disse navne stammer ikke fra Babyloniernes guder.

Både den franske og den russiske revolution forsøgte at erstatte 7-dages ugen med en 10-dages uge, men i begge tilfælde led planerne nederlag pga. for stor folkelig modstand.

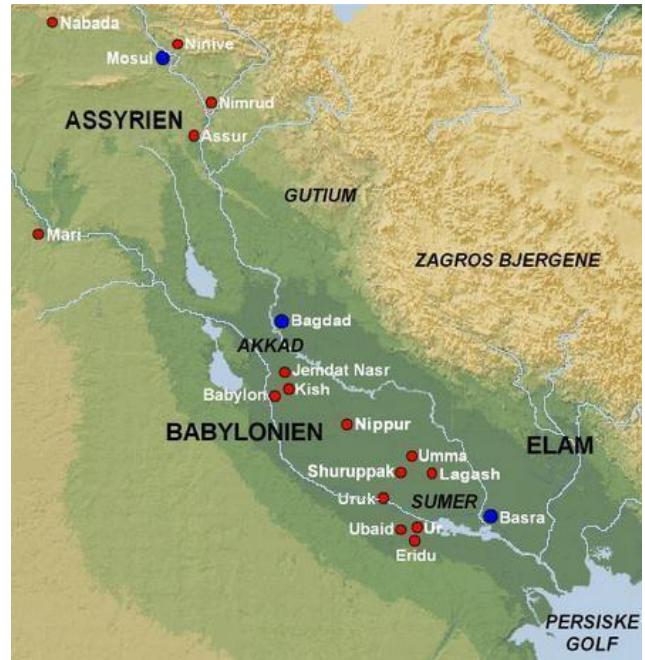
Opgave 1: Find ugedagenes navne på andre sprog, fx. tysk og italiensk og se om du kan spore dem tilbage til babyloniernes 7 guder.

Babylonierne mente, at gudernes indgriben styrede landets økonomi og udvikling. Deres religion kaldes astrologi. De syv guder bevægede sig rundt på himlen, hvorfra de kunne betragte begivenheder på jorden, forudsat de befandt sig over horisonten, og der ikke var skyer, der dækkede.

Himlen - set i forhold til horisonten - havde babylonierne til dette formål inddelt i 12 "huse" - som 12 appelsinskiver - startende med 1.hus under horisonten i øst, 2.hus længere nede under horisonten osv. og 6.hus under horisonten i vest. Husene 7-12 fortsatte så, blot over horisonten: 7.hus i vest, 9. og 10.hus i syd sluttende af med 12. hus i øst. En gud kunne altså se en begivenhed, hvis vedkommende befandt sig i husene 7-12, forudsat der ikke var skyer.

Guderne observerede og greb ind i samfundsudviklingen og specielt kongens gøren og laden, men interesserede sig ikke for de enkelte mennesker.

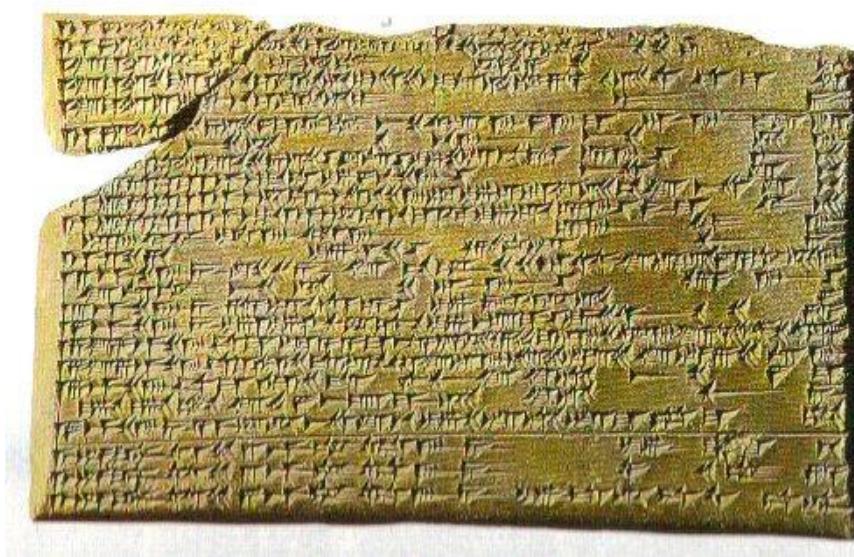
Den del af himlen i sig selv, som Solen, Månen og de fem planeter bevægede sig i, inddelte de i 12 stjernetegn. Af særlig betydning var det, hvis to guder var tæt på hinanden, når en



viktig begivenhed indtraf. Hvis de mødtes i husene 7-12 kunne de formodentlig begge se begivenheden, og ville utvivlsomt diskutere den med hinanden. Hvis andre guder var langt væk, kunne de ikke deltage i samtalens. Derfor havde "konjunktion" (møde) og "opposition" (modsat hinanden) stor betydning.

En særlig viktig begivenhed i den babyloniske religion var en ny konges fødsel: Hvilke guder havde set fødslen, hvem kunne diskutere begivenheden med hinanden og lægge planer sammen, og hvad ville disse planer evt. gå ud på.

Kongen var landets leder, og det babyloniske samfund havde derfor et stort behov for at kunne "se guderne over skulderen" i disses ageren overfor kongen og landet, og om muligt finde systematikker i gudernes handlingsmønstre. Til det formål havde man et særligt præsteskab, som observerede og noterede gudernes bevægelser, vejrets skiften, ufred, vandstanden i floderne, kornpriserne på markederne osv., og som forsøgte at finde systematikker i disse fænomener.



Selv om de babyloniske præster ikke havde nøjagtige instrumenter, gjorde deres mange hundrede års observationer af Solen og Månen, at de kunne konstruere nøjagtige tabeller, som blev brugt til at forudsige formørkelser. De fandt fx. den såkaldte "Saros-periode" på 6585.321 døgn - en periode hvorefter formørkelser gentager sig, blot ca. 120° forskudt.

De babyloniske tabeller er så nøjagtige, at hvis man fremskrev dem til i dag, ville de "fange" ca. 80% af måneformørkelserne.

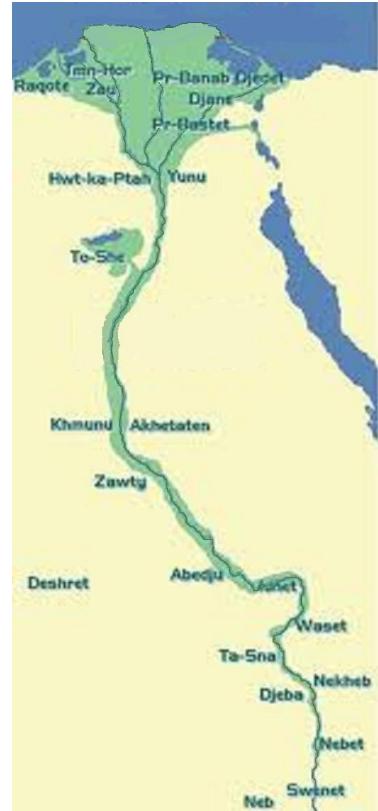
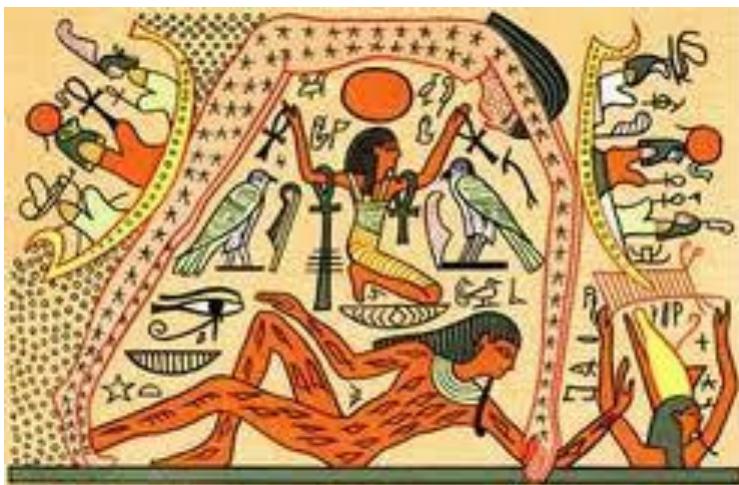
Babylonierne benyttede sig af et talsystem med grundtallet 60 (i dag bruger vi grundtallet 10). Det er fra babylonierne, at vi har tidsinddelingen af 1 time på 60 minutter, 1 minut på 60 sekunder osv. Ligeledes i vinkelmål: En cirkelomgang er 6 gange 60 grader, hver grad er 60 bueminutter og hvert bueminut er 60 buesekunder, som skrives hhv. °, ' og ". Således skrives koordinaterne for Marselisborg Gymnasium: 56°8'22" nordlig bredde, 10°12'3" østlig længde.

Det ægyptiske verdensbillede

Når man betragter verden omkring sig ser man umiddelbart Sol, Måne og planeter bevæge sig på en himmelhvælving, som er adskilt fra jorden under os af luften.

Dette udtrykte ægypterne symbolsk ved guder i deres verdensbillede tilbage fra før 2000 BC.

Himmelguden Nut bøjer sig hen over jordguden Geb og holdes oppe af luftguden Shu. Om morgenens fødes solguden Ra af Nuts skød, om dagen sejler den hen over himlen, og om aftenen sluges den af Nuts mund. Om natten sejler Ra - ofte i skikkelse af en ørn - tilbage med en båd gennem underverdenen, medens måneguden Thot kan tage over.



Der er mange gengivelser af dette.

På billedet til venstre ses, at jordguden Geb også omfatter Nilen med sine fisk.

Nilen spillede en vigtig rolle i det gamle Ægypten.

Det ægyptiske samfund var et veludviklet landbrugssamfund, som havde brug for at have styr på årstiderne og ikke mindst den årlige oversvømmelse af Nilen, som faldt i det vi kalder starten af august, når smeltevandet fra den Hvide Nils fjerne kilder i Etiopiens bjerge nåede frem.

For at holde styr på årets gang benyttede de bl.a. 36 stjernebilleder, "dekaner", som var jævnt fordelt i et bælte rundt langs himlens ækvator. I årets løb stod disse stjernebilleder, som hver svarede til en ægyptisk uge, på skift op lige før solopgang. Når et af disse stjernebilleder afløste det forrige, var der altså gået en ægyptisk uge, som var på 10 dage. Det ægyptiske år var således på 360 dage, mod det "rigtige" år (et "tropisk år") på 365 dage 5 timer og 49 minutter. Ægypterne havde derfor indskudt 5 "epagonale dage", dvs. 5 ekstra dage udenfor kalenderen, hvor man ikke skulle betale fx. husleje og skat. Alligevel gik det ægyptiske år "skævt" således at nytåret langsomt bevægede sig hele vejen tilbage gennem alle årets årstider på ca. 1500 år.

Denne "fejl" blev rette af Julius Cæsar med indførelsen af den julianske kalender år 46 BC, hvor der blev dekreteret et skudår på 366 dage hvert fjerde år.

Uanset årstiden blev både dagen og natten delt i 12 timer. Om dagen kunne man holde nogenlunde styr på klokkeslettet med en "gnomon", en lodretstående pind, der kastede skygge, og om natten kunne man holde øje med hvilken dekan, der var ved at stå op i øst.

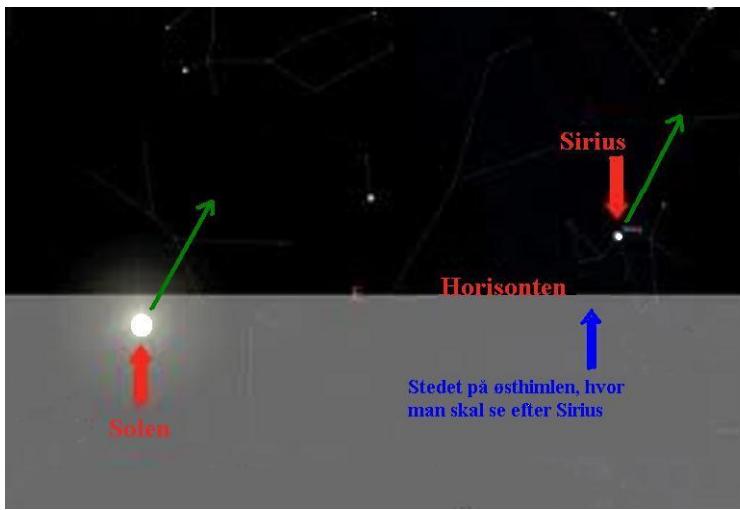
Man havde endvidere såkaldte vandure, dvs. kar, hvor vandet løb ud gennem et lille hul for neden. Hvis vanduret blev fyldt præcist til tiden, kunne man følge vandspejlets dalen og aflæse tiden på markeringer på indersiden af beholderen.



Ægypterne havde øjensynligt ikke det samme behov for "at se guderne over skulderen", som babylonerne havde. Dette mener man skyldes, at lederen af samfundet - faraoen - selv var en gud, og man således havde en af dem blandt sig.

Hele den ægyptiske landbrugsproduktion foregik i den næsten 1000 km lange Nildal og i deltaet mod nord. Den årlige niloversvømmelse betød derfor meget for samfundet: Man skulle have sine markredskaber og sig selv væk fra markerne ved Nilens bredder inden oversvømmelsen, og når vandet havde trukket sig tilbage igen, skulle jorden - nu med et lag af friske, frugtbare aflejringer - genfordeles.

Man mener denne årlige genfordeling af landområder var en af hovedårsagerne til, at ægypterne udviklede en embedsmandsstand af dygtige matematikere.



Som nævnt var det meget vigtigt at kunne forudsige tidspunktet for den årlige Niloversvømmelse. Derfor holdt præsteskabet øje med den klare stjerne Sirius's "heliaciske opgang", dvs. den første gang Sirius blev synlig i morgenrøden på østhimlen efter Solen havde passeret den mod venstre. Denne opgang faldt en uge inden oversvømmelsen.

Man har fundet tunneller i pyramider, der peger mod det sted

på østhimlen, hvor Sirius står op. Disse tunneller kan have været benyttet til at give et særligt tidligt varsel af oversvømmelsen. Med hjælp af et rør rettet mod en stjerne kan man nemlig lukke forstyrrende lys ude og se stjernen i en lysere morgenskumring end ellers. Man kan i principippet have forudset oversvømmelsen indtil to uger i forvejen på denne måde. Men dette er blot en teori.

Opgave 2: Undersøg disse fænomener nøjere, og prøv at forklare dem for hinanden.

Det græske verdensbillede

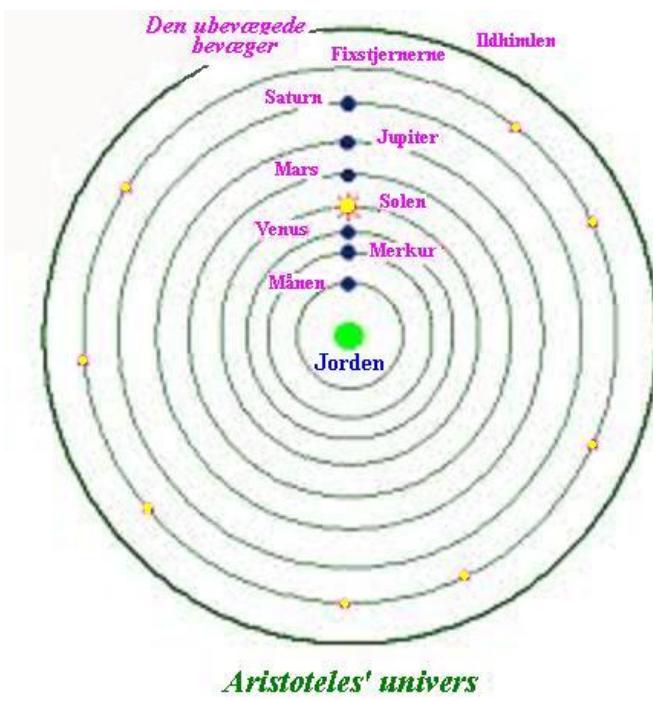
Omkring 500 BC begyndte de græske naturfilosoffer at forkaste de mytologiske verdensopfattelser til fordel for mere rationelle forklaringer på universets opbygning.



Det skyldtes bl.a., at de ikke nøjedes med at forestille sig jorden, himlen og de forskellige naturfænomener, som de umiddelbart fremstod for deres sanser. Tværtimod forsøgte de at trænge ind bag fænomenerne og finde deres årsager ved at sammensætte mange forskellige iagttagelser og kombinere dem med matematiske og geometriske ideer. F.eks. antog de, at jorden måtte have kugleform. De forestillede sig, at jorden var midt i universet, og at solen, månen og planeterne bevægede sig rundt om jorden med jævn hastighed i bestemte baner.

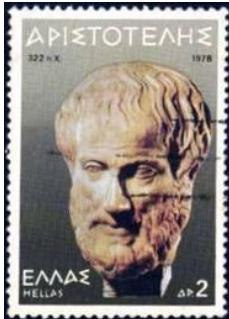
De ioniske naturfilosoffer, **Thales**, **Anaximander** og **Anaximenes** (ca. 600-550 BC), alle fra handelsbyen Milet, var de første til at forsøge at besvare spørgsmålene om hvordan verden var skabt og hvad der fik ting til at bevæge sig og forandre sig - uden at inddrage guder i forklaringerne. **Leukipp**, også fra Milet og elev af Zenon, forklarede hundrede år senere, at alt stof kan deles indtil de mindste dele, som er udelelige, og derfor blev kaldt "atomos" (udelelig). Leukipps teorier blev senere uddybet af hans elev, Demokrit.

Demokrit (460-370 BC) definerede physis ("om naturen") som det, der eksisterer uafhængigt af og udenfor mennesket, og det er her fra, vi har navnet "fysik".



En fremtrædende teori var, at alt bestod af de fire elementer ild, luft, vand og jord, en teori der kan have fremkommet ved at betragte fx træ, der brændte, og derved "blev opløst i sine elementer": Ilden, røgen (luft), vand (der trængte ud af porerne) og asken (jord) der blev tilbage.

Aristoteles (384-322 BC) fra Makedonien, lærer for den senere konge Alexander den Store, anses for at være den største af de græske filosoffer. Han antog, at verden var evig (og ikke skabt af nogen gud), jorden var i centrum, og rundt om befinner kugleformede sfærer sig, som holder planeterne på plads.



Den yderste sfære bærer fixstjerneerne. Herover befinder en ildhimmel sig med "Den ubevægede bevæger", der får sfærerne til at dreje sig.

Planeterne foretager rene og evige bevægelser, dvs. jævne cirkelbevægelser. Den himmelske verden er lavet af det himmelske element, æteren, mens det jordiske er lavet af de fire jordiske elementer, ild, luft, vand og jord.

Til de jordiske elementer er knyttet to slags bevægelser: Naturlig bevægelse, som indtræffer, når et element er fjernet fra sit naturlige sted, som er: jord nederst (universets centrum), vand over, luft over igen og ild øverst. Den naturlige bevægelse er lodret og rettet tilbage mod det naturlige sted. I modsætning hertil findes der påtvungen bevægelse, som kræver en kraft eller påvirkning udefra. Hvis denne påvirkning stopper, dør den påtvungne bevægelse gradvist ud.

Som det ses, mente Aristoteles, at der måtte være en sidste årsag til himlens bevægelse, en ubevæget bevæger, en form for gud. Men kun her, og ikke som den fx kristne gud, der skaber og handler og kan give ind i verdens gang på utallige måder.



Det græske verdensbillede blev modifieret af filosoffen **Ptolemaios** (90-168 AC), så det bedre forklarede de planetbevægelser, man kan se på himlen. Planeterne bevæger sig nemlig ikke jævnt i cirkelbevægelser set fra jorden, men ujævnt og somme tider stopper de tilsyneladende op og begynder at bevæge sig baglæns for igen at stoppe op og fortsætte den normale bevægelse. Dette fænomen kaldes for **retrograd** bevægelse og betyder at ydre planeter ses, at udføre sløjfebevægelser i forhold til fixstjerneerne.



Billedet viser Mars position på himlen over en periode på 5 mdr.

Vi ved i dag at dette skyldes, at Jorden bevæger sig om Solen, og fx. de ydre planeter ser ud til at "gå baglæns", når Jorden overhaler dem indenom.

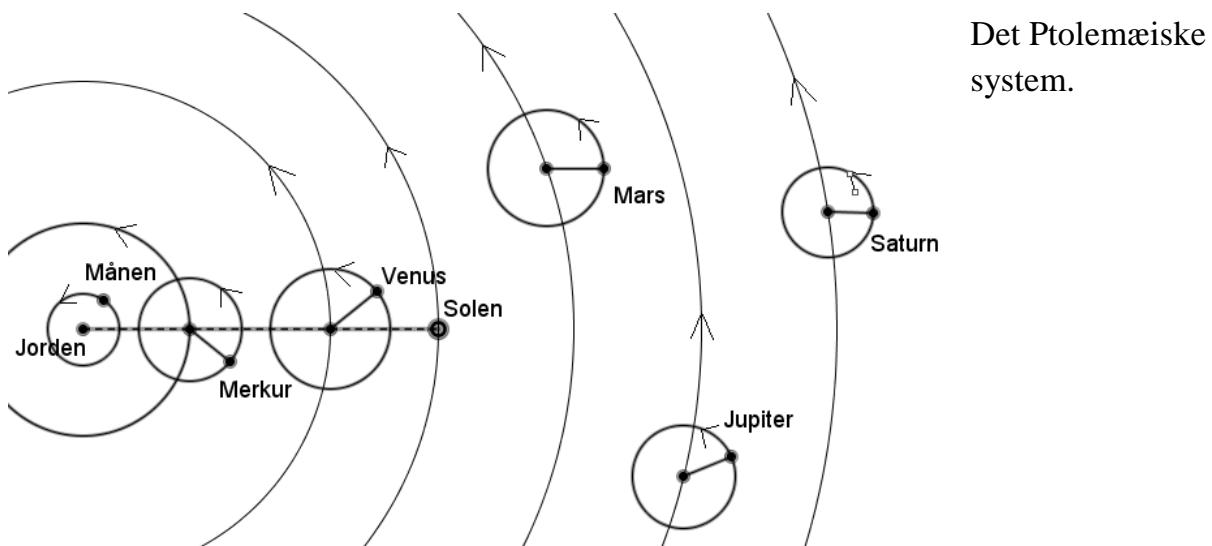
Den normale bevægelse mod øst i forhold til stjerneerne kunne forklares med Aristoteles æteriske kugleskaller, men ikke den retrograde bevægelse. I Ptolemaios modeller er den retrograde bevægelse forklaret ved at lade planeten sidde på en mindre sfære (en såkaldt epicykel), indlejret i den større aristoteliske kugleskal (deferenten). Epicyklen roterer jævnt om sit centrum, således at planetens bevægelse er fremadrettet fjernest Jorden og



bagudrettet (retrograd) nærmest jorden. Modellen forklarer hermed også hvorfor Mars er klærest under den retrograde bevægelse, i og med den er nærmere jorden.

Også de indre planeter udfører retrograd bevægelse, men deres normale bevægelse synes at være bundet til Solen. Forklaringen på dette er naturligvis at de dels roterer om solen i en mindre bane end jorden og dermed altid ses i nærheden af Solen og dels bevæger sig i én retning når de er bag solen og i den modsatte retning når de er foran Solen, men det vidste Ptolemaios jo ikke.

I Ptolemaios model for de indre planeter er epicyklen således placeret på forbindelseslinjen mellem Jorden og Solen.



Sådan blev principippet om himmellegemernes "evige og uforanderlige" dvs. jævne cirkelbevægelser, opretholdt.

Aristoteles' verdensbillede med Ptolemaios' forbedring blev i halvanden tusinde år den katolske kirkes officielle verdensbillede, idet den katolske gud blev set som "den ubevægede bevæger", foruden han havde skabt verden og greb ind i alskens andre begivenheder i den.

Det moderne verdensbilledes gennembrud startede som en lang og sej kamp mod kirken.

Giordano Bruno blev brændt på kætterbålet i Rom år 1600 for at have fremført Copernicus' verdensbillede (se senere), og **Galileo Galilei** kom for inkvisitionen i 1633, hvor han måtte afskrive sine tanker offentligt, og måtte leve resten af sit liv i husarrest.

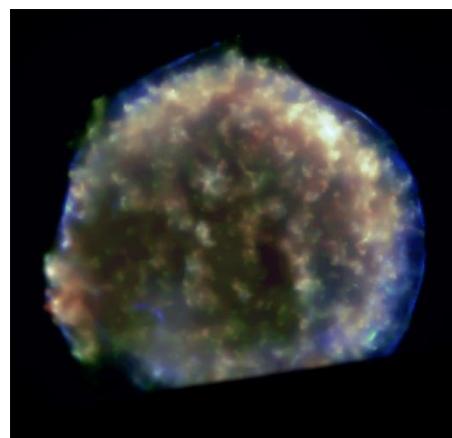
Galilei for inkvisitionen



Det naturvidenskabelige verdensbilledes gennembrud

Røntgenfoto af de nutidige rester af Tycho Brahes "Stella Nova", optaget af NASAs Chandra X-ray Observatory. Røntgenstråler med relativ lav energi er omsat til rød farve, middel energi til grøn og røntgenstråler med stor energi til blå farve. Den flade underkant af billedet skyldes, at området var på kanten af detektorens "synsfelt".

Diameteren af nova-resten er ca. 20 lysår.



Man kan godt sige det hele startede, da den danske astronom **Tycho Brahe** en november-aften i 1572 så en ny stærkt lysende stjerne i konstellationen Cassiopeia. Han fulgte hvordan



den i løbet af de næste uger blev svagere igen. Ved nøjagtige målinger kunne han fastslå, at den befandt sig langt uden for Jordens atmosfære, hvilket var i modstrid med dogmet om, at stjernehimlen var evig og uforanderlig. Han offentliggjorde sine observationer året efter i bogen "De Stella Nova", og siden da er et sådant udbrud, som faktisk er en stjernes død, blevet

kaldt en "nova" eller et "supernovaudbrud".

Dette var indledningen på en karriere som hofastronom, først i København og senere i Prag, hvor Tycho Brahe som den første i historien fastholdt, at **sandheden måtte afgøres af observationer og ikke af mere eller mindre religiøse spekulationer**. Livet ud opfandt han stadig mere nøjagtige instrumenter hvormed han udførte omhyggelige observationer, ofte 10-20 gange nøjagtigere end det havde været muligt tidligere.

Han observerede en komet i 1577 og kunne konstatere, at den befandt sig længere væk end Månen, og måtte have bevæget sig igennem både Saturns og Jupiters krystalsfærer i sin bane. Hermed kom han ikke blot på kant med Aristoteles' og kirkens verdensbillede, men gjorde også op med den forestilling, at en pestepidemi opstår, når skiddenskab fordærver luften nedefra, mens en komet fordærver luften oppefra.

Allerede i 1543 havde den polske astronom **Copernicus** postuleret det såkaldte **heliocentriske verdensbillede**, hvor Solen er i centrum, og planeterne - blandt dem Jorden - kredser udenom. Dette mødte så stor modstand i kirken, at man i forordet måtte forsikre, at der blot var tale om en model, der gjorde de matematiske udregninger simplere.



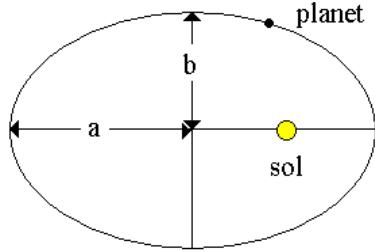


Det naturvidenskabelige princip om at lade omhyggelige observationer været dommer over hvad der var sandt blev videreført af Tycho Brahes assistent, **Johannes Kepler**, og ikke mindst fornævnte Galileo Galilei.

På basis af Tychos enorme observationsmateriale (han døde 1601) kunne Kepler i 1609 offentliggøre sit værk "Astronomia Nova", hvori han formulerer det vi i dag kender som Keplers 3 love: Den første lov siger, at planeterne bevæger sig i ellipser med Solen i det ene af de to brændpunkter.

1.lov

Planeterne bevæger sig i ellipser med Solen i det ene brændpunkt.

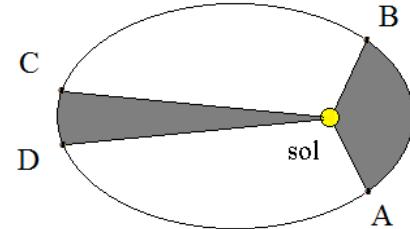


a: den halve storakse.

b: den halve lilleakse.

2.lov

Forbindelseslinjen mellem Solen og planeten, overstryger lige store arealer i lige store tidsrum.



Hvis tidsrummet fra A til B er lige så stort som fra C til D, da er de markerede arealer lige store.

3.lov

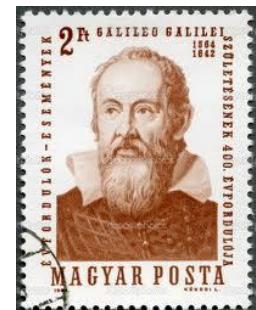
Kvadratet på planetens omløbstid (T) er proportionalt med planetens middelfafstand (a) til Solen i tredje potens.

$$T^2 = k \cdot a^3$$

Middelfafstanden har samme værdi som længden af den halve storakse.

Galileo Galilei er af mange blevet karakteriseret som det andet årtusindes største fysiker. Han var den første til at gå skridtet videre, og **udføre systematiske eksperimenter**.

Tysk-hollænderen Hans Lippershey kombinerede i 1608 to brillelinser og opfandt derved kikkerten. Man kunne købe linser på markederne på den tid, men de var ofte ikke af god kvalitet. Galilei hørte om dette året efter, og skaffede sig straks en række linser, udvalgt med stor omhu.



Det lykkedes ham at konstruere en kikkert, hvormed han bl.a. kunne se, at Jupiter havde måner, at Saturn havde en ring, at der var bjerge på Månen og solpletter på Solen (ret aldrig en kikkert mod Solen - Galilei mistede næsten sit syn!).

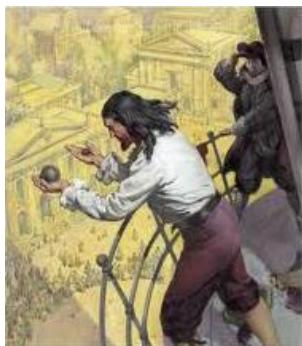
Han demonstrerede kikkerten for dogen (byens leder) og senatet i Venedig, som i begejstring gav ham en livslang lærerstilling og fordoblede hans løn. Han fik dog

efterhånden mange magtfulde fjender i kirken, og blev senere, som tidligere nævnt, anklaget for kætteri af inkvisitionen.

Blandt hans berømteste eksperimenter er forsøgene, der ledte frem til hans faldlove: "Faldvejen er proportional med faldtiden i anden" og "Hastigheden vokser proportionalt

med faldtiden".

Han fik den ide, at lave et "langsamt fald" ved at lade en kugle rulle ned ad en faldrende med klokke på, som han kunne flytte, så de klingede med lige store tidsmellemrum. Han skulle angiveligt fra toppen af det skæve tårn i Pisa have vist, at tunge og lette sten faldt lige hurtigt til jorden, et resultat der var i modsætning til Aristoteles', som siger, at større kraft giver større hastighed.



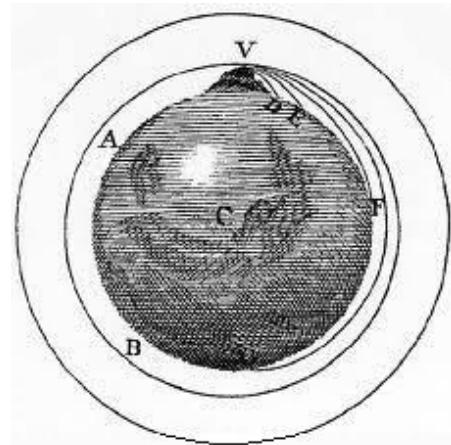
Andre karakteriserer **Isaac Newton** som den største fysiker. Han viste, at de samme fysiske love gjaldt på jorden og i himmelrummet: Den kraft, gravitationskraften, der her på jorden trak et æble nedad, så det kunne udføre en del af en parabel-bevægelse, var den samme, som den kraft der holdt Månen i sin cirkelbevægelse om Jorden. Forskellen var blot at afstanden til Jordens centrum ikke var den samme.

Billedet til højre er en figur i hans bog "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" fra 1687. Det viser hvordan man på jorden - i principippet, og hvis man ser bort fra luftmodstand - kan give en genstand på V en vandret begyndelseshastighed, så den vil bevæge sig langs banen VD. Får den en større hastighed, vil den følge VE, og endnu større VF. Får den en meget stor vandret hastighed i V kan genstanden gå hele vejen rundt om Jorden i banen VBAV, netop som Månen bevæger sig i en cirkelbevægelse, blot længere væk fra Jorden.

I "Principia" formulerer Newton sine berømte love, som er grundlaget for fysikkens bevægelseslære i dag. Her gør han bl.a. op med den tidligere forestilling om, at enhver bevægelse kræver en årsag, en kraft.

Newton arbejdede endvidere meget med optik, og han opdagede at hvidt lys består af en blanding af regnbuens farver.

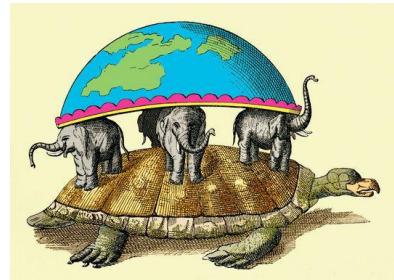
Han gav en række revolutionerende bidrag til matematikken, bl.a. opfandt han differentialregningen.





Det er kendetegnende, at skønt mange af pionererne bag det naturvidenskabelige verdensbilledes gennembrud var religiøse, var de det sjældent i deres naturvidenskab. Historien fortæller, at da Napoleon var blevet præsenteret for **Pierre-Simon Laplaces** ("den franske Newtons") tykke værk om hele Universets opbygning, spurgte han forfatteren, hvorfor denne ikke havde nævnt Skaberens af Universet i bogen, hvortil Laplace svarede: "Je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse-la!" - "Jeg har ikke haft behov for denne hypotese!".

Men ude i befolkningen lever tidligere tiders verdensbilleder videre. Stephen Hawking fortæller om en astronom, der holdt offentlig forelæsning om solsystemet, og om hvordan Jorden kredsede om Solen. Bagefter kom en ældre dame op og sagde, at det var noget forfærdeligt sludder, for i virkeligheden står jorden på ryggen af en stor skildpadde. Da astronomen spurgte hvad skildpadden så stod på, svarede hun: "De tror de er klog, men skildpadden står på andre skildpadder - hele vejen ned!"



Den naturvidenskabelige metode

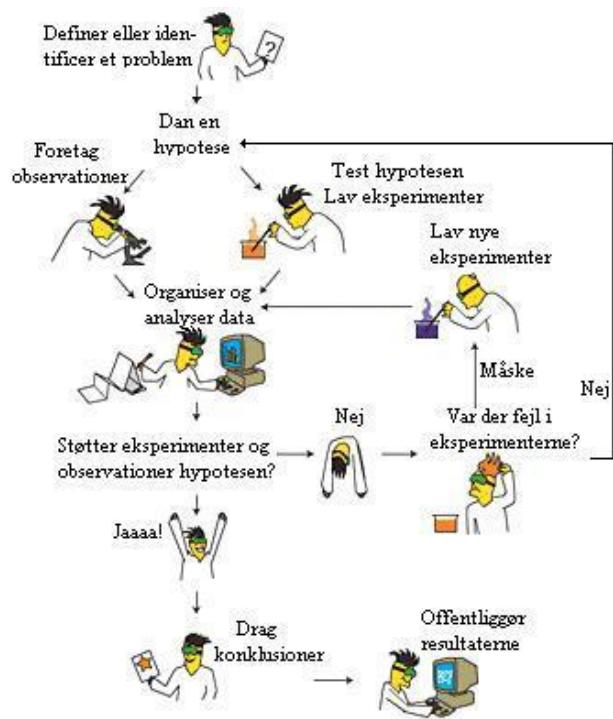
Det moderne verdensbilledes udvikling har været en lang kamp mod mytologiske og religiøse forestillinger og overtro, et opgør der gør den observerbare virkelighed til dommeren over hvad, der er sandt.

Naturvidenskab bygger på et samspil mellem empiri og teori. På baggrund af tidligere iagttagelser og undersøgelser opstilles en hypotese. Denne gøres til genstand for afprøvning via eksperimenter og omhyggelige observationer.

Strider observationerne med hypotesens forudsigelser, er den modbevist og må modificeres eller begrænses til ikke at gælde så bredt. I modsat fald er hypotesen ikke verificeret i streng forstand, men blot empirisk underbygget.

Man siger at der foreligger evidens.

Endvidere skal de opnåede resultater kunne reproduceres af andre. Det er et ufravigeligt krav i naturvidenskaben. En fremtrædende kvindelig astronom offentliggjorde i 60-erne en række spektralanalyser af lyset fra nogle stjerner, der havde vist sig at have et besynderligt stort indhold af grundstoffet Kalium. Mærkeligt nok kunne ingen af hendes kolleger reproducere hendes resultater, og man fik mistanke om, at noget var galt. Spektralanalyser af stjerner foregik dengang ved at man foran sin kikkert havde monteret et prisme, der kunne splitte lyset op i et spektrum. Disse spektre



sværtede så en fotografisk plade i bagenden af kikkerten, som typisk blev eksponeret i 15 minutter. I dette tidsrum havde astronomen lige tid til at gå udenfor kuplen og få sig en cigaret. Det var spor af cigarettrøgen, der havde givet indtryk af Kaliumindhold i stjerneerne. Herefter måtte hun resten af sin karriere bære rundt på øgenavnet "Madame Potassium".

Efter lang tid uden en falsifikation kan en hypotese ophøjes til en teori, lov eller regel, men man må være klar over, at den stadig ikke er bevist, og at den i principippet kan blive modbevist en dag.



Det moderne naturvidenskabelige verdensbillede

Bohr og Einstein diskuterer



Vort moderne verdensbillede er vores helhedsopfattelse af den verden, vi lever i, baseret på de seneste århundreders naturvidenskabelige erkendelser. Mange af disse erkendelser (som fx. Darwins evolutionslære) vil blive behandlet i andre fag. Vi vil her koncentrere os om fysikkens bidrag til det moderne naturvidenskabelige verdensbillede.

Den klassiske mekanik

Klassisk mekanik er beskrivelsen af bevægelser og vekselvirkninger af legemer i tilfælde af små hastigheder (i forhold til lysets hastighed) og store energier (i forhold til energier i atomet), fx bevægelser af planeter i vores solsystem. Den kaldes også Newtonsk mekanik efter Isaac Newton som skabte grundlaget for teorien.

Kvantemekanikken

Kvantemekanik (eller **kvantefysik**) er den gren af fysikken som beskæftiger sig med stofs egenskaber på atomart niveau og endnu mindre skala. På dette niveau har alle partikler også en bølge-natur.

En grundsten i kvantemekanikken er "Heisenbergs ubestemthedrelationer".

En af Heisenbergs ubestemthedrelationer udtaler sig om sted og bevægelsesmængde (dvs. masse gange hastighed). Hvis det om en partikel vides at den befinder sig et bestemt sted, er partiklens bevægelsesmængde til gengæld fuldstændig ubestemt. Hvis omvendt partiklens bevægelsesmængde er meget nøjagtigt bestemt (f.eks. fordi partiklen ligger stille), er dens position tilsvarende ubestemt.

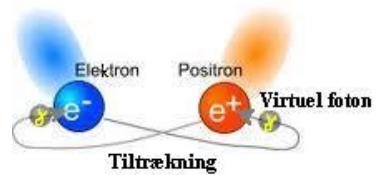
En anden ubestemthedrelation udtaler sig om energi og tid. Man kan have et radioaktivt henfald, som foregår meget hurtigt, dvs. med lille ubestemhed i tiden. Til gengæld vil der være stor ubestemhed på energien, dvs. man kan ikke måle en bestemt nøjagtig energi.

Omvendt, har man fx alfa-henfald, hvor alfa-partiklerne kommer med præcist den samme

energi sker dette på bekostning af, at man ikke kan forudsige hvornår det enkelte henfald sker.

Denne ubestemthedsrelation betyder også, at universet ud af intet kan "låne" en partikel i et meget kort tidsrum, en såkaldt **virtuel partikel**. Da partiklens "position" i tiden kun kan ligge indenfor det ganske korte tidsrum den eksisterer, er usikkerheden omkring energien tilsvarende stor – tilpas stor til, at der kan være energi nok til at skabe en partikel.

For eksempel er de udvekslingspartikler, gluoner, der formidler den stærke kernekraft, (se afsnittet om standard modellen,) virtuelle partikler: De eksisterer lige akkurat længe nok til at vandre fra én nukleon (proton eller neutron) i atomkernen til den næste, og skaber derved bindingen imellem nukleonerne. Ligeledes står virtuelle fotoner for elektriske kræfter mellem ladninger.



Relativitetsteorien

Det hele startede med, at fysikerne A. A. Michelson og E. W. Morley i 1887 ville prøve at måle forskellen i lysets hastighed alt efter om man befandt sig et sted på jorden med større fart i forhold til stjernerne eller et sted på jorden med mindre fart i forhold til stjernerne.

Det viste sig, at der ingen forskel var. Konklusionen var derfor, at lyset har samme hastighed, nemlig 300.000 km pr. sekund uanset hvem der mäter den. Hvis du altså stormer fremad med halvdelen af lysets hastighed (150.000 km pr. sekund) og lyser fremad med en lygte, vil du se, at dit lys bevæger sig fremad med 300.000 km pr. sekund.

Men en person, der står stille ved siden af og ser på oprinnnet, vil godt nok se dig fare afsted med 150.000 km pr. sekund, og lyse fremad, men hun vil ikke se dit lys bevæge sig fremad med 450.000 km pr. sekund - de to hastigheder lagt sammen. Hun vil kun se lyset bevæge sig med 300.000 km pr. sekund.

For alle væsener i hele universet er lysets hastighed (i vakuum) 300.000 km pr. sekund, uanset hvordan de selv farer rundt med hastigheder i forhold til hinanden. Der er ikke noget "absolut", alle er lige gode. Alle vil måle samme hastighed for lys.

Dette, indså Einstein, har en række besynderlige konsekvenser, som han skrev om i sin specielle relativitetsteori i 1905, bl.a. den såkaldte "tidsforlængelse":

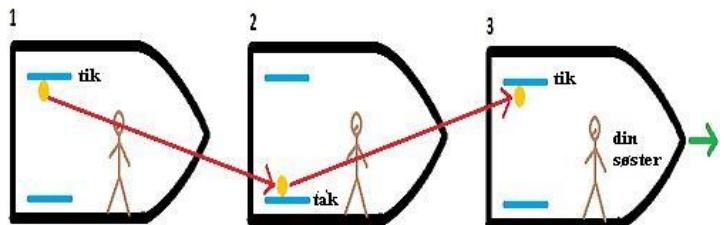
For at forstå den, forestiller vi os for en stund, at lysets hastighed fx. kun er 3 meter pr. sekund. Og selvfølgelig den samme for alle, uanset hvordan man bevæger sig.

Nu lader vi din søster rejse af sted i en rumkapsel med god fart på, mens du, broderen står stille på jorden og ser din søster flyve forbi.

I sin rumkapsel har din søster indrettet et smart ur, der virker ved, at der hænger et spejl i loftet 3 meter over et spejl i gulvet.

En lyspartikel flyver op og ned mellem de to spejle.

Hver gang lyspartiklen rammer spejlet i loftet får en mekanisme det til at sige "tik", og hver gang den rammer spejlet i gulvet får en mekanisme det til at sige "tak". Da lysets hastighed er 3 meter pr. sekund, og da der er 3 meter mellem spejlene, vil din søster kunne igagtnage at uret går: tik - tak - tik - tak ... med et sekund mellem hvert tik og tak. Uret går som det skal.



Men men: Du, hendes bror, står og betragter rumkapslen med uret, medens det flyver forbi.

Du kan se, at lyspartiklen skal bevæge sig fremad oveni op-ned-bevægelsen, altså ad en skrå linje, som er længere end 3 meter. Men da lysets hastighed for dig er 3 meter pr. sekund, vil du uvægerligt se, at der går længere end et sekund mellem hvert tik og tak. Du vil se din søsters ur gå for langsomt.

Dette er Einsteins tidsforlængelse, som er eftervist i praksis mange gange.

Bl.a. er der nogle partikler, som dannes af solvinden, når den rammer 100 km oppe i jordens øverste atmosfære. Disse partikler flyver næsten med lysets hastighed, og kan sagtens måles nede på jorden, når de efter knap 1 tusindedels sekund rammer os hernede. Problemet er bare, at når vi laver de samme partikler hernede i vores laboratorier på jorden henfalder de - går i stykker - efter 1 millionedels sekund. Partiklerne lavet af solvinden skulle altså slet ikke kunne nå ned til os - de skulle være gået i stykker længe før. Den eneste forklaring er, at tiden går langommere for partiklerne, der er blevet dannet af solvinden, fordi de bevæger sig med næsten lysets hastighed.

Ud af tidsforlængelsen opstår det såkaldte "tvillinge-paradoks": Hvis din søster og du var tvillinger, kunne hun fx med din tidsregning have været på rumrejse siden I begge var 10 år, og hun kunne have rejst i 5 år efter dit ur her nede på jorden.

Når hun så kom hjem, ville du være 15 år, men hun ville måske kun være blevet 4 år ældre, og altså være kun 14 år gammel, når I mødtes igen.

Standard Modellen

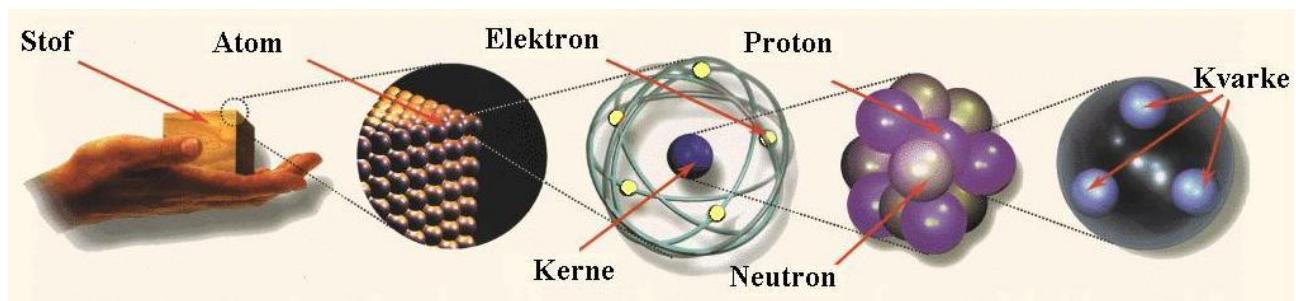
Et kig ned til Large Hadron Collideren, LHC i CERN



Den nuværende fysiske beskrivelse af universet bygger på det, vi kalder "Standard Modellen", som vil blive beskrevet i det følgende.

Alt stof består af **atomer** af en størrelse på ca. 10^{-10} m eller 0,1nm (nanometer).

Et atom består af en **kerne** af en størrelse på ca. 10^{-15} - 10^{-14} m eller 1-10 fm (femtometer) med en **elektronsky** udenom. Selv om kernen ikke fylder mere i forhold til elektronskyen, end en ært fylder i forhold til en fodboldbane, så besidder kernen næsten al atomets vægt.



Elektronskyen består af negativt ladede elektroner, medens kernen består positivt ladede **protoner** og neutrale **neutroner**, der begge vejer ca. 2000 gange så meget som en elektron.

Atomet holdes sammen af den elektrisk tiltrækkende kraft mellem de negative elektroner og den positive kerne, medens kernen holdes sammen af den meget kortrækkende "**stærke kernekraft**" eller "**farvekraften**" mellem protoner og neutroner.

Både protonen og neutronen består af tre **kvarke** eller **kvarker**, der også holdes sammen af de stærke kernekrafter. Men hvor en atomkerne kan splittes ad i løse protoner og neutroner, kan protonerne og neutronerne selv ikke splittes ad i løse kvarke. Der kan nemlig ikke eksistere frie kvarke. Det er på en måde som hvis man prøver at splitte et elastikstykke ad, for at få to ender uafhængige af hinanden. Det ender blot med, at man står med to elastikstykker, der hver har to ender. Den stærke kernekraft mellem to kvarke bliver nemlig ikke mindre, hvis kvarkene fjernes lidt fra hinanden, den er faktisk ca. 10000 Newton uanset afstanden, svarende til tyngdekraften på 1 ton. Det vil derfor kræve så meget energi at prøve

at trække dem fra hinanden, at energien bliver til nye kvarke, som danner "hele partikler" sammen med de gamle kvarke. Når tre kvarke er samlet i en "hel" kernepartikel, får denne "neutral farve" udadtil. Derfor er den stærke kernekraft mellem protoner og neutroner meget svagere end mellem kvarke indbyrdes, helt på samme måde som de elektriske kræfter mellem neutrale atomer er meget svagere end indenfor atomet mellem elektronerne og kernen.

Det med "farver" og "farvekraft" har ikke noget med rigtige farver at gøre. Man siger at kvarkene har "farver", fordi der er tre af dem i en kernepartikel, som så kan være farve-neutral udadtil, når den ene kvark er rød, den anden grøn og den tredie blå, de tre grundfarver, som man kan lave hvidt lys af.

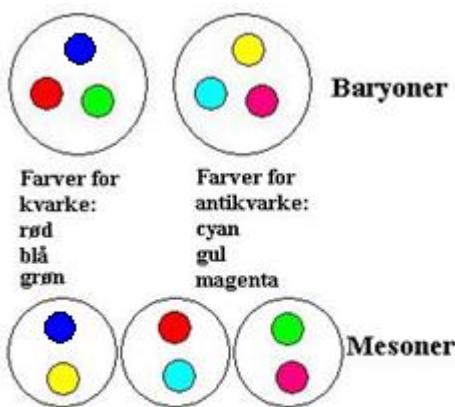
En **proton** (**p**) består af 2 up-kvarke (**u**) og 1 down-kvark (**d**), hvorimod en **neutron** (**n**) består af 1 up-kvark og 2 down-kvarke.

Der findes en mindste elektrisk ladning som kan eksistere frit, en elementarladning, som blot kaldes **e**. **Elektronen** (**e**) er negativt ladet med ladningen **-e**.

up-kvarken har ladningen $+\frac{2}{3} e$, medens **down-kvarken** har ladningen $-\frac{1}{3} e$. Hermed

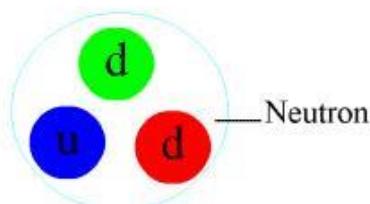
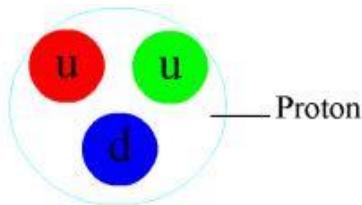
bliver **neutronen** netop neutral udadtil, medens **protonen** får ladningen $+e$ udadtil, så den fx kan danne et neutralt brintatom med en elektron i en sky udenom sig.

Alle elementarparkikler har såkaldte **antiparkikler**, parkikler der vejer det samme, men har modsat ladning og også modsat farve, hvis der er tale om kvarker. En antiparkikel angives med den tilsvarende parkikels symbol med en streg over. En antiproton skrives fx \bar{p} .

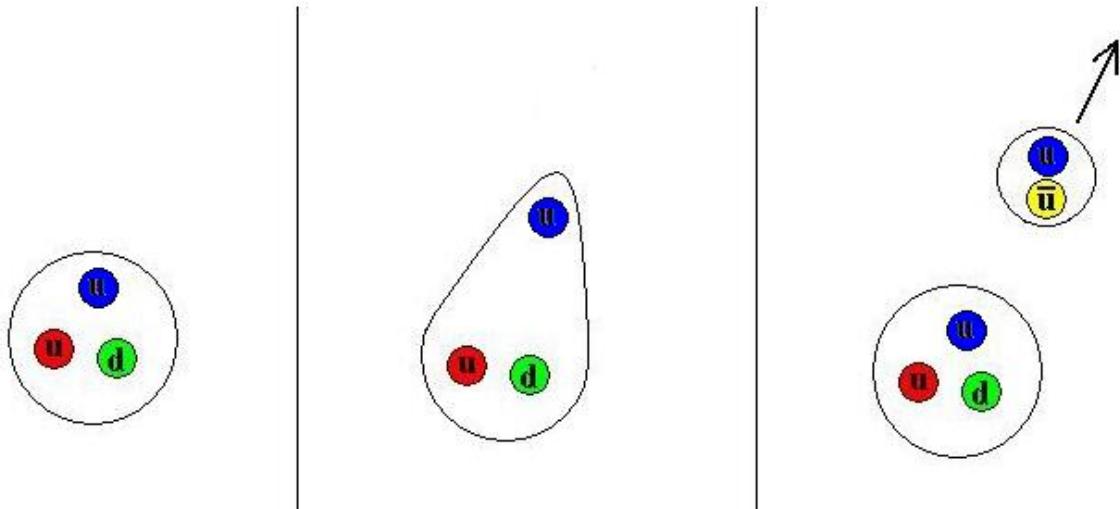


I fri tilstand findes der to slags partikler, der vejer noget i hvile: **Leptoner** (græsk leptos = let), som fx. elektroner, og **hadroner** (græsk hadros = tung). Der er to slags hadroner: **Baryoner**, der består af tre kvarke (eller antikvarke) og **mesoner**, der består af en kvarke og en antikvarke.

Det er et krav, at en partikel skal fremstå farve-neutral udadtil. På den måde er farverne for antikvarke komplementærfarverne for kvarke, og en mesons kvarke-antikvarke par har hinandens komplementærfarver: Enten blå-gul, rød-cyan eller grøn-magenta.



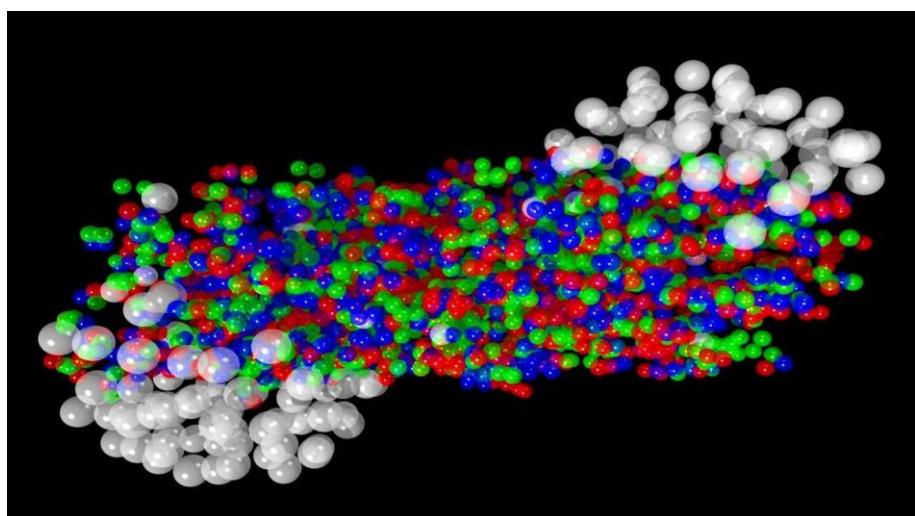
Fænomenet, at man ikke kan trække en kvark ud af en proton eller en neutron, fordi energien man lægger i sit forsøg blot bliver til nye partikler - i overensstemmelse med Einsteins ligning $E = m \cdot c^2$, som vi vender tilbage til senere - kan vi illustrere :



Den blå up-kvark trækkes udad, og det resulterer i dannelse af et up-antiup par (blå og gul).

I Large Hadron Collideren, LHC i CERN får man tunge partikler som hadroner til at kollidere med meget høj energi. Man kan herved danne et såkaldt kvark-plasma, hvor mange kvarke i et meget kort øjeblik bevæger sig mere eller mindre frit i forhold til hinanden, og efter det korte øjeblik samler sig i nye - og måske eksotiske - partikler, som man så kan studere, når de farer væk fra kollisionen.

En simulation af kollisionen mellem to bly-kerner, kort efter de har ramt hinanden:



De hvide kugler er protoner og neutroner, som "ikke er gået i stykker", mens de små farvede kugler er de flere tusinde kvarke og antikvarke i plasmaet.

STOF PARTIKLER	LEPTONER			KVARKE		
	1. FAMILIE	2. FAMILIE	3. FAMILIE	1. FAMILIE	2. FAMILIE	3. FAMILIE
Allle almindelige partikler tilhører denne gruppe	Elektron Ansvarlig for elektrisk strøm og for kemiske reaktioner. Har ladning -e	e	Uden elektrisk ladning og masse uden masse. Milliarder flyver gennem dig hvert sekund	Elektron neutrino Udendørs	ν_e	Up Har en elektrisk ladning på +2/3e. Protoner indeholder to og neutroner en up kvarke
Disse partikler eksisterede ikke efter Big Bang. Nu findes de kun i den kosmiske stråling og i acceleratører	Mujon En tung slægning til elektronen. Kan kun leve i 2 milliondele sekunder	μ	Myon neutrino Skaber sammen med myonen når nogen tungere partikler henfaldet	Myon neutrino ν_μ	Charm En tung slægning til up. Opdaget i 1974	Strange En tung slægning til down. Opdaget i 1974
	Tau Endnu tungere og elastrent ustabil	τ	Tau neutrino Blev som den sidste partikel i standard modellen fundet i år 2000	Tau neutrino ν_τ	Top Tungeste kvarke med en masse som et guld-atom.	Bottom Endnu tungere slægning til down. Blev som den sidste kvarke fundet i 1997
KRAFT PARTIKLER		FOTONER			GRAVITONER	
Disse partikler overfører de fire grundlæggende naturkrafter. Gravitionen er dog ikke blevet fundet endnu	Gluoner Bævere af den sterke kraft mellem kvarke	W^+ , W^- og Z^0 Bærer den svage kraft	Fotoner Lys består af fotoner. De bærer den elektromagnetiske kraft	Påvirker: kvarke og leptoner	Påvirker: Overfører gravitationen	Påvirker: Alle partikler ned masse
						Når vi oplever ting vejer noget, skyldes det gravitationskraften
						Nogle radioactive henfald stydes den svage kernekraft
						Den enorme energi i kerneaktioner er resultat af den sterke kraft

Oversigt over standard modellen og dens elementarpartikler. De første teorier blev fremsat allerede i 1960-erne, men udviklingen af modellen tog for alvor fart med opdagelsen af kvarke i 1970-erne. Alle partiklerne blev efterhånden fundet, men tilbage stod problemet om hvad der gav nogle af partiklerne en masse, mens andre var masseløse. Dette problem blev allerede løst ved at bl.a. Peter Higgs i 1960-erne ved hjælp af et såkaldt Higgs-felt med den tilhørende formidlende partikel, Higgs-partiklen (igesom et elektromagnetisk felt formidles af fotonen). Higgs-partiklen H blev fundet på CERN i 2012.

Praktisk talt alt stof i Universet består af partikler fra "**1. familie**": elektronen, elektron-neutrinoen, up-kvarken og down-kvarken. "**2. og 3. familie**": myonen, myon-neutrinoen, charm- og strange-kvarken, hhv. tau, tau-neutrinoen, top- og bottom-kvarken eksisterede stort set kun i ganske kort tid efter Big Bang, men kan i dag stadigvæk opstå i energirig kosmisk stråling, og kan produceres i acceleratører.

Det er et faktum, at hvis man analyserer alle former for vekselvirkninger og kræfter i Universet: tyngdekræfter, elektriske kræfter, magnetiske kræfter, gmidningskræfter, elastiske kræfter, stødkræfter, overfladekræfter, radioaktive kræfter (kernekræfter) osv. vil man finde, at der underst inde kun er tale om fire forskellige **grundlæggende naturkræfter**:

Gravitationskræfter, elektromagnetiske kræfter, stærke kernekræfter og svage kernekræfter.

Disse fire kræfter overføres ved hjælp af fire kraft-partikler, såkaldte **bosoner**:

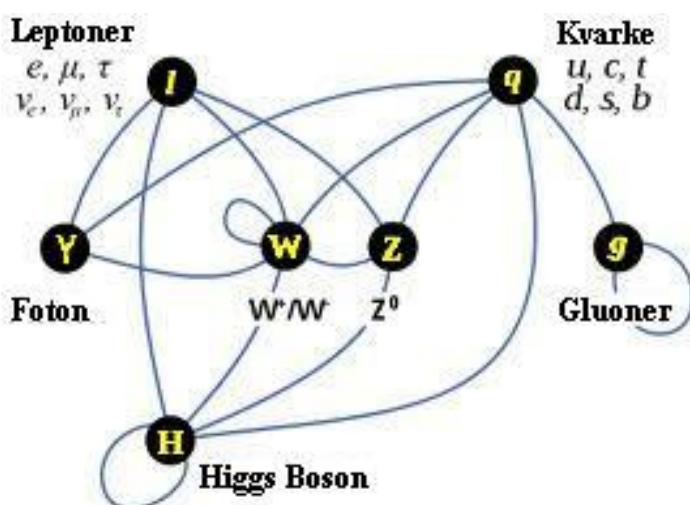
Elektromagnetiske kræfter overføres af **fotoner**

Stærke kernekræfter (farvekræfter) af **gluoner**

Svage kernekræfter af **W^+ , W^- og Z^0** partiklerne, som modsat de fornævnte har masse.

Gravitationskræfter af **gravitoner**. Disse er dog ikke blevet påvist endnu.

Endelig findes den såkaldte **Higgs-boson**, som danner et felt, der giver stofpartiklerne og **W^- - og Z -partiklerne** deres masse.

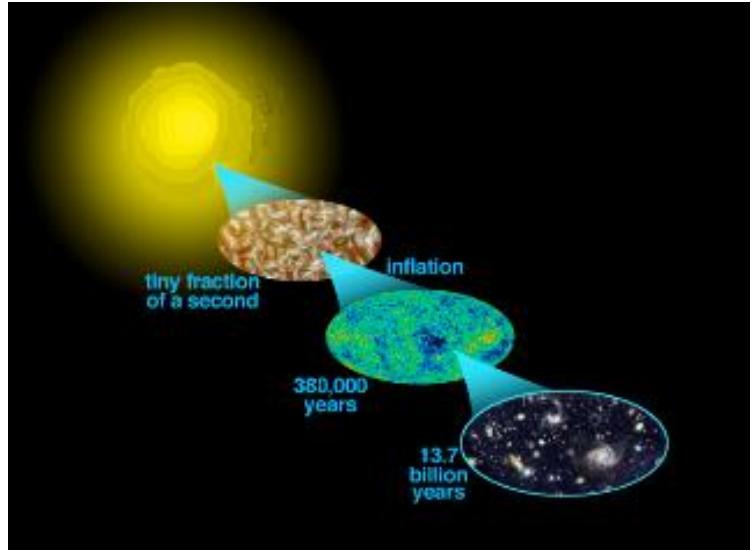


Med fundet af Higgs-partiklen i 2012 er langt de fleste videnskabsmænd overbeviste om denne teoris - Standard Modellens - rigtighed. Gravitonen er som nævnt endnu ikke fundet, men om den findes eller ej spiller ikke en rolle for Standard Modellen.

Figuren til venstre illustrerer hvilke partikler, der vekselvirker med hvilke andre i modellen.

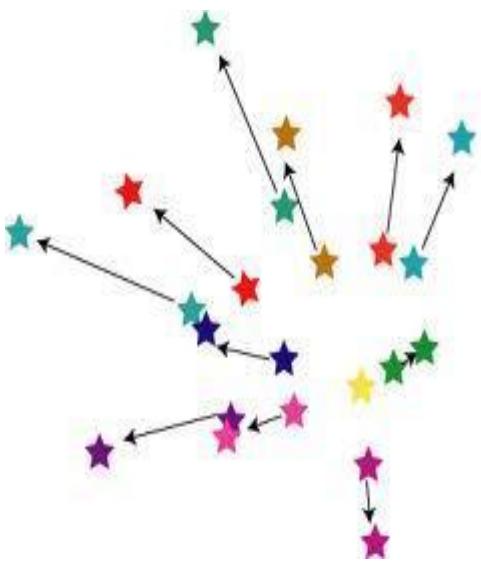
Big Bang og universets udvidelse

3 vigtige tider: En lille brøkdel af et sekund efter Big Bang, 380.000 år efter og i dag, 13,8 milliarder år efter Big Bang.



En vigtig del af det moderne naturvidenskabelige verdensbillede er teorien om Big Bang, som der er mange - og af hinanden uafhængige - fakta, der understøtter.

I 1917 opdagede astronomen Vesto Slipher, at lyset fra fjerne galakser var "rødforskudt", dvs. bølgelængderne var trukket længere, end de burde være. Dette blev i første omgang tolket som, at galakserne selv var på vej væk fra os, medens de udsendte bølgelængderne og den målte rødforskydning måtte således skyldtes den såkaldte **Doppler effekt**.



Det er det samme der sker med lyden fra en ambulance eller et tog, der fjerner sig fra os.

1929 offentliggjorde den amerikanske astronom Edwin Hubble en række målinger, der viste, at de fjerne galakser fjerner sig væk fra os, på en sådan måde, at deres nuværende hastighed (v) bort fra os er proportional med deres nuværende afstand (D) til os.

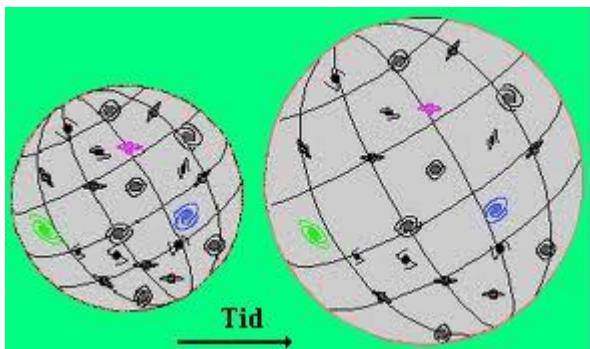
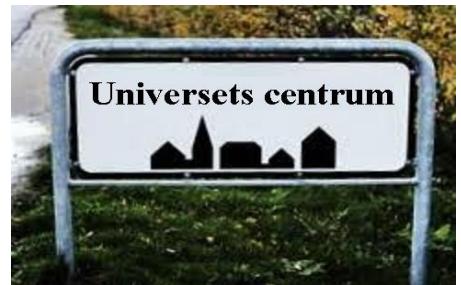
$$v = H_0 \cdot D$$

hvor proportionalitetskonstanten H_0 i dag er bestemt til ca. 20,78 (km/s)/Mly.

Mly står for mega-lysår dvs. det er den afstand lyset tilbagelægger på en million år, hvilket bliver til temmelig meget når lysets fart er 300000 km/s.

Dette er den såkaldte **Hubble-lov**, som er illustreret på figuren ovenfor, hvor den gule stjerne skal symbolisere os og vores galakse. De andre stjerner angiver andre galakser og længden af pilene viser at de fjerne galakser har større fart væk fra os.

Man må imidlertid ikke tro, at vi er centrum for denne bevægelse. Der gælder nemlig **"Det kosmologiske princip"**: Betragtet på større skala er universet ensartet med en jævn fordeling af galakser overalt, og der kan ikke siges, at være noget centrum. Nogle formulerer det sådan, at vi alle er i centrum for Universet.



sig væk fra hinanden på ballonoverfladen når denne pustes op, tolker man i dag galaksernes tilsyneladende bevægelse som at det er rummet der udvider sig og dermed øger afstanden mellem galakserne. At rummet udvider sig betyder, at lys der bevæger sig gennem rummet ”strækkes” så bølgelængderne øges og dette giver anledning til den rødforskydning som Hubble iagttag. Man kalder fænomenet for **kosmologisk rødforskydning**.

En anden måde at illustrere, at alle galakser kan ”være lige gode” som centrum for universets udvidelse er, at lave overhead-plancher af to ens billeder af et himmeludsnit, det ene skal blot være trukket lidt større end det andet (figurerne til højre).

Lægges de to plancher ovenpå hinanden, kan man lade forskellige stjerner eller galakser på skift ligge det samme sted, og betragte hvordan alle andre objekter ser ud til at bevæge sig væk herfra.

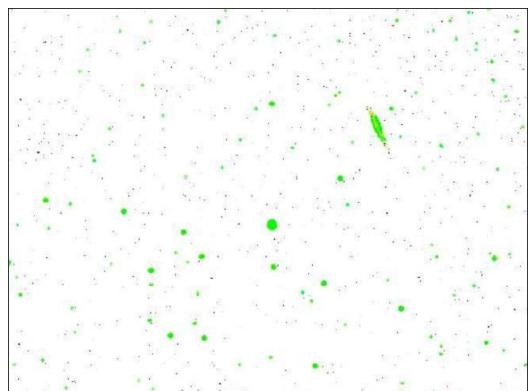
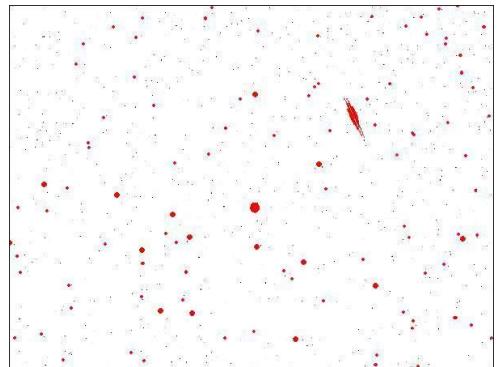
En konsekvens af, at universet udvider sig på denne måde er, at alle objekter i universet en gang i fortiden må have befundet sig i samme punkt. Man kan beregne dette tidspunkt, hvor hele universet var mindre end et knappenålshoved - for herfra at udvide sig til det vi ser i dag - til at være for 13,8 milliarder år siden.

Big Bang skete altså for 13,8 milliarder år siden.

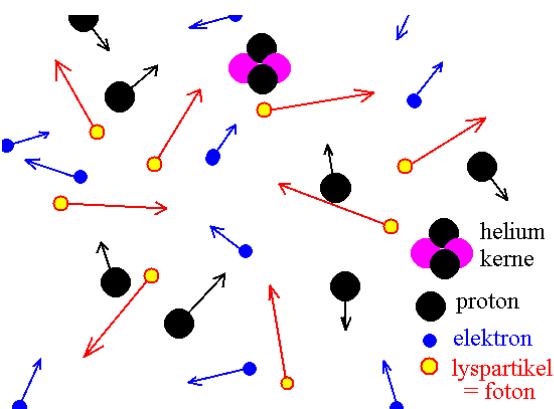
Man kan illustrere det manglende centrum ved at forestille sig universets galakser placeret på overfladen af en ballon eller bold, der bliver pumpet større:

Man kan ikke udpege en bestemt af galakserne som værende mere i centrum end de andre galakser.

På samme måde som galakserne bevæger



I takt med at universet har udvidet sig er det også afkølet. Før år 380.000 efter Big Bang var universet så varmt, dvs. elektroner og positive ioner (heliumkerner og protoner) var så energirige, at de ikke kunne hænge sammen.



Skulle det ske, at et neutralt atom dannede sig, ville det straks blive sparket i stykker af de energirige nabo-ioner og elektroner. Denne tilstand for et stof, hvor elektroner og ioner ikke hænger sammen kaldes "plasma", og de energirige elektroner støder hele tiden til lyspartikler. Plasma finder man nu om dage fx inde i Solen og i et lyn.

Universet var en lysende plasma-suppe frem til et tidspunkt ca. 380.000 år efter Big Bang, hvor temperaturen - og dermed energien af partiklerne - faldt så meget, at neutrale atomer kunne dannes uden at blive sparket i stykker igen. Hermed blev universet gennemsigtigt.

Vi må på dette tidspunkt af fortællingen huske på, at når vi ser ting langt væk, ser vi ting, der skete i fortiden. Lyset bevæger sig med 300.000 km/s. Da fx Månen befinner sig 380.000 km væk, tager det lyset derfra lidt over 1 sekund at nå ned til os. Derfor ser vi på noget, der skete for godt et sekund siden, når vi ser på Månen. På samme måde er lyset godt 8 minutter om at nå ned til os fra Solen, og vi ser derfor noget, der skete for godt 8 minutter siden, når vi ser på Solen.

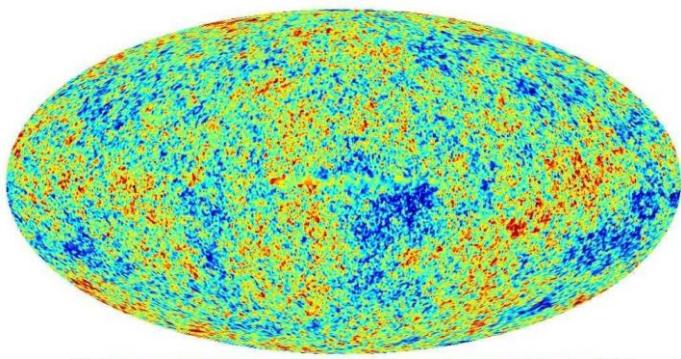
Hvis vi forestiller os, at vi år 380.000 efter Big Bang stod på det sted, der 13,8 milliarder år senere er blevet til vores del af universet, ville vi altså se det blive gennemsigtigt lige her, hvor vi står, men endnu ikke være blevet gennemsigtigt, altså stadigvæk være lysende, når vi ser langt væk. Vi vil se en lysmur, der lyser på os fra alle sider, mens den fjerner sig.

Det er endnu et faktum, der understøtter Big Bang teorien, at vi faktisk stadig kan se denne lysmur i dag. Men fordi universet har udvidet sig godt 1000 gange siden dengang 380.000 år efter Big Bang, er lyset blevet til mikrobølger, idet bølgelængderne er blevet trukket godt 1000 gange så lange som de var, da de blev udsendt.

Disse mikrobølger, der rammer os fra alle sider af universet, kaldes **den kosmiske baggrundsstråling**.

Den kosmiske baggrundsstråling blev første gang målt af de amerikanske fysikere A. Penzias og R. Wilson i 1965 (til højre), da de var på jagt efter radiokilder i Mælkevejen, og fik det, de først troede var irriterende fejlsignaler alle steder fra. Efter års arbejde med at fjerne fejlkilder, og bl.a. rense modtagerantennen for duelort, fik de af kolleger henledt deres opmærksomhed på, at der faktisk var teorier om, at en kosmisk baggrundsstråling skulle findes, og at det nok var den, de havde fundet.





meget opsatte på at finde disse små forskelle i detaljer, da de viser de små ujævnheder, der var i universet 380.000 år efter Big Bang, og som er blevet til store ujævnheder i dag.

Hvis man tilslutter en UHF-antenne til et gammelt TV apparat, og finder et sted uden kanaler, er den støj man modtager faktisk overvejende den kosmiske baggrundsstråling.

På dette tidspunkt menes alle fire grundlæggende naturkrafter at have været forenet i en super-kraft i et univers på mindre end 10^{-34} m, altså

Herefter køledes og udvides universet, og gravitationskraften udskildte sig fra de tre andre kræfter.

Da der var gået 10^{-36} sekund udskilte den stærke kernekraft sig fra de tre tilbageværende enhedskræfter. På dette tidspunkt blev den første del af strålingen til kvarke i overensstemmelse med Einsteins ligning, $E = m \cdot c^2$ hvor E er stråle-energi, m er massen af de dannede partikler og c er lysets hastighed. Energien var stadig så høj, at den stærke kernekraft ikke kunne holde protoner og neutroner sammen, men vi fik dannet de første kvarke/antikvarke.

Udskillelsen af den stærke kernekraft satte gang i en faseovergang (som når vand fryser til is), den såkaldte "inflations periode", hvorunder universet på 10^{-32} sekunder voksede fra at have været på størrelse med en proton til at være på størrelse med en grapefrugt. Denne voldsomme udvidelse skete faktisk meget hurtigere end lysets hastighed, og herved skabtes nogle små ujævheder, som vi kan se meget større i universet i dag.

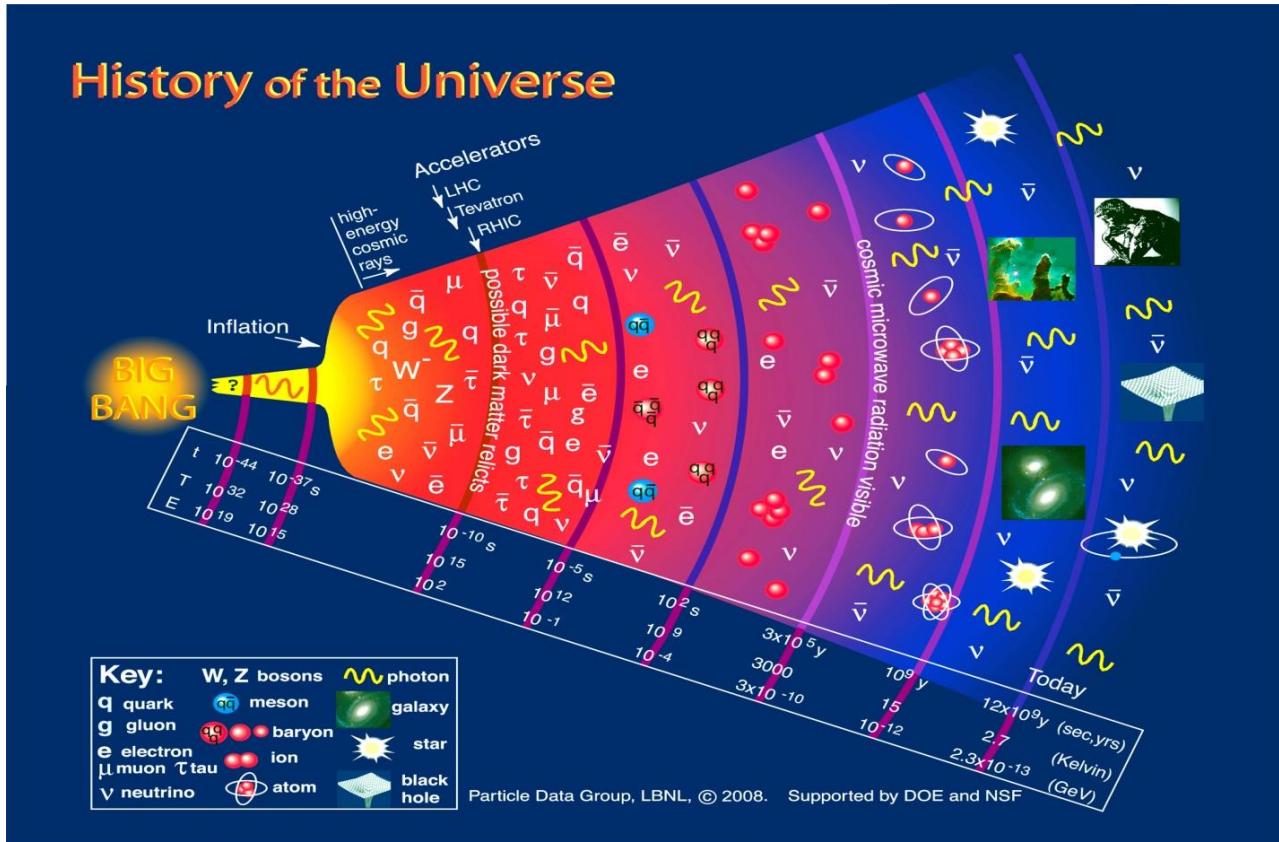
Da udskillelsen af den stærke kernekraft var ovre, var faseovergangen tilendebragt, og universets udvidelse kom ned på "normal hastighed", som vi stadig ser den i dag. Universet bestod nu af en yderst energirig kvark-gluon plasma.

10^{-12} sekunder efter Big Bang adskiltes den svage kernekraft fra den elektromagnetiske kraft, og fra da af havde vi de fire grundlæggende kræfter, som vi stadig har i dag.

Billedet til venstre viser en moderne kortlægning af den kosmiske baggrundsstråling optaget af WMAP satellitten. Farveforskellene illustrerer de meget små temperaturforskelle, man kan måle i strålingen. De er her på billedet meget overdrevne. I virkeligheden er forskellene kun på ca 1/10000 af temperaturen, men man har været

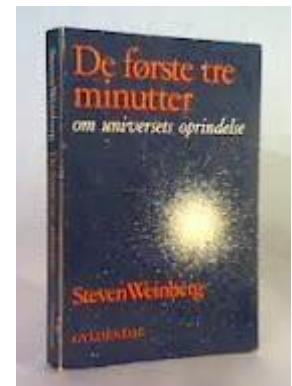
, da de viser de små ujævheder, der har levet til store ujævheder i dag.

Fremme ved ca. 10^{-6} sekunder efter Big Bang var universet udvidet og afkølet så meget, at kvarke kunne begynde at finde sammen i protoner og neutroner uden straks at blive sparket fra hinanden igen. På dette tidspunkt dannedes alle de protoner og neutroner, som vi stadig har i dag i universet. Men de havde så meget energi, at de ikke kunne finde sammen og holdes sammen i atomkerner.

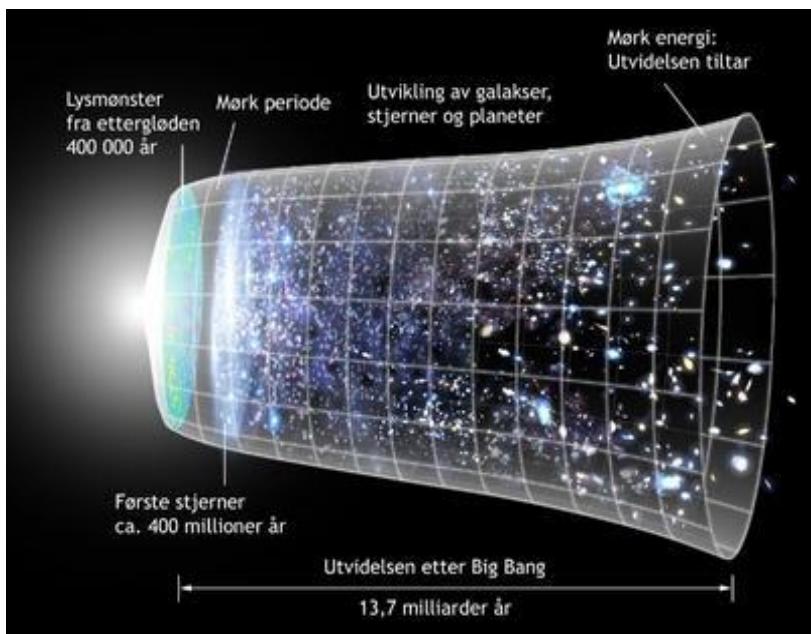


3 minutter efter Big Bang var det imidlertid blevet så koldt, at de kunne. Fysikeren Steven Weinberg redegør i sin berømte bog "De første 3 minutter" fra 1977 for hvorledes dannelsen af kernepartiklerne skete, herunder for den fordeling mellem brint-, helium- og beryllium-kerner, der måtte opstå. Denne fordeling mellem brint, helium og beryllium er præcis den, som man finder i universet i dag, når man tager hensyn til de fusionsprocesser, der i mellemtiden har fundet sted i stjernerne. Dette er endnu et stærkt indicium for Big Bang.

Det næste vigtige tidspunkt i universets historie var som tidligere nævnt 380.000 år efter Big Bang, hvor det vi i dag ser som den kosmiske baggrundsstråling, blev dannet.



Der indtrådte en mørk periode i universet efter nogle millioner år, på det tidspunkt, hvor bølgelængderne fra lyset fra "lysmuren" var blevet trukket så lange, at der ikke længere var tale om synligt lys, og frem til ca. 400 millioner år efter Big Bang, hvor brints skyer under påvirkning af gravitationskraften havde samlet sig så meget, at de første stjerner opstod.



Herefter udvidede og udviklede universet sig videre til det vi har i dag.

Nyere undersøgelser har vist, at udvidelsen faktisk sker hurtigere og hurtigere, lidt ligesom hvis man sidder på en flad karrusel: jo længere ude man sidder, jo større kraft presser en udad.

Man taler om "mørk energi" som ansvarlig for dette, men hvad denne mørke energi skulle bestå af, er fortsat temmelig uklart.

Det har fra visse religiøse kredse været fremført, at Big Bang skulle være et bevis på en guds eksistens - for må der ikke have været nogen, der fik det til at ske?

Dette er imidlertid ikke tilfældet. De nyeste astronomiske beregninger peger entydigt på, at der ikke er brug for nogen "skaber". Der er ikke sket et brud på nogen energibevarelsessætning, idet den samlede energi/masse i universet faktisk ser ud til at ende op i et nul. Og det giver ikke mening at tale om "tiden før Big Bang", da tiden sammen med rummet faktisk opstod i Big Bang.

At vort univers på den måde kunne opstå af intethed, rejser imidlertid spørgsmålet, om så ikke også andre universer har kunnet opstå, universer som vi aldrig kan komme i kontakt med. Sådanne ideer kaldes "Multivers-teorier", men der er her tale om ren spekulation.





Et interessant tankeeksperiment opstår, hvis man antager, at der er uendeligt mange andre universer. Der er nemlig kun et endeligt antal partikler, med et endeligt antal mulige tilstande i vort univers, som derfor kun kan se ud på et endeligt antal måder.

Er der uendeligt mange universer, må der blandt dem være nogle, der ligner vores, ja faktisk nogle af dem helt identisk med vores, og heriblandt også nogle, med samme fremtid fx det næste år som vores.....

Jorden og solsystemet

Året efter den franske revolution i 1789 bad den nye nationalforsamling Det franske Videnskabsakademi om at udarbejde et nyt system af måleenheder til afløsning for det gamle virvar af hundredvis af forskellige enheder i landet.

Man blev enige om at indføre "meteren", som skulle være 1/10.000.000 del af afstanden mellem Nordpolen og Ækvator, den såkaldte jordkvadrant. Man var dog ikke helt sikre på hvor stor denne var.

Astronomerne Delambre og Mechain blev sendt ud for at løse problemet, og de udmalte i årene 1791 - 1798 afstanden fra Dunkerque til Barcelona. Ud fra forskellen i solhøjderne disse to steder, kunne de se hvor stor en brøkdel af jordkvadranten, de havde målt, og dermed kunne de fastlægge den nyligt vedtagne "meter" med stor nøjagtighed. Meteren blev indført i Danmark i 1907.

Kilogrammet blev dengang fastlagt ved, at det skulle være massen af 1 kubikdecimeter (Liter) vand.

Som følge af definitionen på en meter, er Jordens omkreds 40.000 km.



Solsystemet og dets dannelse



Ca. 9 milliarder år efter Big Bang begyndte en stor gassky, der mest bestod af universets urstoffer brint og helium, men også af tungere stoffer som kulstof, ilt, silicium, jern etc., som var blevet slynget ud fra en supernovaekspllosion i nærheden, at trække sig sammen på grund af tyngdekræfterne.

I løbet af millioner af år blev der dannet en såkaldt **protoplanetarisk skive**, forløberen til vort solsystem.

Som sammentrækningen blev kraftigere, begyndte skiven at rotere mere. Stoffet klumpede sig sammen og blev varmere, især inde i midten.

Over 99 % af den protoplanetariske skives stof samlede sig efterhånden i centrum. Herved blev det så varmt, at brint-kernerne (dvs. protonerne) fik så stor fart på, at de kunne nå ind på berøringsafstand af hinanden, til trods for, at de elektrisk frastødte hinanden. Herved kunne de korrækkende stærke farvekræfter få kernerne til at fusionere til helium-kerner.

Den samlede proces foregår over flere trin, og undervejs reagerer den svage kernekraft også ved at en proton bliver til en neutron + en positron + en neutrino.

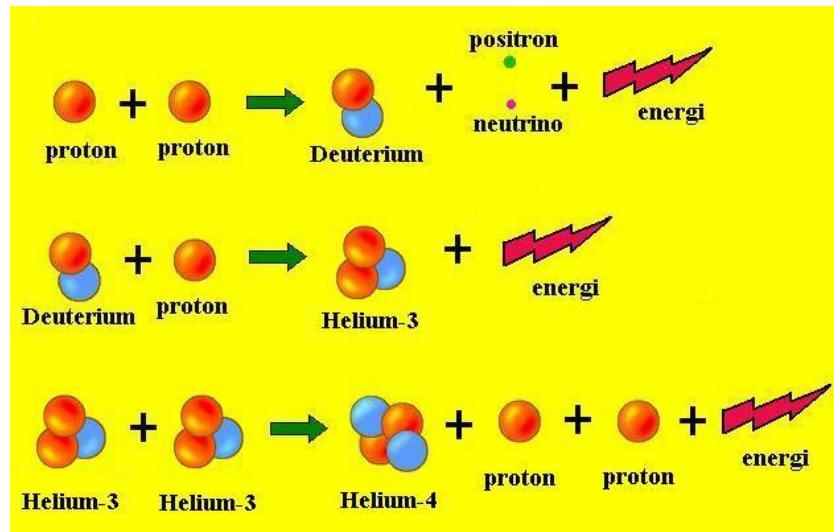
Positronen finder straks en elektron at "annihilere" med, så de bliver til ren energi.

Processerne i de to øverste rækker skal foregå to gange for at den i nederste række kan foregå en enkelt gang.

Nettoresultatet er, at 4 protoner og 2 elektroner bliver til en He-4 kerne, 2 neutrinoer og en masse ren strålingsenergi i form af fotoner.

Dette er en proces, der som antydet kræver stor energi for at kunne starte, men som til gengæld giver meget mere energi fra sig, når den først **er** gået i gang.

Således begyndte **Solen** at lyse.



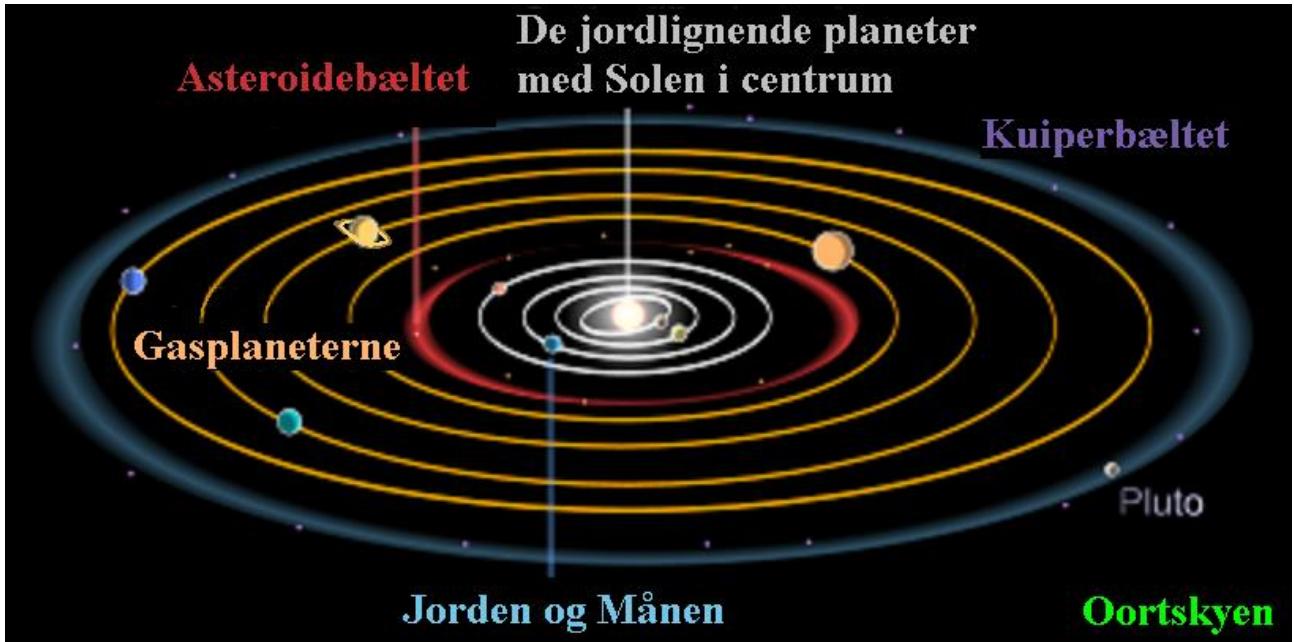
Den voldsomme stråling, der kom fra Solen, blæste de lettere grundstoffer væk fra den inderste del af solsystemet.

De tungere grundstoffer, støv og sten blev tilbage og samlede sig i løbet af mange millioner år til de fire inderste planeter, **Merkur**, **Venus**, **Jorden** og **Mars**, og **asteroidebæltet**, der alle består mest af metaller og klipper.

Længere væk fra Solen samlede de lettere stoffer sig til de fire store gasplaneter, **Jupiter**, **Saturn**, **Uranus** og **Neptun**.

Tidligere blev **Pluto** betragtet som solsystemets niende planet, men i 2006 blev den af IAU, den Internationale Astronomiske Union degraderet til "dværgplanet". Den er nemlig blot en enkelt af tusinder af lignende dværgplaneter i det såkaldte **Kuiperbælte**, der ligger udenfor de fire gasplaneter.

Længere ude ligger **Oort-skyen**, et område med milliarder af store klumper af støv og is, ofte 10 km i diameter. Disse kan rive sig løs og tage en tur ind om Solen som **kometer**.



Formodentlig i gennemsnit en gang pr. tiår river en stor klump sig løs fra Oortskyen og starter en stor parabelformet banetur ind omkring Solen. Vi får så en såkaldt stor komet at se på himlen i flere måneder. I 1996 kom Hyakutake fulgt af Hale-Bopp i 1997.

Disse store kometer kan komme for tæt på en af gasplaneterne, især Jupiter med det resultat, at de mister fart og bliver indfanget i solsystemet. På denne måde bliver deres parabelbane lavet om til en ellipsebane - de kan ikke slippe væk, men kommer igen og igen ind omkring Solen med bestemte tidsintervaller. Disse kometer er dermed blevet til **periodiske kometer**, som ofte ikke er noget særligt at se på, da de kan have været inde tæt på solen og er blevet "slidt" mange gange. De kan dog godt være flotte at se, hvis vi er så heldige at passere tæt forbi dem.

Et nærmere kig på Månen overflade med dens kratere kan overbevise enhver om, at der i solsystemets levetid var været rigtig mange sammenstød mellem større og mindre sten og klippeblokke på den ene side og planeter og måner på den anden. Det har sandsynligvis været meget værre før i tiden end det er nu.

Et centimetertykt lag af fiskeler med et meget højt indhold af Iridium i kridtskrænterne ved Hunstrup og Kløv i Thy og Stevns Klint - den såkaldte K/T-grænse - vidner om kridttidens overgang til tertiærtiden (nu kaldes det ikke tertiærtid længere, men palæogen) gennem et enormt asteroide-nedslag, hvis krater ligger ved Yucatan-halvøen og i den mexicanske golf, og som sandsynligvis medførte Dinosaurernes uddøen for 65 millioner år siden.

Vi rammes stadig af nedslag af større himmellegemer eller **meteorer**, omend sjældnere i dag.

30. juni 1908 blev over 2000 km² skov ødelagt af et stort meteornedslag ved Tungusku floden i Sibirien (en biflod til Yenisei), og 15. februar 2013 ramte et ca. 17 meter stort og 10.000 tons tungt meteor ned ved Chelyabinsk i det sydlige Ural, hvorved omkring 1000 mennesker kom til skade, mest pga. glasssplinter.



Meteorer, der lyser meget stærkere end Venus, og kan ses i flere sekunder, kaldes **ildkugler**. Ser man en sådan bør man melde det til www.ildkugle.dk, Dansk Ildkuglecentral. Der er chancer for at noget af meteoretet har overlevet og er faldet ned som **meteorit**.

Mindre meteorer, eller **stjerneskud** opræder hver eneste nat, og skyldes småsten fra det ydre rum. De er typisk af størrelse fra et knappenålshovede op til en ært, og de giver et lysspor, når de brænder op højt oppe i atmosfæren. De fleste er "sporadiske", dvs. tilfældige, men 5-7 gange om året ser vi en såkaldt **meteorsværm**.



Jordens bane krydser nogle periodiske kometers baner, og i disse kometbaner ligger sten og ral, som har løsnet sig fra kometen, og kan have spredt sig rundt i hele kometens ellipsebane, herunder det sted hvor denne krydser jordens bane.

Når jorden flyver gennem et sådant bane-kryds, ser vi meteorsværmene: Op til flere hundrede stjerneskud i timen, som ser ud til at komme samme sted fra.

Mest kendt er Perseiderne, eller "Sankt Laurentii Tårer" hvert år ca. 12. august. Meteorsværme er kaldt op efter det stjernebilledet, de ser ud til at stråle ud

fra, og disse ser ud til at komme fra stjernebilledet Perseus nær Cassiopeia.

Andre meteorsværme er: Kvadrantiderne 3.-4. januar, Lyriterne ca. 22. april, Orioniderne ca. 21. oktober og Geminiderne ca. 13. december. Med års mellemrum kan også forekomme Draconiderne ca. 9. oktober og Leoniderne ca. 17. november.

En god oversigt over hele vort solsystem finder man på www.nineplanets.org



Jorden og Månen

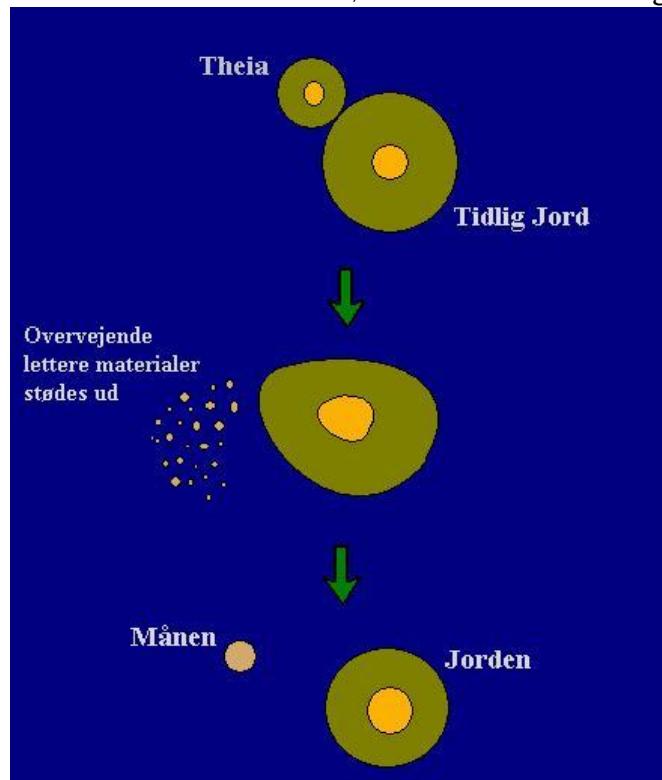
Billede taget fra Galileo satellitten 1992

Månen har formodentlig spillet en stor rolle i livets udvikling på Jorden. Ligesom gravitationskraften fra Jorden på Månen holder Månens i sin bane, trækker gravitationskraften fra Månen på Jorden tidevandet rundt, og forårsager ebbe og flod. Mange forskere mener, at dette har været en vigtig faktor, den gang livet, der formodes at være startet i havet, flyttede op på land.



Prøver af Måne-klipper, bragt tilbage til Jorden af Apollorumskibene har vist, at forholdene mellem de forskellige ilt-isotoper er fuldstændig ens for sten fra Månen og sten fra Jorden, og i øvrigt helt anderledes end for materiale fra andre legemer i vort solsystem. Derfor må Månen og Jorden en gang have været et, have hængt sammen. På den anden side er forholdet mellem zink-isotoper forskelligt, hvilket antyder at Månen er blevet slynget ud fra Jorden og her taget lettere materialer med sig.

Den såkaldte "sammenstødsteori" er almindelig anerkendt i dag: Omkring 50 millioner år efter, at solsystemet var begyndt at danne sig, dvs. for ca. 4,5 milliard år siden, stødte Jorden sammen med "Theia", en noget mindre planet på størrelse med Mars, der lå i samme bane som Jorden.



Denne sammenstød gav også den forholds-mæssige store rotationsfart, som Jorden da havde. Døgnet var på 5 timer. Gnidningskræfter fra tidevandet har siden sat denne fart ned, så en omgang nu tager 24 timer.

Theias og den tidlige Jords materialer blev blandet op, Jorden fik det meste af de to jern-kerner, og de lettere materialer blev stødt ud i en skive, der senere samlede sig til den måne, vi har i dag.

Theias stød gav også den forholds-mæssige store rotationsfart, som Jorden da havde. Døgnet var på 5 timer. Gnidningskræfter fra tidevandet har siden sat denne fart ned, så en omgang nu tager 24 timer.

Jordens sammenstød med Theia har ikke været en usædvanlig begivenhed i Solsystemets første hundreder af millioner år. Jorden, Månen (og Mars) har senere alle været ramt af mindre himmellegemer, som har været ansvarlige for, at tunge grundstoffer som guld, platin og palladium findes på overfladerne, og ikke kun inde ved kernerne.

Det meste af det vand, der er her på Jorden menes ligeledes at være kommet fra kometer - som er store isbjerge med støv, sten og grus i - og som er braget ind i Jorden.

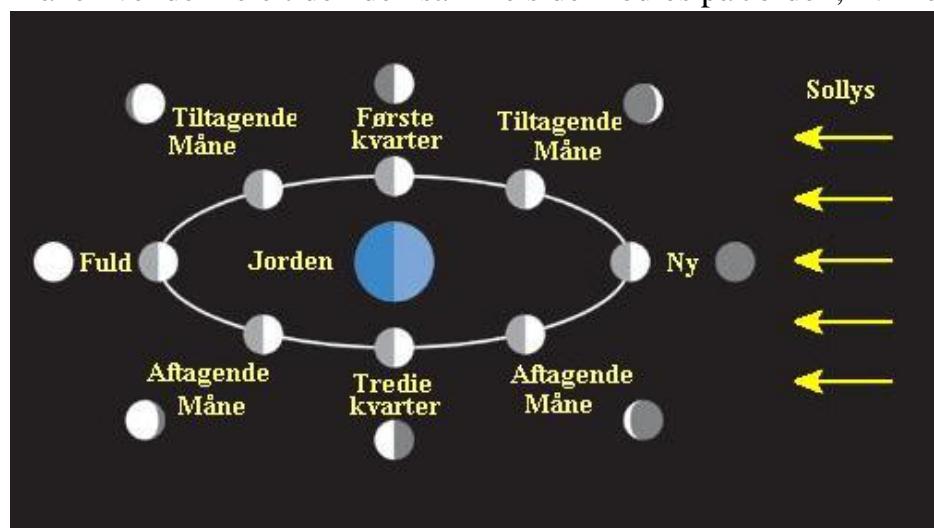
Der daler stadig mellem 100 og 300 tons materiale fra rummet ned på Jorden hver dag, men mest i form af **kosmisk støv**. Hvis man trækker en fugtig klud hen over sin vindueskarm vil omkring halvdelen af det støv, man får fat i stamme fra det ydre rum.



Siden den første bemandede månelanding 20. juli 1969 er vort kendskab til månen øget kraftigt. Månen har en meget tynd atmosfære. Ligesom Mars har den stort set ikke noget magnetfelt til at holde solvinden - som skyder en eventuel atmosfæres molekyler væk - på afstand, fordi den er størknet helt igennem. Jorden har et magnetfelt fordi vi har hvirvler af flydende jern dybt nede, og det har hverken Månen eller Mars. Men Månen er også for lille til at kunne holde fast på en atmosfære. Tyngdekraften er kun 1/6 af den på Jorden, og det er for lidt.

Men ved polerne af Månen ser der ud til at være større mængder is under overfladen, is som er kommet fra komet-nedslag. I diverse planer for at oprette en månebase indgår, at man vil søge at udnytte dette frosne vand.

Månen vender hele tiden den samme side mod os på Jorden, hvilket betyder, at et månedøgn



er på en måned, og at man altid vil se Jorden samme sted på himlen, når man står deroppe. Men man vil se forskellige **faser**: Når vi ser en tiltagende Måne vil "en månemand" se en aftagende Jord, og vice versa.



Den "synodiske måned", Månenens omløbstid om Jorden i forhold til Solen, og dermed den tid der går fra en nymåne til den næste (eller fra en fuldmåne til den næste) er på 29,5 døgn.

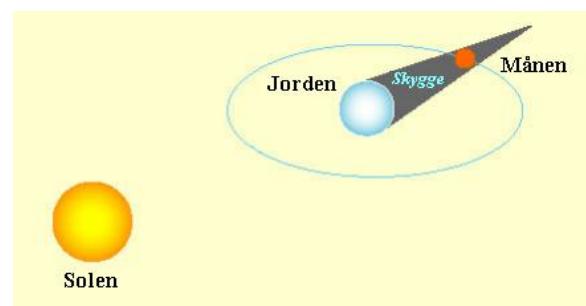
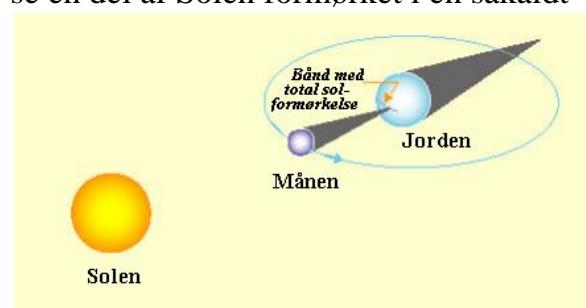
I løbet af disse 29-30 nätter skifter **Månenes faser** som på den ovenstående figur (set fra DK).

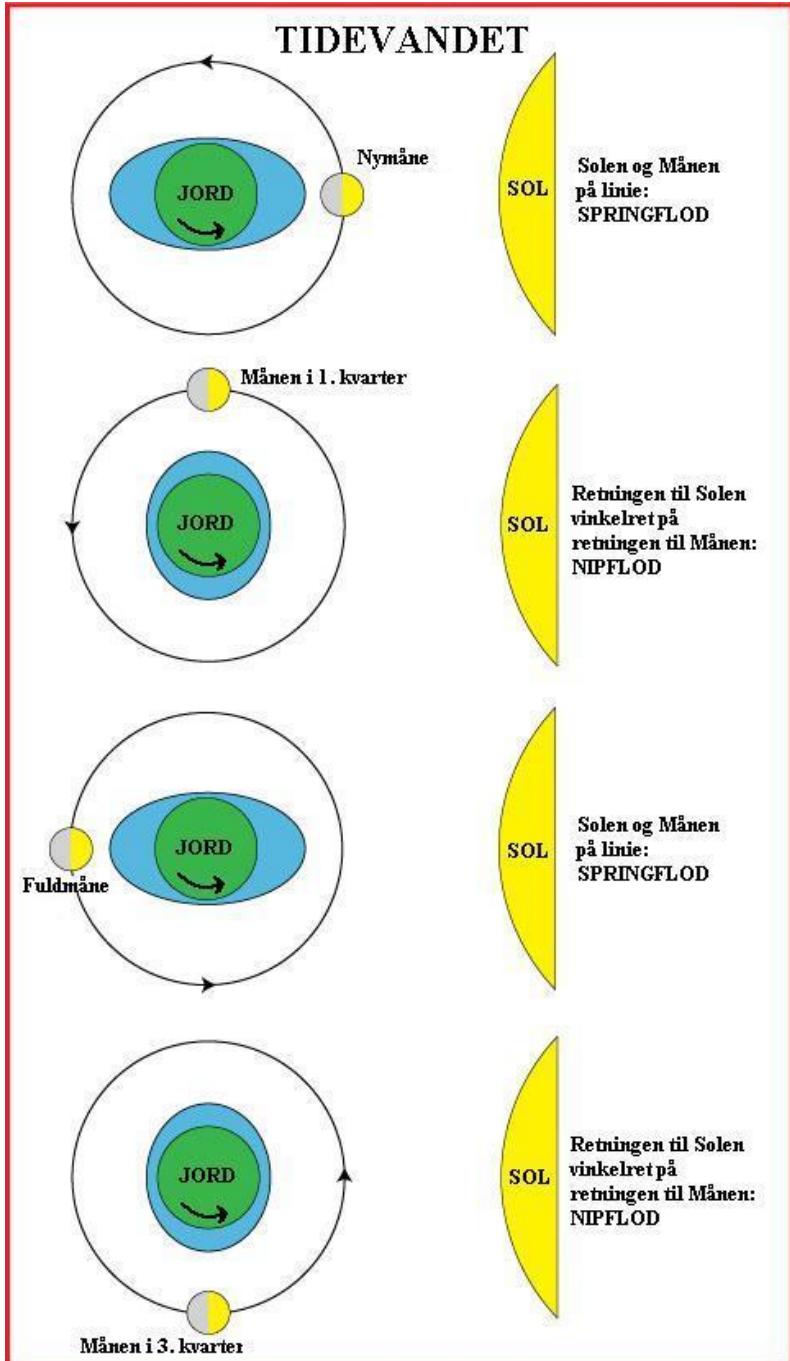
Ved nymåne kan der være et bånd på Jorden som rammes af Månenes skygge. Står man der, vil man se Solen blive dækket af Månen, og man har en **total solformørkelse**. I et område ca. 5000 km nord og syd for båndet vil man kunne se en del af Solen formørket i en såkaldt **partiel solformørkelse**.

Ved fuldmåne kan Månen komme ind i skyggen fra Jorden, og vi ser den blive rødlig mørk, vi har en **måneformørkelse**. Denne kan ses af alle, der befinder sig på natsiden af Jorden.

Sol- og måneformørkelser sker ikke i hvert omløb, da månebanen hælder 5° i forhold til Jord-Sol planen, de sker typisk 2, måske 3 gange om året.

Totale solformørkelser kan kun ses, hvis man befinder sig i totalskyggens bånd, de ses derfor kun sjældent det enkelte sted. Den sidste totale solformørkelse i Danmark var i 1851 og den næste kommer i 2142. Men på Færøerne er der total solformørkelse 20. marts 2015.





Tidevandet skyldes Månen's træk i Jorden. Dels trækker Månen mere i vandet på den side af Jorden, der er tættest på Månen, end den trækker i Jorden nedenunder, dels trækker Månen mere i Jorden end i det vand, der er på den modsatte side af Jorden.

Der er altså **højvande** både på den side af Jorden, der vender imod Månen, og på den side, der vender bort fra Månen.

De mellemliggende steder er der **lavvande**.

Når Solen er på linje med Månen, er trækket særligt kraftigt. Så har vi **springflood**.

En uges tid senere, når retningen til Månen er vinkelret på retningen til Solen, modvirker Solen noget af Månen's træk, og vi har **nipflood**.

Jorden drejer sig en omgang i forhold til Solen på 24 timer, hvilket skulle betyde, at der går 12 timer mellem hvert højvande, men da Månen imens har nået at flytte sig et stykke, går der nærmere 12,5 timer.

Det er store vandmasser der på denne måde flyttes rundt i havene, og det tager tid. Derfor er fx de indre farvande i Danmark noget "bagud".

Som tommelfingerregel indtræffer **højvandet i Esbjerg** 1 - 3 timer efter, at Månen har passeret i Syd, og igen 12,5 timer senere. I forhold til Esbjerg er der forsinkelser i Torsminde på 1 time, Thyborøn 2 timer, Skagen 3 timer, Hals 6 timer og Århus på 8,5 timer.

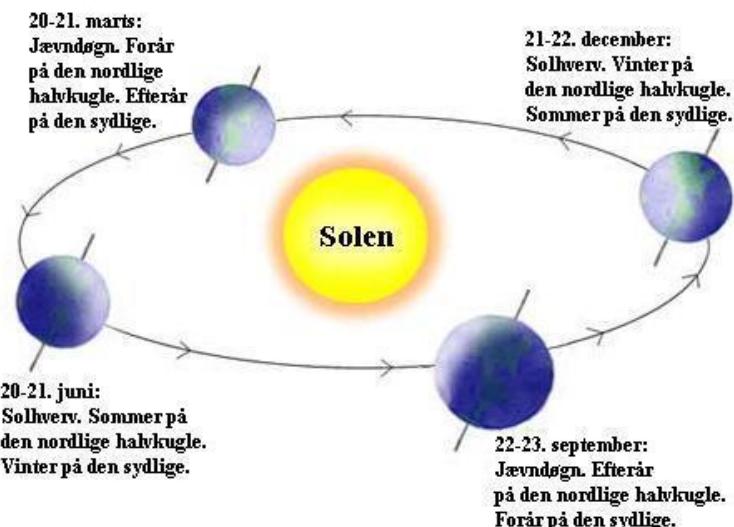
På www.dmi.dk kan man downloade mere nøjagtige tidevandstabeller for de danske havne.

Jorden og årstiderne

Jordens omdrejningsakse er ikke vinkelret på Jord-Sol planen, **ekliptika**, men hælder $23,5^\circ$.

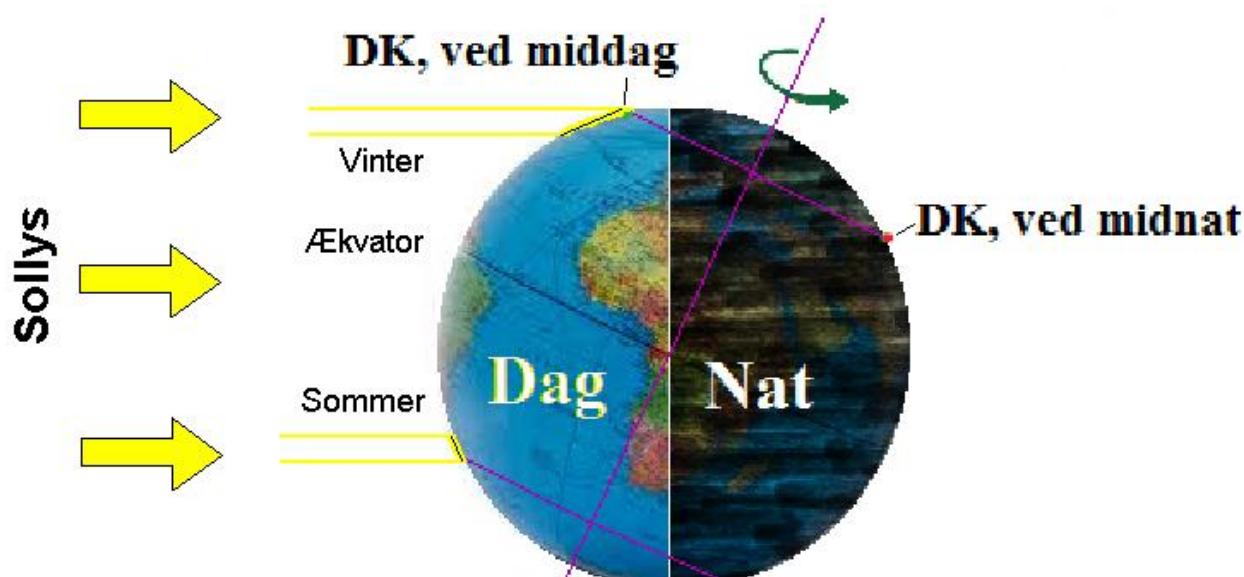
Dette gør, at vi får **årstider**: I juni-juli lyser Solen døgnet rundt på de nordlige polaregne, mens der er nat hele tiden ved sydpolen. December-januar er det omvendt.

Hos os er forskellen ikke så stor, i Århus er den længste sommerdag på 17 timer og 34 minutter, mens den korteste vinterdag er på 6 timer og 49 minutter.



Da Jordens bane om Solen iflg. Keplers 1. lov er en ellipse med Solen i det ene brændpunkt, vil afstanden mellem jorden og Solen variere over et år. Dette betyder dog ikke, at der nødvendigvis er sommer, når afstanden er mindst og vinter når afstanden er størst, faktisk er det lige omvendt, i hvert fald på den nordlige halvkugle.

På figuren nedenfor fremgår det, at når den nordlige akse vender væk fra Solen, så vil nordligt liggende lande som fx Danmark, ligge længere tid i mørke end i sollys, dvs. dagene er kortere. Derudover vil sollyset spredes over et større område end sydpå, dvs. sollyset falder mindre koncentreret.



Disse to forhold er netop årsagen til, at der er vinter på den nordlige halvkugle når den nordlige rotationsakse peger væk fra Solen. Omvendt vil den sydlige rotationsakse pege mod Solen og resultere i længere dage og mere koncentreret sollys sydpå, dvs. sommer.

Det er således jordaksens hældning der er årsag til årstiderne og ikke afstanden, som man ellers godt kunne tro. På den sydlige halvkugle stemmer sommer dog med at afstanden er mindst, men hovedårsagen til årstiderne er stadig dagenes længde og sollysets indfaldsvinkel.

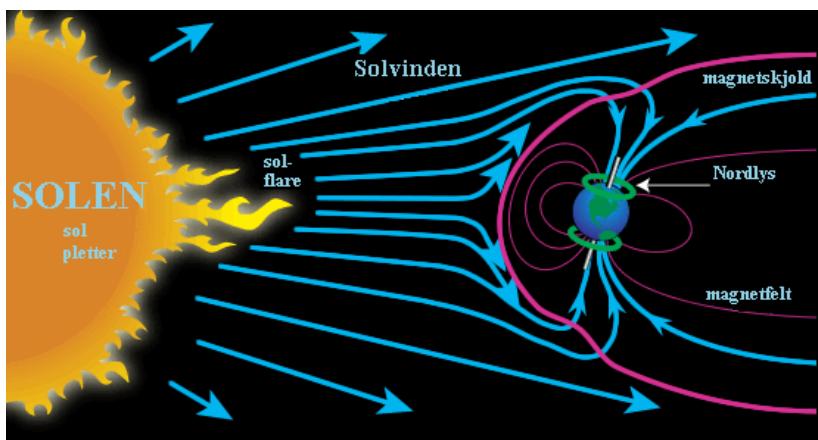
Jorden

Hvis man betragter konturerne af Sydamerika og Afrika, er det let at få den tanke, at de engang har hængt sammen. Og det har de.

Jordens overflade er en række såkaldte tektoniske plader som flyder ovenpå flydende lag længere inde i Jorden, og disse pladers forskubben sig, er årsagen til **jordskælv** og **vulkanisme**.

Inderst i jordkloden er der en fast jern- og nikkelkerne, og udenom et stort område, den ydre kerne, hvor temperaturen er 3700° , og som er flydende.

Her bevæger stoffet sig rundt i store hvirvler, og dette giver jorden et **magnetfelt**, ligesom man får en elektromagnet, hvis man sender ladningsstrømme rundt omkring en jernkerne.

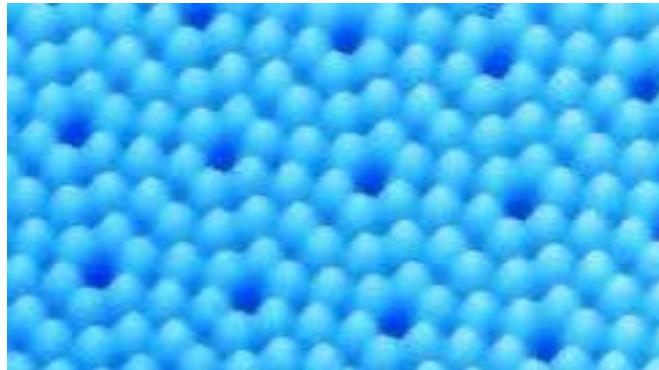


Magnetfeltet beskytter Jordens atmosfære mod solvinden. Men især efter kraftige soludbrud kan man se **nordlys** ved polerne, hvor magnetfeltlinjerne peger ud i universet. Dette skyldes ladede partikler fra Solen, der spiralerer ind langs feltlinjerne og på vejen får atmosfærrens atomer til at lyse.

Atomfysik

Atomerne

STM-billede af atomer på en Silicium overflade.
(Scanning Tunneling Microscope).



Den græske filosof Demokrit videreudviklede i år 430 f.Kr. den tanke, at alt stof havde nogle mindste byggesten, som ikke kunne deles. Han kaldte disse for "atomos", som er græsk for "udelelig".



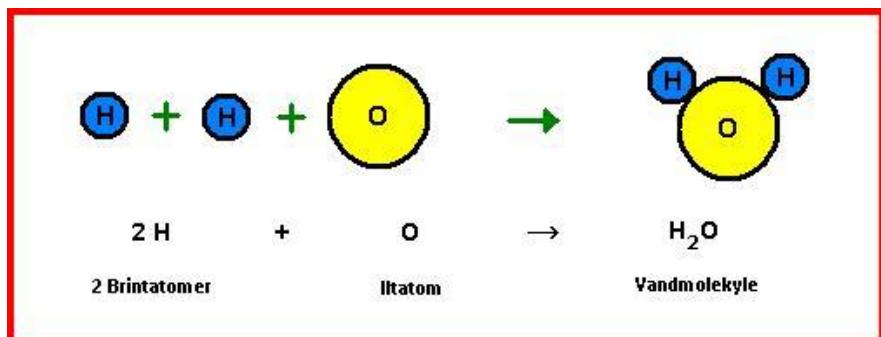
Omkring år 1800 satte den engelske kemiker John Dalton sig for at ville undersøge stoffernes bestanddele. Han fandt, at de fleste substanser kunne nedbrydes af fx syre eller ved at blive brændt, men nogle kunne ikke. Han kaldte disse for **elementer** eller **grundstoffer** - jern, svovl osv.

Han fandt ud af at de enkelte kemikalier bestod af disse elementer i ganske bestemte talforhold. Han mente, at hvert element bestod af en mængde af

sin egen slags mindste bestanddele, atomer: Rent kulstof bestod af kulstof-atomer, ilt af ilt-atomer, brint af brintatomer osv.

Og atomerne kunne sætte sig sammen: 2 brint-atomer og 1 ilt-atom kunne sætte sig sammen til vand i et såkaldt vandmolekyle.

Alle rene stoffers mindste bestanddele består på denne måde af molekyler, der igen består af atomer.



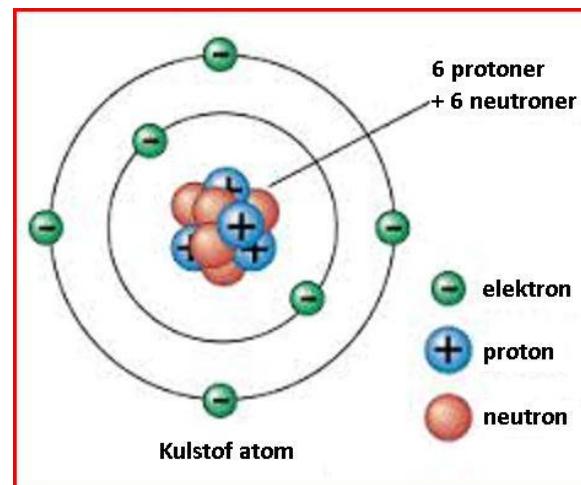
Den russiske kemiker Dmitrij Mendelejev fandt i 1869 ud af, at de forskellige slags atomer kunne opstilles i et system, **grundstoffers periodiske system**, hvor grundstofferne er opdelt i 8 hovedgrupper (og nogle undergrupper), og hvor elementer med lignende kemiske egenskaber kan sættes i samme gruppe.

Grundstofferne periodiske system																			
	IA	IIA															O		
1	H	Be															He		
2	Li																Ne		
3	Na	Mg	IIIB	IVB	V B	VIB	VIIIB	VII				IB	IIB	III A	IV A	V A	VIA	VII A	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Al	C	N	O	F	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Ge	As	Se	Cl	Br	
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Sn	Sb	Te	I	Xe	
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113	113	Pb	Bi	Po	At	Rn
* Lactanider		58 Ce	50 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
+ Actinider		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

Et atom består af en atomkerne med positivt ladede protoner + neutrale neutroner og med en sky af negativt ladede elektroner udenom. Protonerne har alle ladningen e^- , den såkaldte elementarladning, medens elektronerne har ladningen $-e^-$. For et elektrisk neutralt atom er antallet af protoner i kernen og antallet af elektroner i skyen lige stort, nemlig atomets såkaldte **atomnummer**.

Et kulstofatom har seks protoner i kernen, hvorfor kulstof også har atomnummer 6. Er det neutralt, har det 6 elektroner i elektronskyen.

Protonen og neutronen vejer omrent det samme, nemlig det vi kalder 1 unit. Der skal hele $6 \cdot 10^{23}$ units til et enkelt gram, eller 600.000.000.000.000.000.000 units ("Avogadros tal"). Elektronen vejer meget mindre, nemlig $1/1820$ af en unit. Næsten hele atomets masse befinder sig altså i kernen.



Men kernen fylder meget lidt, nemlig omrent 1 fm = 1 femtometer = 10^{-15} m, hvor elektronskyen fylder omkring 0,1 nm = 0,1 nanometer = 10^{-10} m. Hvis kernen var på størrelse med en fodbold på Riisvangen Stadion i Aarhus, ville elektronskyen befinde sig omkring Odder, Skanderborg, Hadsten, Hornslet og Helgenæs.

Elektronerne i skyen befinder sig i såkaldte skaller, og det er antallet af elektroner i den **yderste skal** der afgør hvilken gruppe, atomet hører under i det periodiske system.

For nærmere at forstå hvorfor elektronerne er placeret i skaller, og hvor mange der er hvorhenne, må man se på følgende principper:

- En elektrons tilstand beskrives ved 4 såkaldte kvantetal: n , l , m og s .
- To elektroner i et atom kan ikke være i samme tilstand ("Paulis udelukkelsesprincip").
- Elektronskyens tilstande fyldes op "nedefra": først pladserne med den laveste energi.

Det, at de fire kvantetal beskriver elektronen, og at der kun kan være en elektron med en bestemt værdi af n , l , m og s gør, at vi passende kan forestille os, at elektronerne i et atom er udstyret med en nummerplade med fire pladser. Punkt b) udtrykker så, at der ikke må være to elektroner med samme nummerplade.

n er det såkaldte hovedkvantetal, som angiver skallens nummer indefra. n kan være de hele tal 1, 2, 3, 4, 5 osv. I K-skallen, som er inderst, er $n=1$, i L-skallen $n=2$, M-skallen $n=3$ osv.



l er sidekvantetallet, som angiver banens form. l kan antage værdien 0, 1, 2 osv. op til $n-1$.

m er det magnetiske kvantetal, og kan antage værdierne $-l$, $-l+1$, ..., -1 , 0 , 1 , ..., $l-1$, l .

s er det såkaldte spin, som kan være $+1/2$ hvis elektronen drejer højre om sig selv, og $-1/2$ hvis den drejer venstre om.



En elektron i L-skallen har altså altid $n = 2$, og kan derudover have $l = 1$, $m = -1$ og $s = 1/2$. Man forestille sig dens nummerplade ser således ud (figuren til venstre).

Hvis man på denne måde prøver at udfylde mulige nummerplader nedefra, vil man se, at der til K-skallen kan udstedes 2 nummerplader, nemlig $[1,0,0,1/2]$ og $[1,0,0,-1/2]$.

Til L-skallen kan der "udstedes" 8 nummerplader, nemlig $[2,0,0,1/2]$, $[2,0,0,-1/2]$, $[2,1,-1,1/2]$ som er den ovenfor, $[2,1,-1,-1/2]$, $[2,1,0,1/2]$, $[2,1,0,-1/2]$, $[2,1,1,1/2]$ og $[2,1,1,-1/2]$.

Til M-skallen kan der udstedes 18 nummerplader, til N-skallen 32 og til O-skallen 50.

Generelt kan der til en skal udstedes $2 \cdot n^2$ nummerplader, eller mere korrekt: Der er plads til $2 \cdot n^2$ elektroner i den n -te skal.

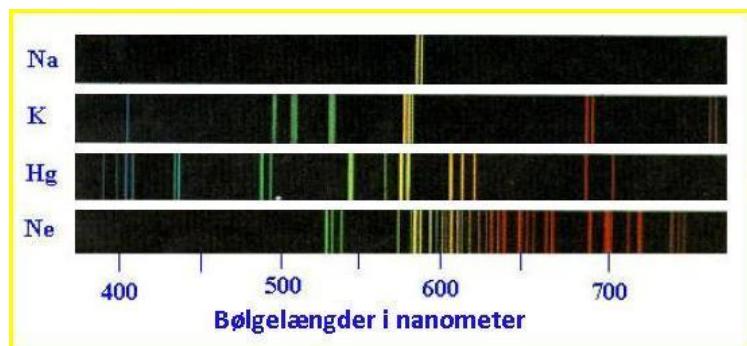
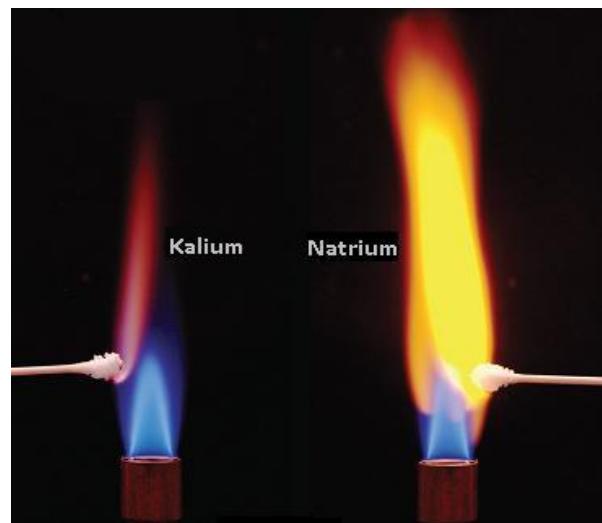
I almindelighed kommer der aldrig mere end 8 elektroner i den yderste skal, for eventuelt flere elektroner vil have mindre energi, hvis de placerer sig længere ude, og det gør de så.

Det er stort set antallet af elektroner i atomets yderste skal, der bestemmer et grundstofs kemiske egenskaber, men det lærer man mere om i faget **kemi**.

Atomer, lys og farver

Mange grundstoffer har deres helt specielle flammefarver, som på figuren til højre.

Undersøger man lyset fra flammerne nøjere i et spektroskop – ved at se på det gennem et gitter eller et glasprisme, vil man se, at lyset som regel er en blanding af spektrallinjer, at lyset er et **linjespektrum**:



Linjespektre af glødende Natrium-, Kalium-, Kvicksølv- og Neondampe.

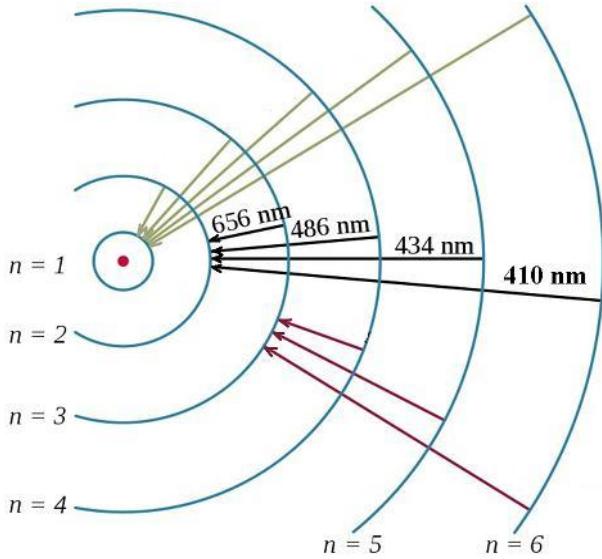
Alle en-atomige gasser udsender deres eget helt specielle linjespektrum, når gassen bringes til at gløde i fx en flamme eller i et lysstofrør.

Disse linjespektre skyldes, at den yderste elektron i elektronskyen er blevet sparket endnu længere ud, og har fået ekstra energi (atomet er **exciteret**) - enten af de hurtige atomer i en varm gasflamme, eller af de strømmende løse elektroner i et lysstofrør - og bagefter søger at falde til ro igen indad mod sin vante plads yderst i elektronskyen.

Hydrogen spektret, som ses til højre er på denne måde fremkommet, når de enlige elektroner ved

energitilførsel er blevet sparket ud i baner længere ude, med $n = 3, 4, 5$ eller 6 og så senere - ofte ad flere omgange - hopper ind igen mod deres naturlige sted i den inderste bane med $n = 1$. Og atomet er som et amfiteater: De inderste pladser/baner har den laveste energi. Forskellen i bane-energien, altså energien, som bliver til overs, når elektronen hopper indad - "skifter til en nummerplade" med lavere energi - sendes ud som en lyspartikel, dvs. en foton. I de tilfælde hvor springet ikke ender helt "i mål", men i bane nr. 2 (se figuren øverst næste side), har fotonerne en energi, hvor de kan ses med det blotte øje. Disse fotoner danner tilsammen brint-spektret ovenfor.





Som antydet på figuren til venstre, kan en energirig elektron også hoppe helt ind "i mål" i inderste bane med $n=1$. Men den inderste bane i H-atomet ligger så tæt på kernen, at den energi, der bliver til overs ved sådan et spring, ikke bliver til en synlig lyspartikel, men til en ultraviolet foton, med en energi omkring 3-5 gange så stor som en synlig fotons energi.

Ligeledes kan en energirig elektron også nøjes med at hoppe ind til bane nr. 3, for så at hoppe videre senere.

Springet ind til bane nr. 3 løsgør en energi, der på den anden side er for lille til, at fotonen kan ses med det menneskelige øje. Det bliver til en infrarød foton med en energi omkring halvdelen af det der skal til, for at den kan ses. Spring ind i bane nr. 4 eller højere, længere ude fra, giver fotoner med endnu mindre energi. De er også infrarøde.

Billedet til højre viser hvad man ser, når en gult lysende natrium-pære sættes til at lyse ind på to flammer, en gul natrium-flamme til højre og en mere hid strontium flamme til venstre (vattot med sprit, hvor der er drysset hhv. natriumchlorid og strontiumsulfat).

Det karakteristiske gule natriumlys opstår, når den yderste elektron hopper fra $n=3$, $l=1$ til $n=3$, $l=0$.

Man kan se på billedet, at natrium-flammen kaster skygge, mens strontium-flammen ikke kaster skygge. Natriumatomerne i flammen kan altså "æde" noget af natriumlyset, og det kan strontiumatomerne ikke. Ligesom natriumatomer (i pæren) kan udsende de gule lyspartikler ved, at deres yderste elektron hopper fra $l=1$ til $l=0$ i bane 3, kan natriumatomer (i flammen) **absorbere** de præcist samme gule lyspartikler ved at deres elektron i bane 3, $l=0$ hopper op til $l=1$ (for så senere at hoppe tilbage igen under udsendelse af en lignende gul foton, men nu i en tilfældig retning).

Dette gælder for alle varme en-atomige gasser: Ligesom de kan udsende ("**emittere**") ganske bestemte farver, idet deres yderste elektron hopper indad, kan de også **absorbere** de samme ganske bestemte farver, idet deres yderste elektron laver det modsatte hop udad.





Kigger man med et godt prisme eller bedre, et "spektroskop" på en hvid sky en solskinsdag, vil man se sol-spektret, et såkaldt **absorptionsspektrum**, dvs. alle regnbuens farver, men hvor nogle enkelte af farverne er blevet "ædt". Dette skyldes, at dybere lag i Solen udsender alle farverne, men varme gasser i solens yderste lag, dens atmosfære, æder de farver, der indgår i deres spektre.

På denne måde kan man faktisk med stor nøjagtighed bestemme hvilke stoffer, der er i Solens atmosfære. Den samme teknik kan bruges på stjernerne, og teknikken kaldes "spektralanalyse".

Tilstandsformer

Et stof kan findes i tre såkaldte tilstandsformer, **fast form, væske og gas**.

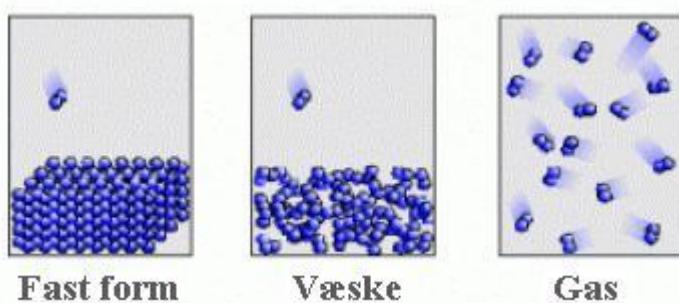
Hvilken af de tre tilstandsformer stoffet befinder sig i afhænger af trykket og af temperaturen.

I den faste form er atomerne og molekylerne bundet sammen i et mikroskopisk gitter. De enkelte molekyler har en vis energi, men denne er ikke stor nok til at bryde de små elektriske bindinger i gitterne. Stoffet er fast.

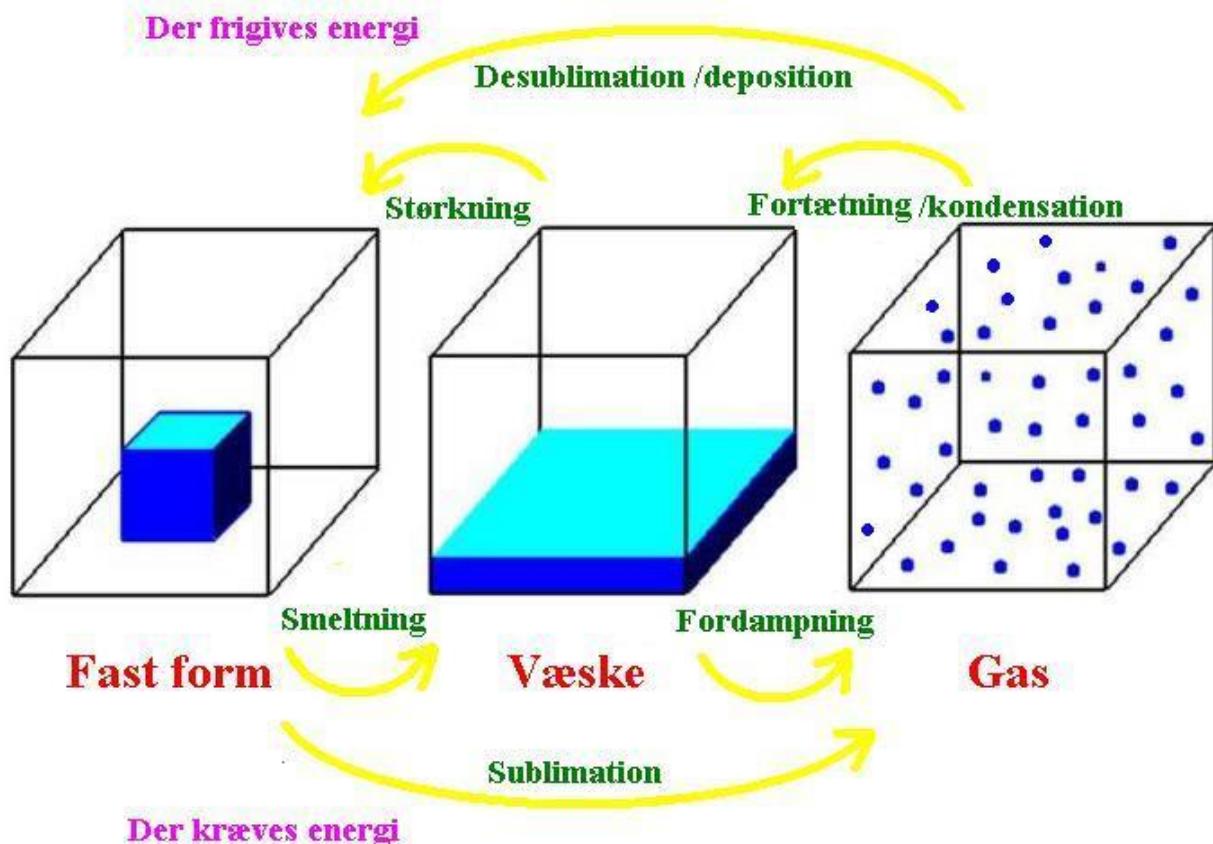


Får molekylerne større energi, brydes bindingerne. Stoffet **smelter**. Der er stadig svage bindinger mellem molekylerne, men ikke som i det faste stof. Molekylerne kan bevæge sig mellem hinanden, og tyngdekraften gør, at de fylder en beholders form ud neden fra.

Får molekylerne endnu større energi (stoffet opvarmes), brydes de svage bindinger i væskeformen, og de kan bevæge sig helt frit mellem hinanden. Stoffet **fordamper**.



Hvor **massefylden** (densiteten) af stoffet i fast form og i væskeform er næsten den samme, er den meget mindre i gasformen.

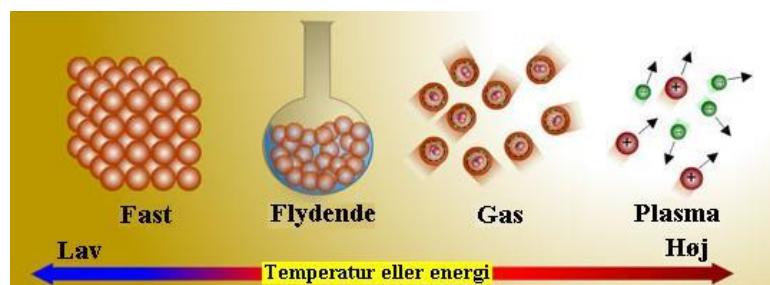


Der er altid lidt gas tilstede ved siden af den faste form og væskeformen.

Det modsatte af smelting er **størkning**, og det modsatte af fordampning er **fortætning** eller **kondensation**.

Stoffet kan gå direkte fra fast form til gasform uden at blive til væske undervejs under visse omstændigheder. Dette kaldes **sublimation**, og ses fx, når vasketøj bliver tørt ved at hænge i frostvejr, eller når sneen langsomt forsvinder fra et fortov, selv om det er frostgrader. Den omvendte proces kaldes desublimation eller deposition, og ses fx når vanddamp sætter sig som rim på blade en frostnat.

Ved ekstremt høje temperaturer kan en gas **ioniseres**, dvs. elektroner og resten af atomerne bevæger sig frit af hinanden. Man kan kalde denne tilstand - **plasma** - en fjerde tilstandsform. Plasma er typisk lysende, og vi har det fx i et lyn og indeni Solen.



Meget tæt ved det absolute nulpunkt (-273°C) kan man få en gas til at blive til et "**Bose-Einstein kondensat**", som fysikere betragter som en særlig eksotisk femte tilstandsform.

ENERGI

ENERGIFORMER, ENERGIOMSÆTNING OG EFFEKT

Overalt omkring os støder vi på energi i forskellige former. Når vi tænder en elpære, vil den omdanne elektrisk energi til strålingsenergi og varme. Når bilmotoren kører, omdanner den kemisk energi i benzinen til bevægelsesenergi og varme. Når solen skinner på en plantes blade, bliver strålingsenergien ved hjælp af fotosyntese omdannet til kemisk energi i bladene.

Hvis der ikke sker energiudveksling med omgivelserne er den samlede energi altid bevaret.

Vi mäter energi i enheden **Joule J**.

Nogle af de vigtigste former for energi er:

1. **Kinetisk energi**, E_{kin} , også kaldet bevægelsesenergi er den energi noget har fordi det har fart på, fx et tog, en bil, vinden, en flyvende meteorit eller strømmende vand.
2. **Potentiel energi**, E_{pot} , også kaldet beliggenhedsenergi er den energi noget har på grund af sin placering, fx en bog der ligger på en hylde, en sten der ligger i en spændt slangebøsse, en udspringer på 10-meter vippet, vand der er dæmmet op bag en dæmning oppe i bjergene.
3. **Elektrisk energi**, som vi fx kan have oplagret i et batteri eller kan få via stikkontakterne fra et kraftværk. Et det et vandkraftværk, kan det opdæmmede vands potentielle energi blive til kinetisk energi for vandet i rør, der fører til kraftværkets turbiner, hvor den bliver omdannet til elektrisk energi. Der er også elektrisk energi i de vandholdige skyer i et tordenvejr, som omdannes til andre energiformer, når der udlades lyn.
4. **Termisk energi**, også kaldet **indre energi** er knyttet til temperaturbegrebet og til fasebegrebet: Et krus varmt eller en varm kakkelovn har større indre energi end et krus koldt eller en kold kakkelovn, og is ved 0 grader Celsius har mindre energi, end vand ved samme temperatur, og vanddamp ved 100 grader Celsius har større indre energi end vand ved 100 grader. Termisk/innde energi er i virkeligheden kinetisk og potentiel energi af atomerne og molekylerne på det mikroskopiske plan. I varm luft bevæger molekylerne sig hurtigere end i kold luft.
5. **Kemisk energi** kan fx være energien i benzin og brænde.
6. **Kerneenergi** (i daglig tale også kaldet atomenergi) er fx den energi der frigøres ved fusionsprocesser inde i Solen eller ved fissionsprocesser i et kernekraftværk. Ved fusionen forener brintkerner sig til heliumkerner under afgivelse af energi, og ved fission spaltes typisk tunge Urankerner under afgivelse af energi. Begge dele ses i voldsommere udgaver i hhv. brintbomber og atombomber.
7. **Strålingsenergi** kender vi fx fra Solens stråler. Kul og olie er millioner år gamle organiske rester, og den kemiske energi i kullet og olien kommer oprindeligt fra energien i Solens stråler, der er blevet til kemisk energi via fotosyntese i planter for millioner af år siden.

Potentiel energi i tyngdefeltet

En genstand, der er hævet over jorden har potentiel energi i forhold til en tilsvarende genstand, der befinner sig længere nede.

Hvis vi vedtager at regne højder ud fra havets overflade, og at genstande ved havets overflade har potentiel energi 0J, vil en genstand med massen m , som befinner sig i højden h over havets overflade have den potentielle energi:



$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

hvor g er **tyngdeaccelerationen**, som i Danmark er $9,82 \frac{m}{s^2}$. Der gælder at $1J = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$.



I den enkelte situation kan det være upraktisk at regne højder ud fra havets overflade, fx hvis man laver forsøg i et fysiklokale. Man kan i stedet vedtage et andet nulpunkt, en bordoverflade, et gulv, skolegården eller bunden af en skibakke. Man er nemlig oftest kun interesseret i forskellene i potentiel energi forskellige steder, og den er den samme, uafhængig af, hvor man har nulpunktet.

Opgaver:

1. Hvad er den potentielle energi af en iPhone, der har massen 115 g, og som hænger i et træ 4,7 m over jorden, som vælges som nulniveauet.
2. Hvad er E_{pot} af en duelort med massen 3 g idet den løsnes i en højde af 15 m over jorden.
3. Vurder E_{pot} af en kænguru på toppen af Mount Everest.
4. Vurder størrelsen af Felix Baumgartners potentielle energi før sit spring fra højden 39 km.
5. Det hemmelige kinesiske fodvåben består i, at alle kinesere på en gang hopper ned på jorden fra en skammel, der er 1m høj. Derved frembringes et dødbringende jordskælv. Og når kineserne hopper på en forudbereget måde, kan de dirigere dette jordskælv, som de ønsker. Gør passende antagelser og vurder hvor meget energi der frigøres af det hemmelige kinesiske fodvåben.
Sammenlign med Hiroshima atombomben "Little Boy", der frigjorde en energi på godt $5 \cdot 10^{13} J$.



Kinetisk energi

Kinetisk energi hedder også **bevægelsesenergi**. Det er den energi et legeme har, fordi det har masse og det har fart på.



Vi kan ikke forestille os, at bevægelsesenergien afhænger af andre størrelser, som farve, temperatur, højde osv. og vi kan heller ikke forestille os, at to forskellige genstande hver med samme masse m og samme fart v , skulle have forskellig energi, fx fordi de er kommet i fart på forskellige måder. Nærmere udregninger viser:

En genstand, der har massen m og bevæger sig med farten v har den kinetiske energi

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Da enheden for v er $\frac{m}{s}$ kan se, at enhederne igen passer: $1 \text{J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$.

Opgaver:

6. Eftervis, at $3,6 \text{ km/h} = 1 \text{ m/s}$. Hvor meget er farten 144 km/h i grundlæggende SI-enheder?
7. Man kan i tysk trafikradio hører fart angivet i enheden "Stundenkilometer", og man kan i danske vejrudsiger hører vindhastigheder angivet i "sekundmeter". Hvorfor bryder en fysiklærer sig ikke om at høre dette?
8. Beregn den kinetiske energi af en bil med massen 1000 kg , som kører 72 km/h . Hvad ville den kinetiske energi af bilen være, hvis den kørte med den halve fart, altså 36 km/h ?
9. To biler har samme kinetiske energi, men den ene bil er fire gange så tung som den anden. Den lette bil kører 108 km/h . Hvad er farten af den tunge bil?
10. I følge NASA havde meteoretet, der faldt ned over Chelyabinsk i Rusland 15. februar 2013 en masse på ca. 11.000 tons , og en fart, da den ramte atmosfæren, på $18,6 \text{ km/s}$.

Beregn den kinetiske energi, som meteoretet havde ved dets indtrængen i atmosfæren, og sammenlign med dataene for Hiroshimabomben "Little Boy" nederst forrige side.



Indre eller termisk energi

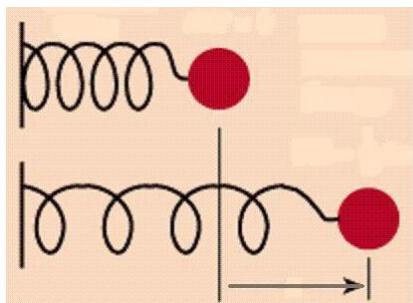
Den **termiske energi** - eller **indre energi** - af et stof afhænger af hvordan stoffets enkelte molekyler holdes sammen (løst eller fast eller slet ikke), og af hvordan de bevæger sig i forhold til hinanden (hurtigt eller langsomt, eller hurtigt vibrerende eller langsomt vibrerende).

Summen af den potentielle energi E_{pot} og den kinetiske energi E_{kin} for et legeme kaldes for den mekaniske energi af legetøjet E_{mek} eller den **ydre energi**:

$$(1.1) \quad E_{mek} = E_{pot} + E_{kin}.$$

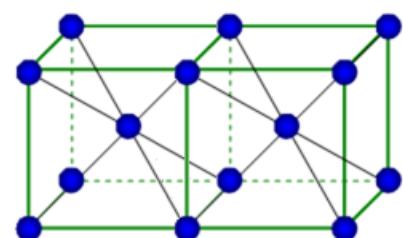


Den termiske energi af et stof E_{term} er i forlængelse heraf den samlede "mikro-mekaniske" energi, dvs. atomernes og molekyldannelsenes samlede potentielle og kinetiske energi på atomart niveau.

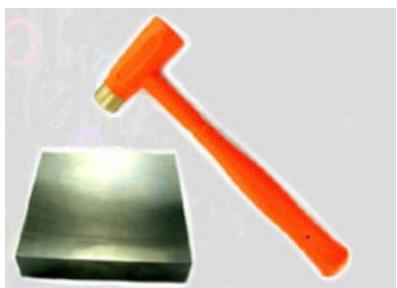


Hvis vi på makroskopisk niveau her til venstre ser på et lod, der sidder fast på en fjeder, mens det ligger på et glat underlag, kan vi forestille os, at det kan svinge frem og tilbage på den måde, at når det passerer midterstillingen har det hele sin energi som kinetisk energi, mens det i yderpositionerne har hele energien som potentiel energi (der er potentiel energi i en spændt fjeder).

Det er på den samme måde med den termiske energi, blot på mikroskopisk niveau. Et jernatom som i gitteret til højre vil stå og vibrere frem og tilbage med en bestemt mikromekanisk energi, som veksler mellem kinetisk energi og potentiel energi i bindingerne. Hvis temperaturen øges, bliver vibrationerne voldsommere, og til sidst kan bindingerne ligefrem sprænges - jernet smelter.



Gitter af jernatomer

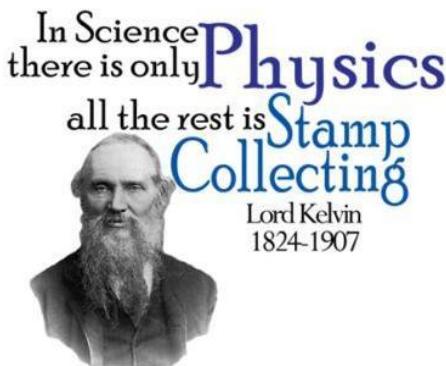


Hvis vi hamrer på en stålklod, der ligger på et bord, vil klodsenes molekyldannelsener blive voldsommere. Den mikromekaniske, indre energi, altså den termiske energi bliver større. Dette viser sig ved, at klodsenes temperatur stiger.

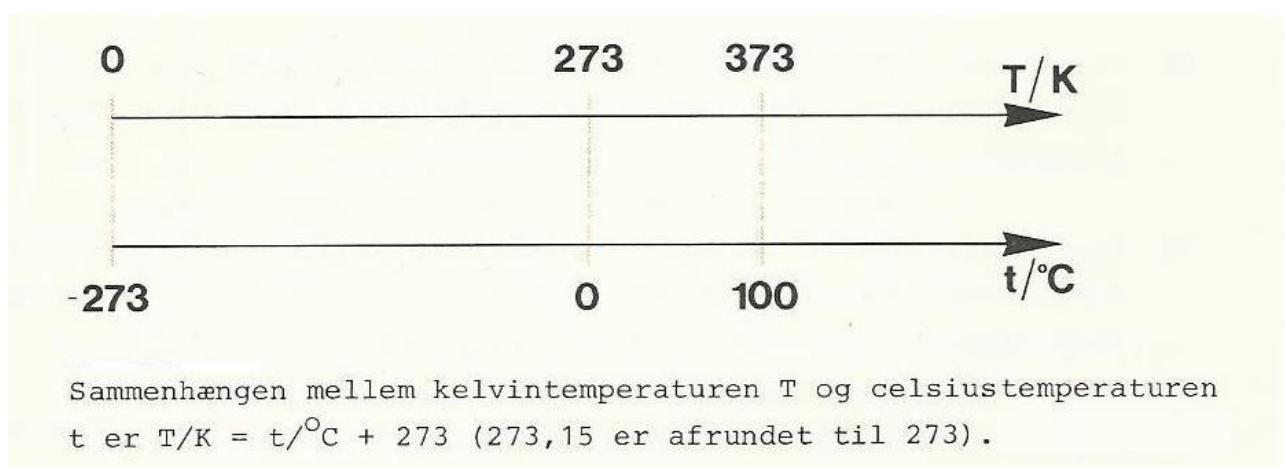
Vi kunne i stedet varme stålkoden op på en varmeplade, hvor molekylerne er i voldsomme vibrationer, eller med en gasflamme, hvor molekylerne har en fart på over ti km/s. Dette svarer også til at hamre på kloden, blot med milliarder af små hamre.

Temperatur måles traditionelt med et termometer hvori man har en væske, der udvider sig ved opvarmning, fx kviksølv. Når væskens termiske energi øges, får de enkelte atomer og molekyler større mikromekanisk energi, og deres fart øges. Dette resulterer i, at de skubber lidt mere til hinanden, og væsken fylder dermed mere. I mere moderne termometre udnytter man, at den elektriske modstand i en tråd vokser, hvis tråden opvarmes.

For at fastlægge en temperaturskala, må man have to fikspunkter. Den danske videnskabsmand Ole Rømer benyttede som den første i verden i 1692 vands frysepunkt og kogepunkt til at fastlægge sin skala, som dog ikke bruges længere. I Europa bruger vi i dag Celsius-skalaen, opkaldt efter den svenske astronom Anders Celsius, der i 1742 konstruerede en skala hvor vands frysepunkt var 100 grader og kogepunktet 0 grader. Efter hans død blev dette i 1750 byttet om.



Den engelske Lord Kelvin foreslog hundrede år senere - efter at han havde fastslået et absolut nulpunkt for temperatur på -273°C (her ligger alle molekyler og atomer helt stille og har den termiske energi 0), at man skulle lave en ny skala med udgangspunkt i dette absolute nulpunkt. Denne skala bærer i dag hans navn.



Temperaturen målt i Celsius-skalaen kalder vi t og vi kalder enheden "grader Celsius" $^{\circ}\text{C}$, mens vi kalder temperaturen målt i Kelvin-skalaen for T og vi kalder enheden "Kelvin" K, altså ikke noget med "grader". Når det gælder temperatur-forskelle er de to enheder lige store: $1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$.

Den kinetiske energi af molekylerne i en gas er simpelthen proportional med gassens Kelvin-temperatur. Hvis fx molekyldens kinetiske energi fordobles, bliver Kelvintemperaturen fordoblet.

Helt så simpelt er det ikke, når det drejer sig om energi, der tilføres væsker eller faste stoffer. Men der er dog en lineær sammenhæng mellem den tilførte energi og temperaturen, idet der gælder:

$$\Delta E_{\text{term}} = m \cdot c \cdot \Delta T ,$$

hvor ΔE_{term} er tilvæksten i indre energi, m er massen af det der opvarmes, ΔT er temperaturstigningen og c er den såkaldte **specifikke varmekapacitet** eller **varmefylden** for det stof, der opvarmes.

At varmefylden for vand er 4186 J/(kg·°C) betyder at der skal tilføres 4186J for at opvarme 1kg vand med 1°C.

Substance	$c/\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	Substance	$c/\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
Aluminium	900	Ice	2100
Iron/steel	450	Wood	1700
Copper	390	Nylon	1700
Brass	380	Rubber	1700
Zinc	380	Marble	880
Silver	230	Concrete	850
Mercury	140	Granite	840
Tungsten	135	Sand	800
Platinum	130	Glass	670
Lead	130	Carbon	500
Hydrogen	14000	Ethanol	2400
Air	718	Paraffin	2100
Nitrogen	1040	Water	4186
Steam	2000	Sea water	3900

Den samme ligning gælder ved afkøling. Her er ΔE_{term} og ΔT blot negative (Når en størrelse aftager siger vi, at dens tilvækst er negativ).

Formlen gælder ikke, hvis stoffet befinner sig ved en faseovergang. Tilføres energi til is ved 0°C, går energien til smelting, tilføres energi til vand ved 100°C, går energien til fordampning, og omvendt, hvis der fjernes energi.

Den energi der går til at smelte/fordampe en mængde af et stof ved dets (smelte/kogepunkt) er givet ved:

$$\Delta E_{\text{term}} = m \cdot L$$

Hvor ΔE_{term} er den tilførte termiske energi, m er massen af den mængde der ændre fase og L er stoffets specifikke smeltevarme (skrives L_s) eller fordampningsvarme (skrives L_f), alt afhængig af hvilken faseovergang der betragtes.

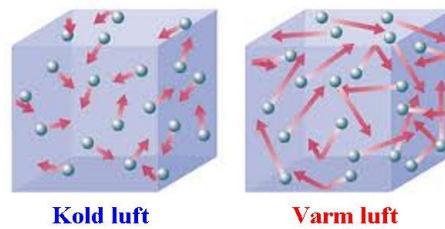
Stof	Specifik smeltevarme L_s (kJ/kg)	Smeltepunkt °C	Specifik fordampningsvarme L_f (kJ/kg)	Kogepunkt °C
Aluminium	397	659	10778	2327
Bly	25	327	871	1750
Vand	334	0	2260	100

At smeltevarmen for vand er 334kJ/kg betyder at der skal tilføres 334kJ for at smelte 1kg is ved smeltepunktet. Omvendt betyder det også at der skal fjernes 334kJ for at fryse 1kg vand ved smeltepunktet.

Opgaver:

11. En jerngryde har massen 1,5kg. og indeholder 1,5kg vand.
Hvor meget koster det at varme det hele op fra 20 til 100 grader Celsius, når 100kJ koster 6 øre, og der ikke er spild ?
12. En messingklods bliver tilført energien 520J hvorved dens temperatur stiger 4K. Hvad vejer klodsen?
13. På Fynsværket i Odense er installeret en vandtank, der rummer 12000m^3 vand. Værket producerer både el og varme. Når der ikke er spidsbelastning på el-siden, opvarmes vandet i tanken til ca. 90°C , og under spidsbelastningsperioder kan man så trække på den oplagrede energi ved at afkøle vandet til ca. 60°C . Hvor står en energimængde kan der herved hentes fra energilageret.
Hvilken pris svarer dette til, hvis vi sætter 1MJ til 0,60 kr.
14. Lise synes vandet i badekaret er for koldt. Der er 400kg (dvs. 400Liter) ved en temperatur på 31°C , men hun vil gerne have det op på 37°C . Hun koger vand i en kogekedel og hælder 100°C varmt vand i karret indtil blandingen når temperaturen 37°C . Hvor meget kogende vand skal hun hælde i, og hvad har energitilførslen kostet, hvis vi benytter prisen 6 øre for 100kJ.

15. I et rum med volumen 200 m^3 ønsker man at varme luften op fra 7°C til 22°C . Luft vejer $1,3\text{kg/m}^3$. Hvad ville denne opvarmning ideelt set koste, hvis 100kJ koster 6 øre?



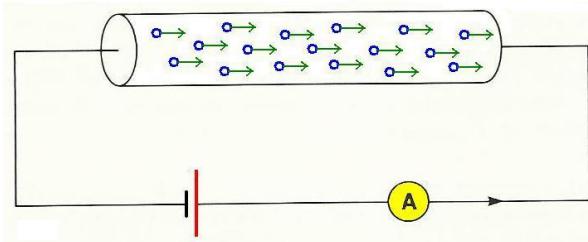
Elektrisk energi

Benjamin Franklin og hans assistent prøver at hente strøm fra en tordensky. Prøv endelig ikke at gentage forsøget.

Det meste af vores moderne teknologi bygger på virkningerne af elektriske ladninger, som bevæger sig.

Elektriske ladninger i bevægelse kalder vi **elektrisk strøm**.

Når enderne af en kobbertråd forbindes til en strømforsyning, bevæger elektronerne i kobbertråden sig (fortrinsvis) i samme retning.



Hvis der er skudt et amperemeter ind i kredsløbet viser det **strømstyrken** i kredsen. Strømmens retning er pr. definition den retning, positive ladninger skulle bevæge sig i for at frembringe de samme virkninger som strømmen

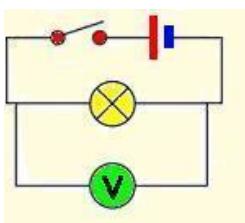
gør. Da elektronerne er negativt ladede, bevæger de sig i den modsatte retning af strømretningen.

Men hvad får ladningerne til at bevæge sig?

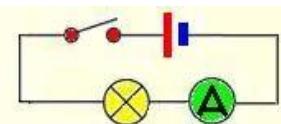
Det kan lette på forståelsen at sammenligne strømmende elektriske ladninger i et kredsløb med strømmende vand i kanaler. På samme måde som højdeforskelle (og det, at det sker i et tyngdefelt) får vandet til at strømme i kanalerne, er det **spændingsforskelle** eller **spændingsfald**, der får ladningerne til at strømme i et elektrisk kredsløb.

Ligesom man kan lave et lukket kredsløb af vand i kanaler, hvis man et sted i kredsløbet har en form for elevator til at løfte vandet op, kan man få ladninger til at strømme i et lukket elektrisk kredsløb, hvis man et sted har en "**ladnings-elevator**". Det kalder vi den bare ikke, vi kalder den en "**strømforsyning**", og det kan være et **batteri** eller en stikkontakt, der er forbundet til et kraftværk.

Vi bruger en række særlige symboler i elektriske kredsløb. Her vises et kredsløb med strømforsyning, pære og kontakt. Spændingsfaldet over pæren måles med et **voltmeter**. Et voltmeter sættes altid ind i en parallel-forbindelse hen over den komponent, man vil måle spændingsfaldet over.



Her vises et lignende kredsløb, hvor vi i stedet måler strømstyrken igennem pæren med et **amperemeter**. Et amperemeter sættes altid ind i en serieforbindelse med den komponent, man vil måle strømmen igennem.



Skal vi have omsat energi fra strømmende vand, kan vi se at energien i det strømmende vand må være proportional med vandets strømstyrke (fx målt i Liter vand pr sekund) og højdeforskellen fra start til slut for det strømmende vand. Og naturligvis den tid, som vandet har strømmet i - dobbelt så meget energi på 2 timer som på 1.



Helt i tråd med dette er den elektriske energi omsat i en komponent lig **strømstyrken · spændingsfaldet · tiden:**

$$\Delta E_{\text{el}} = I \cdot U \cdot \Delta t ,$$

hvor ΔE_{el} er den omsatte elektriske energi, I er strømstyrken, U er spændingsfaldet og Δt er den forløbne tid.

Der gælder at: $1\text{J} = 1\text{A}\cdot\text{V}\cdot\text{s}$

Opgaver:

16. Udfyld de tomme rubrikker i skemaet:

U/V	100	20	10		16	50
I/A	2		10	2	10	5
$\Delta t / \text{s}$	25	5		10	5	
$\Delta E_{\text{el}} / \text{J}$		400	400	60		1000

17. Gennem en kogekedel, som får strøm fra en stikkontakt med 240V, løber en strømstyrke på 7A. Hvor stor en elektrisk energi omsættes der i kogekedlen i løbet af et minut? Hvad er regningen til elselskabet for et minut, hvis 100kJ koster 5 øre?

18. Et godt 1,5V AA-batteri kan have et energiindhold på 9000J. Vurder hvor længe det kan leve en strømstyrke på 1A under et spændingsfald på 1,25V.

19. I et hus er stand-by strømstyrken fra to fjernsyn, to stereoanlæg og en subwoofer på i alt 0,25A. Spændingen er på 240V. Hvad koster denne stand-by strøm på et år, når 100kJ koster 6 øre?

20. En hårtørrer forbundet til en 240V stikkontakt er tændt i 10 minutter, og strømstyrken gennem den er på 6,25A. Nu er far sur. Men hvad har det kostet, når prisen er som i opgave 19?

Effekt

Det er sjældent nok at se på, hvor stor en energi, der bliver omsat i en proces. Ofte er det vigtigere at se på, hvor hurtigt det er gået, hvilken tid, der er brugt.

Vi definerer en energiomsætnings effekt ved den omsatte energi divideret med den forbrugte tid:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t},$$



hvor P er effekten (engelsk: Power), ΔE er den omsatte energi og Δt den tid, det har taget.

Den grundlæggende SI-enhed for effekt er Watt = W. Det kan ses, at der gælder $1W = 1J/s$.

Hvis man på begge sider af lighedstegnet ganger med Δt , får vi:

$$\Delta E = P \cdot \Delta t,$$

som er nyttig, når man kender effekten (fx en elpære, en hårtørrer, eller en kogekedel).

Denne sidste ligning er også den der et taget i brug, når man afregner sit elforbrug med en elleverandør i energi-enheden kWh, kilowatttime: 1 kWh er den energi, der er omsat, når man har "forbrug" effekten 1kW i en time (h = hour/heure). Vi kan udregne, at:

$$1kWh = 1kW \cdot 1h = 1000W \cdot 3600s = 3600.000J = 3,6MJ.$$

Da James Watt i midten af 1700tallet skulle sælge sin nye forbedrede dampmaskine til de engelske mineejere, fandt han på at sammenligne sine maskiners maksimale effekt med hvad heste kunne formå i stedet. Han indførte effektenheden 1 hestekraft = 1hk, som i vores SI-enheder er den effekt der ydes, når en masse på 75kg bliver løftet 1m på 1s.



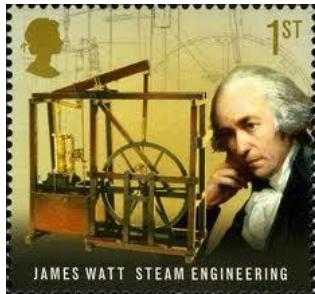
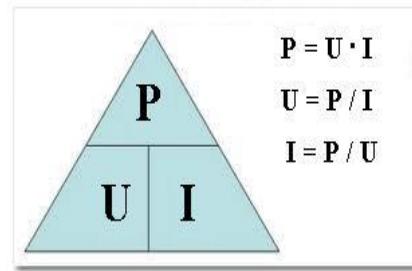
Opgaver:

21. Kontroller, at $1hk = 736W$.
22. Kan du yde effekten 1hk, hvis du spurter op ad en trappe alt hvad du kan?
23. En 60W pære står tændt i 2 uger. Hvad er elregningen, hvis 100kJ koster 6 øre?
24. En kran løfter en sæk på 50kg 6m op i luften med effekten 1000W. Hvor lang tid tog det?
25. Hvor mange hestekræfter var kranens ydede effekt på?

Den effekt, som elektrisk energi omsættes med i en komponent (motor, elpære, kogekedel etc.) får et særligt simpelt udtryk, idet Δt kan forkortes væk fra tæller og nævner:

$$P_{el} = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta t} = \frac{I \cdot U \cdot \Delta t}{\Delta t} = U \cdot I,$$

hvoraf vi bl.a. kan se, at $1W = 1V \cdot A$.



Opgaver:

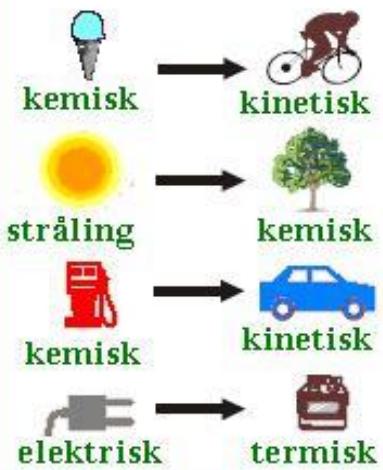
26. En kogekedel er påtrykt "2000W" og en hårtørrer "1400W". Kan de være tændt samtidigt, når de begge er tilsluttet en 240V "gruppe" i huset, der er sikret med en 13A sikring?
27. Et kraftigt lyn udlades over et spændingsfald på 50MV og med en strømstyrke på 20kA. Med hvilken effekt omsættes energien?
28. Hvad er den omsatte energi i lynet ovenfor, når udladningen tager 0,05 sekund?
29. Hvor mange af sådanne kraftige lyn skal der til for at energiudladningen svarer til Hiroshima- atombomben (se s.58)
30. En elevator, der er drevet af en elektrisk motor tilsluttet "kraft", hvilket er daglig tale for 400V, skal løfte 1000kg (inklusiv vægten af elevatorkabinen selv) 12 meter på 6 sekunder. Hvad er strømstyrke i motoren, hvis vi (urealistisk) antager, at al den elektriske energi går til at løfte elevatorkabinen?



Energiomsætning og nyttevirkning

Det er på en måde forkert, når vi taler om, at vi bruger energi, for **energi forsvinder ikke**. Vi får omdannet en form for energi til en anden form for energi, men problemet er, at ikke alle former for energi er lige nyttige for os. Vi kunne dække jordens "energiforbrug" i mange år, hvis vi havde en mekanisme, der kunne trække energi ud af verdenshavene, og fx sænke deres temperatur en enkelt grad. Men sådan en mekanisme eller proces, kan aldrig findes.

Energiomsætninger



Forskellige energiformer kan omsættes til hinanden, men termisk energi ved gennemsnitlige temperaturer kan ikke blive til andre energiformer. Ofte er den termiske energi, der er opstået i en proces ikke nyttig for os, og vi betragter den som "spild", og vi taler ofte om "varmetab".



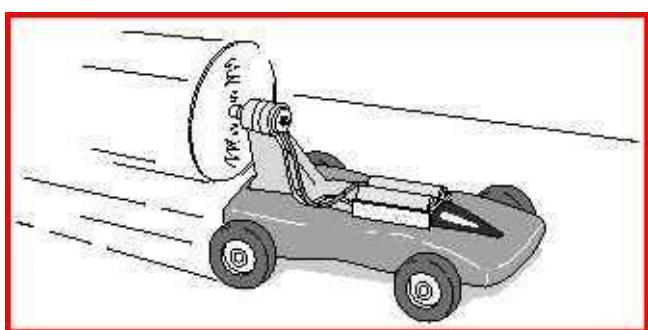
Når fx en elektromotor bruges til at hejse stakke af mursten op på et stillads, omdannes den elektriske energi, som motoren modtager, til potentiel energi af murstenene. Men en del af den modtagne elektriske energi bliver også til termisk energi i motoren, og det kan vi typisk ikke bruge til noget fornuftigt.

Vi indfører derfor den såkaldte **nyttevirkning**, som er den brøkdel den nyttiggjorte energi udgør af den modtagne energi i en proces. Vi angiver ofte nyttevirkningen i procent, og vi vil altid gerne have den så stor som mulig:

$$\eta = \frac{\text{nyttiggjort energi}}{\text{omsat energi}} = \frac{\Delta E_{nyttig}}{\Delta E_{omsat}} = \frac{P_{nyttig}}{P_{omsat}},$$

hvor vi for nyttevirkningen bruger bogstavet η , det græske "eta"/e (for "efficiency"). Det ses, at nyttevirkningen også kan udregnes som forholdet mellem den "nyttige effekt" og den samlede omsatte effekt. **Nyttevirkningen** kaldes også til tider **effektiviteten** eller **virkningsgraden**.

Evighedsmaskine? Det kan ved første øjekast måske se genialt ud: Den elektriske bil drives frem af et batteri. En propel udnytter bilens fart i forhold til luften, propellen snurrer rundt, og oplader derved batteriet. Hvad er der galt med opfindelsen?



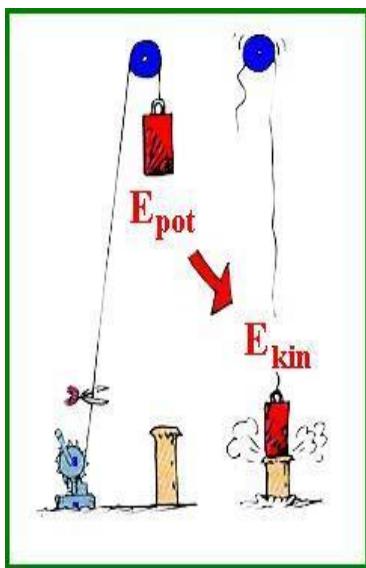
Mekanisk energi

Som tidligere nævnt sammenfatter vi den potentielle energi og den kinetiske energi af et legeme i den **mekaniske energi** for legemet:



$$E_{\text{mek}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}$$

Når et legeme bevæger sig i tyngdefeltet, og gnidningskræfterne er minimale, og der dermed ikke omdannes energi fra E_{mek} til termisk energi, og der heller ikke er andre energiformer involveret, er **E_{mek} konstant**, og der sker blot omdannelser mellem den potentielle og den kinetiske energi.



Når en genstand falder nedad, omdannes dens potentielle energi løbende til kinetisk energi, og dermed vokser dens hastighed.

Omvendt hvis man kaster en ting opad: I takt med at højden øges, tiltager den potentielle energi, og dette sker på bekostning af den kinetiske energi. Farten aftager. Når al den kinetiske energi er blevet "ædt" og er blevet til potentiel energi, kan tingen ikke stige højere, men begynder at falde ned igen.

Hvis genstanden til sidst rammer jorden eller en pæl (som til venstre), omdannes den mekaniske energi til termisk energi.

Dette kan måles ved at pælen og jorden omkring den er blevet en smule varmere.

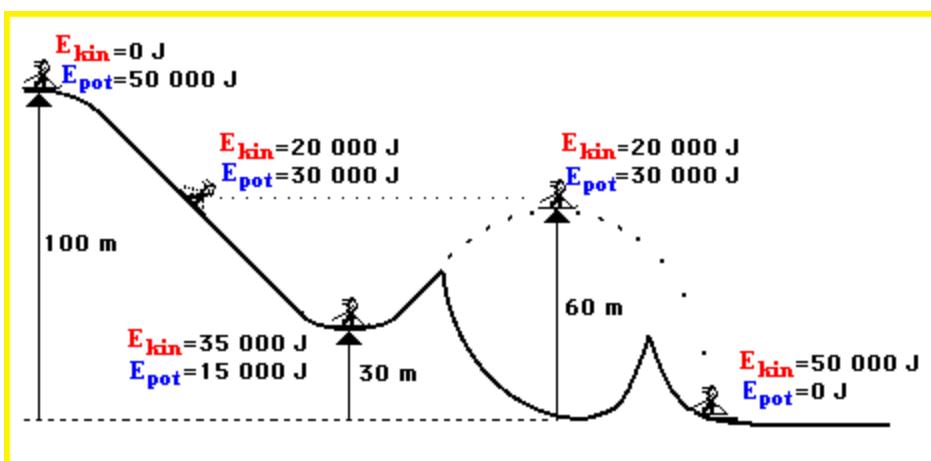
I eksemplet med den hoppende bold ovenfor bliver ca. 1/3 af den mekaniske energi omdannet til termisk energi, når bolden rammer jorden (hvordan kan man se det?)

Opgaver:

31. I eksemplet til højre har vi en skiløber med masse $m = 50 \text{ kg}$, og tyngdeaccelerationen er sat til: $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Regn hendes fart ud de forskellige steder.

Angiv også farten i enheden km/h.



32. En bold med massen 0,5kg tabes ned i skolegården fra et vindue i højden 12m. Den rammer asfalten og hopper op igen efter at have mistet 40% af sin energi.

- a) Hvor højt når bolden op igen ?
- b) Med hvilken fart ramte bolden jorden første gang.
- c) Med hvilken fart rammer den jorden anden gang.

33. Tyngdekraften på lærerens taske er 187N. Hvad er massen af tasken?

34. En elektromotor hæver langsomt et lod med massen 50g. Loddet hæves 40cm på 5sekunder.

- a) Beregn motorens ydede effekt.
- b) Beregn motorens nyttevirkning, når den får tilført en effekt på 0,20W.

35. En duelort, der vejer 2g løsnes fra en due på et tag 14m over fortovet.

- a) Beregn duelortens potentielle energi, når vi lader fortovet være nulniveauet.
- b) Den falder ned og rammer en 2m høj ord lærer i hovedet.

Beregn den fart, som den rammer lærerens hoved med.

36. Et elektrisk hejseværk bruges til at løfte stakke af mursten 8m lodret opad på en byggeplads. Motoren forsyner med en elektrisk spændingsforskel på 240 V.

- a) Mens den løfter en stak mursten er strømstyrken gennem motoren på 5,5 A. Beregn den elektriske effekt, som motoren omsætter under løftet.
- b) Beregn den elektriske energi som overføres til motoren under et løft, der varer 12 sekunder.
- c) En stak mursten, der løftes op, har massen 65 kg. Hvor meget potentiel energi tilføres denne stak, idet den løftes op?
- d) Beregn motorens nyttevirkning ud fra oplysningerne i punkterne a) - c).
- e) Motoren løfter 10% af tiden under en arbejdssdag på 8 timer. Hvor stor er energiregningen for løfteriet med motoren, når 1kWh koster 2 kr.



37. En 60W pære får strøm fra et vandkraftværk, hvor vandets faldhøjde er 120m. Hvor mange liter vand skal der falde, for at pæren kan lyse i en time, når nyttevirkningen i kraftværket kan sættes til 85%?

38. En kedel med 16 °C vand sættes på en varmeplade med effekten 1,2 kWh. Det tager 7 minutter før vandet koger.

- a) Beregn den energi, der er blevet tilført vandet for at få det op på kogepunktet.
- b) Beregn hvor meget vand, der har været i kedlen, idet vi ser bort fra at vi har brugt energi på at varme kedlen op, og vi ser bort fra varmetab til omgivelserne.

39. Et stykke jern med massen 1 kg falder ned fra et stillads 14 m oppe i luften. Den rammer jorden hvorved dens oprindelige potentielle energi bliver omsat til termisk energi. Halvdelen af denne termiske energi går til jorden, medens den anden halvdel går til at varme jernstykket op.

Hvor mange grader stiger jernets temperatur, når det kan oplyses, at jerns specifikke varmekapacitet er 0,45 kJ/kg·K.?

40. En person drikker et stort glas koldt vand: 250 gram vand med temperaturen 8 °C.

- Hvor stor en energi skal der overføres fra personens krop til vandet for at varme det op til en legemstemperatur på 37 °C ?
- Personen kunne have drukket samme mængde sodavand ved 8 °C i stedet. Varedeklarationen oplyser, at næringsværdien af sodavand er 190 kJ pr 100 g. Må kroppen netto afgive eller modtage energi, når hun drikker sodavanden ?
- Gør rede for, om man kan slanke sig ved at spise rigelige mængder af meget kold vaniljeis.

41.

Tour de France



En cykelrytter i Tour de France indtager dagligt en energimængde på 33 MJ gennem føden. Af denne energimængde går 7 MJ til hvilestofskiftet, dvs. til energi, som kroppen omsætter i hvile. De resterende 26 MJ af den indtagne energimængde omsættes under en etape. I denne opgave skal du vurdere, hvad denne energimængde i det væsentlige omsættes til.

En bjergetape har en stigning på 1800 m. Rytteren med cykel har massen 75 kg.

Hvad er forholdet mellem tilvæksten i potentiel energi under etappen og den energi, som omsættes under etappen?

42. I solrige lande kan man skaffe sig varmt vand til brusebad ved at hænge en vandfyldt sort plasticsæk op i solen. En sådan "solsæk" indeholder 15 L vand og modtager varme fra solen med effekten 120 W.

- Hvor meget energi skal 14 °C varmt vand tilføres før det når en temperatur på 40 °C ?
- Hvor lang tid varer det før temperaturen er steget fra 14 °C til 40 °C ?



43. En dreng taber en kobbermønt fra Rundetårn 35 m ned på asfalten. Kobbers specifikke varmekapacitet er 0,39 kJ/kg·K.

Hvor mange grader stiger møntens temperatur, hvis halvdelen af energien går til at opvarme den ?

44. Fra en højde på 3m over jorden kastes en bold med massen 60g lodret op i luften med en fart på 12m/s.

- Hvor højt når bolden op ?
- Hvor stor er boldens fart, når den senere rammer jorden ?
- Hvor højt når bolden nu op ?

45. Onde elever kaster en lærer 8m ned fra en bro. Med hvilken fart rammer han jorden? Angiv også farten i km/h.

46. En dreng kælker ned ad en 10m høj bakke. Han vejer 16kg og kælken vejer 4kg. Hvilken fart har han ved bunden af bakken, hvis vi ser bort fra gnidning? Behøvede vi at vide, hvad han og kælken vejede?



47. Tænk på en bil, der kører med en vis fart. Hvad er farligst at blive ramt af: a) En tre gange så tung bil, der kører dobbelt så hurtigt, eller: b) en dobbelt så tung bil, der kører tre gange så hurtigt?



Brændværdi

Den kemiske energi, der frigøres ved afbrænding af olie, kul og gas i kraftværker og ovne, og ved ”afbrænding” af fødevarer i kroppen, udtrykkes ved hjælp af brændværdien **B**. Den angiver, hvor meget energi, der frigøres pr. masseenhed:



$$E = B \cdot m,$$

hvor **E** er energien, **B** er brændværdien, og **m** er massen af den afbrændte brændstof.

	Flis	Affald	Halm	Kul	Fyringsolie	Diesel
	8-9	9-10	14-15	23-28	41,5	42,0
M J/kg						

På figuren til venstre er angivet brændværdien for en række almindeligt forekommende brændstoffer i dagens Danmark.

Til højre er tabeller over forskellige fødevarers brændværdier

Energiindhold	
Protein	17 kJ/g
Fedt	38 kJ/g
Kulhydrat	17 kJ/g
Alkohol	30 kJ/g

Energiindholdet i forskellige fødevarer		
Fødevare	Energiindhold pr. gram (brændværdi)	kJ/g
agurk		0,3
appelsin		1,5
bacon, rå		26,0
sodavand		1,8
hvidvin		2,6
yoghurt		3,6
kakaomælk		3,1
kalkun		5,3
letemælk		2,0

LYD OG LYS

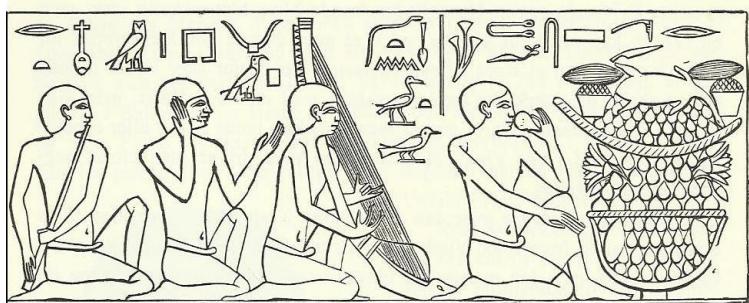
BØLGELÆRE, LYDBØLGER,

LYS SOM BØLGER OG SOM PARTIKLER,

SANSNING AF LYS OG LYD



Vibrationer og svingninger



Harpe- og Fløjtespil hos de gamle Ægyptere.



Vi ser overalt, bevægelser der gentager sig:
Sætter vi en gynge i gang, vil den fortsætte med at svinge på (næsten) samme måde, sætter vi en karrusel i gang vil den fortsætte med at dreje rundt på (næsten) samme måde, jorden løber rundt om solen igen og igen på samme måde, anslår vi en stemmegaffel eller en guitarstreng, vil den fortsætte med at svinge på samme måde.

Sådanne fænomener kalder vi **periodiske**, og selve bevægelserne kan vi kalde **oscillationer**, **svingninger**, **rotationer** eller **vibrationer**.

Den tid der går fra at fænomenet er i en bestemt tilstand til det næste gang er i samme tilstand, altså tiden det tager for en "cyklus" kalder vi **perioden T** .

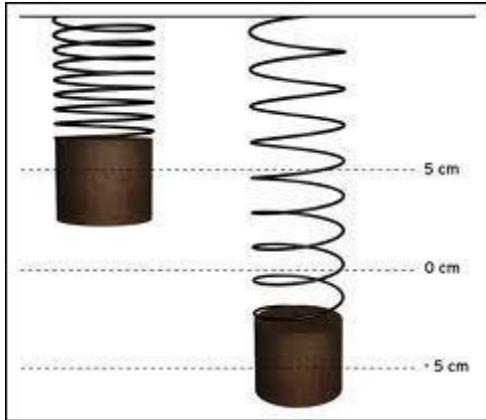
Antallet af cyklusser eller svingninger pr. sekund kalder vi **frekvensen f** .

Hvis der er f svingninger på 1 sekund, må hver svingning vare $\frac{1}{f}$ sekund. Vi har altså

$$(1.1) \quad T = \frac{1}{f} \quad \text{og omvendt} \quad f = \frac{1}{T}$$

Enheden for f bliver $s^{-1} = Hz$, Hertz eller "per sekund".





Eksempel 1:

Hvis en metronom svinger frem og tilbage 2 gange i sekundet, er frekvensen $f = 2 \text{ Hz}$, og tiden for en svingning, altså dens periode $T = 0,5\text{s}$.

Den største forskydning fra ligevægtsstillingen i midten af en svingning, kaldes svingningens **amplitude**. På figuren til venstre er amplituden 5cm.

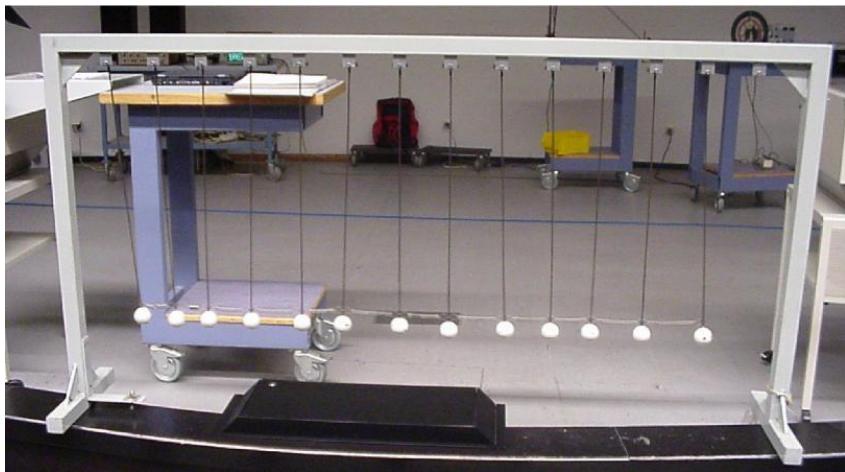
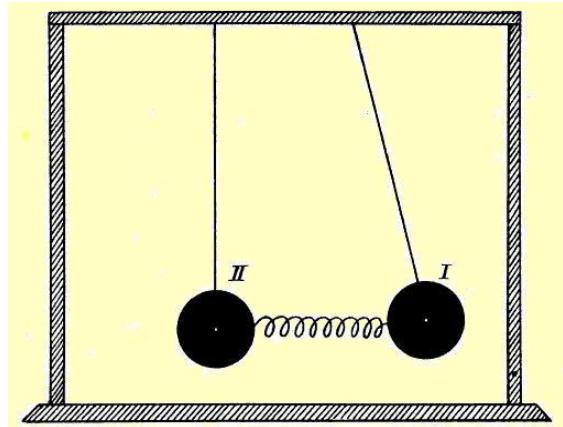
Resonans

Det er muligt - og almindeligt - at et svingende system eller en oscillator fremprovokerer lignende svingninger i naboomgivelser, som de kan være forbundet med på forskellige måder.

Sådan et respons kan være stort, hvis de to oscillatorers naturlige frekvens er den samme: De kan give sig til at svinge i takt, ofte lidt forskudt, vi kalder det **faseforskudt**.

Og vi siger at den ene oscillator skaber **resonans** i den anden.

Hvis vi skubber et barn i en gynge en lille smule på de rigtige tidspunkter, kan gyngen komme i store resonanssvingninger med en bestemt frekvens, **resonansfrekvensen** eller **egenfrekvensen**.



Man kan koble en lang række penduler sammen med små fjedre eller vægt-belastede snore i fx Lings bølgeapparat (til venstre) og på den måde studere, hvordan en mængde koblede oscillatorer kan give anledning til en hel bølgeudbredelse.



Resonans kan være godt, når det drejer sig om musikinstrumenter, men når det kommer til broer og høje bygninger skal man passe på med at indrette dem sådan, at de kan komme i selvsving, i såkaldte egensvingninger, som er resonanssvingninger med deres egenfrekvens.

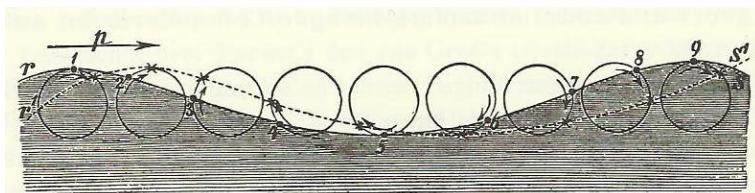
Ovenfor ses billeder af Tacoma Narrows Bridge USA, som åbnede i juli 1940 og hurtigt fik tilnavnet "Galloping Gertie", da den nemt kom i svingninger i blæsevejr. Det gik galt fire måneder senere, da den kollapsede under en storm. Find selv og se filmen heraf på YouTube.

Nikola Tesla - bl.a. opfinderen af den trefasede vekselstrøm - eksperimenterede meget med at sætte store systemer i resonanssvingninger. Han påstod at have sat dele af Manhattan i jordskævslignende svingninger, og hævdede sågar, at han kunne få hele jordkloden til at gå i stykker ved at sætte den i resonanssvingninger med dens egenfrekvens, som han mente at have regnet ud til ca. 8 Hz.

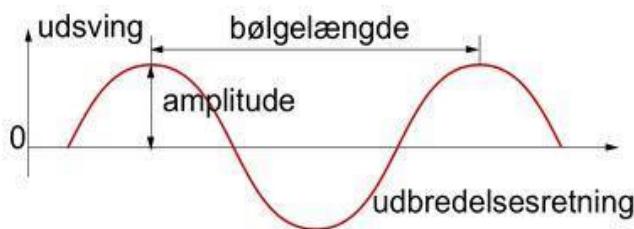
Nutidens bygningsingeniører lærer i dag, hvordan man kan bygge konstruktioner, så resonanssvingninger ikke opstår.

Bølger

Hvis man har et elastisk medium, kan en periodisk forstyrrelse udbrede sig, og på den måde give anledning til en bølge.

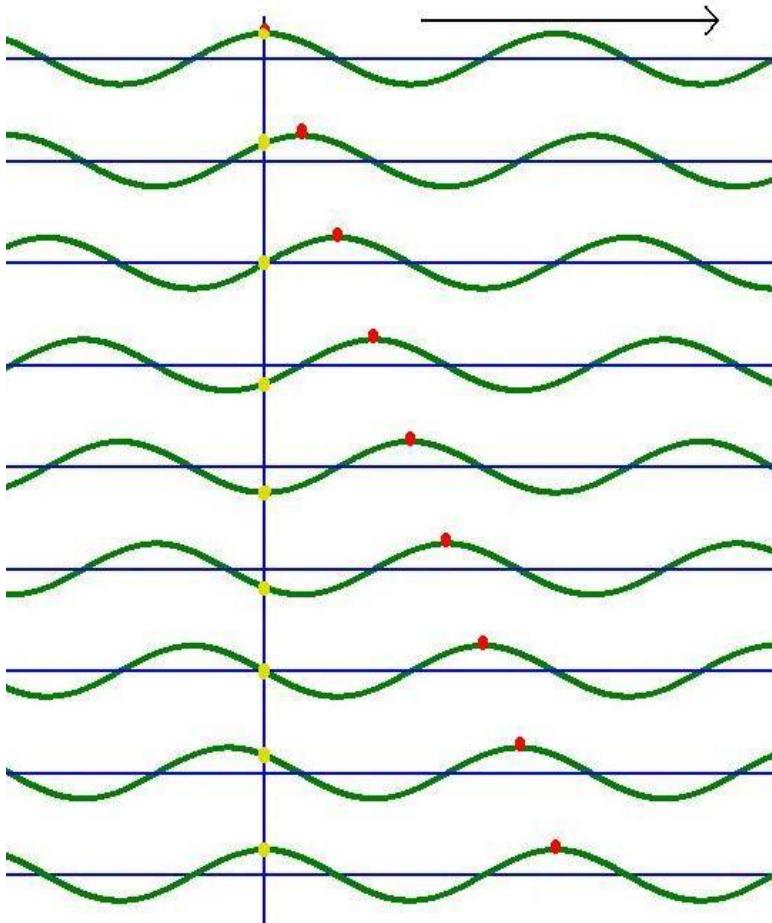


Vanddelenes Bevægelse forklarer Bølgebevægelsen.



Vi ser ofte sinus-formede bølger, og disse kaldes **harmoniske bølger**. En harmonisk bølge gentager sig selv efter en vis tidsperiode, svingningstiden T . Den gentager også sig selv efter en vis afstand, den såkaldte **bølgelængde** λ (det græske λ , der udtales "lambda").





Til venstre ses en række billede af en bølge der udbreder sig mod højre med en hastighed v .

Billedeerne dækker tilsammen et forløb på en svingningstid T .

Et punkt (gult) bliver på det samme sted og bevæger sig ned og op igen i løbet af en svingningstid.

Et andet punkt (rødt) bevæger sig med bølgens hastighed v og flytter sig dermed på den samme tid en bølgelængde λ til højre.

Bølgens hastighed, som den har bevæget sig med er altså:

$$(3.1) \quad v = \frac{\lambda}{T}$$

men da $\frac{1}{T} = f$ kan dette også skrives:

$$(3.2) \quad v = f \cdot \lambda .$$

En bølges udbredelseshastighed er altså dens frekvens \cdot bølgelængde. Dette kaldes **bølgeligningen**.

Lyd og lys er bølger, og **lydens fart** i luft er ca. 340 m/s. **Lysets fart** i luft (vacuum) kaldes $c = 300.000$ km/s.

Opgave 1:

Hvad er perioden for sekundviserens bevægelse på et ur, som taber et minut i døgnet?

Opgave 2:

Hvad er bølgelængden i luft for "kammertonen" som svinger med frekvensen 440 Hz ?

Hvad er bølgelængden for "nøglehuls C-et", hvis denne tone er stemt til 264 Hz ?

Opgave 3:

Nogle såkaldte jordstråleeksperter hævder, at jordstråler er elektromagnetiske bølger (som udbredes med lysets hastighed), at deres frekvens er omkring 7,5 Hz, og at de har en bølgelængde på 2 - 4 m. Hvad er der galt?

Opgave 4:

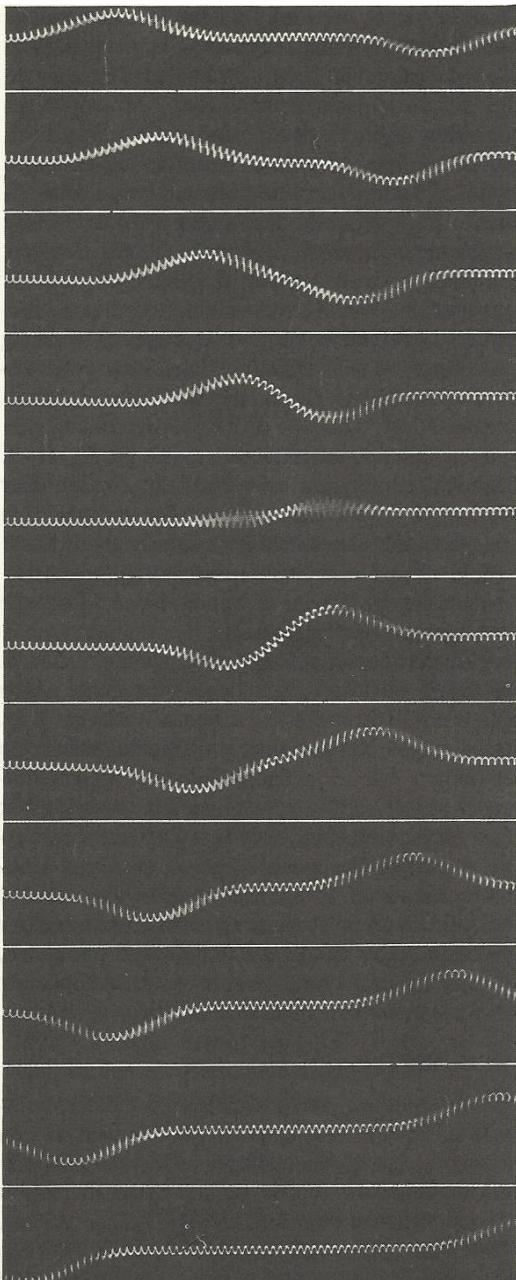
Det menneskelige øre kan registrere lyde med frekvenser fra ca. 20 Hz til ca. 20.000 Hz. Hvilke bølgelængder svarer dette til?

Bølgers interferens

En vigtig egenskab ved bølger - i modsætning til fx biler og mennesker - er, at de kan interferere. To bølger på tværs af hinanden kan kortvarigt nogle steder lave forstærkede bølgetoppe og andre steder ophæve hinanden. Vi taler i den forbindelse om **konstruktiv** og **destruktiv interferens**.



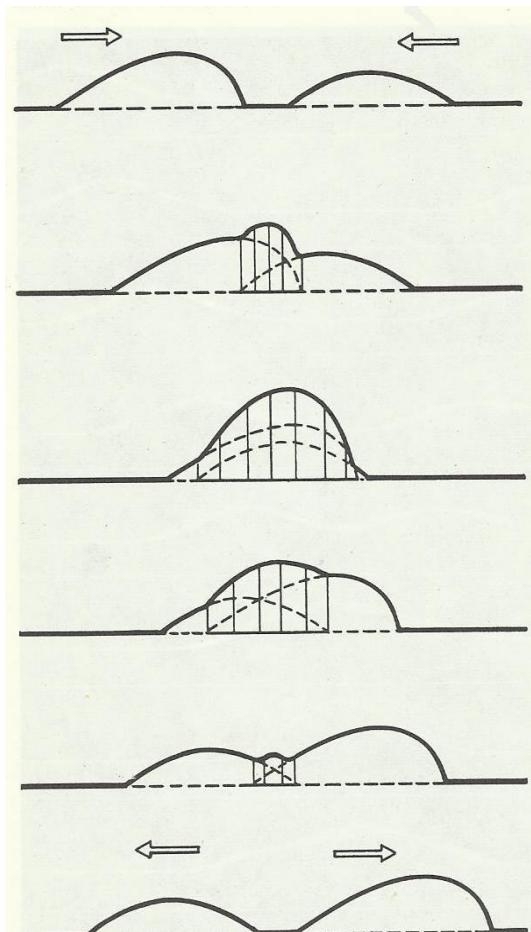
Bølger interfererer ved Skagens Gren



Superposition af to ens, modsatrettede bølger på en hvid spiralfjeder. På det femte billede ophæver de omrent hinanden.

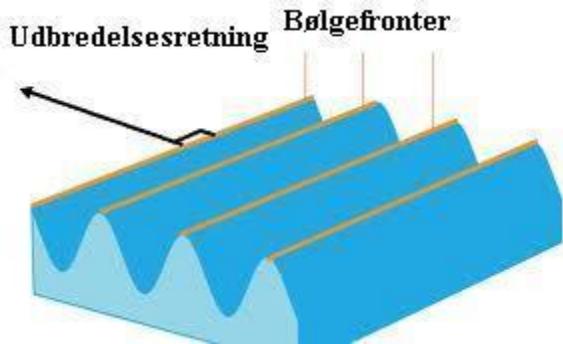
← destruktiv interferens ↓ konstruktiv interferens

Hvordan en interferens sker kan forklares ved hjælp af **superpositionsprincippet**: Det samlede udsving fås ved at lægge de enkelte bølgers udsving oven i hinanden - man laver en såkaldt superposition:



På denne
måde kan
bølger så
at sige gå
gennem
hin-
anden.

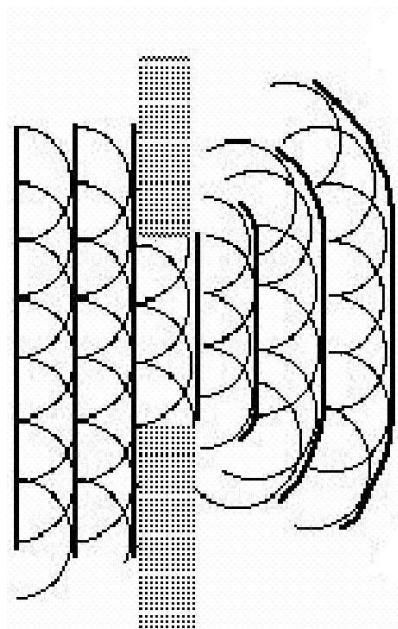
Superposition af to bølger. Udsvinget i den sammen-
satte bølge er lig med summen af udsvingene i de enkelte
bølger.



Hvis man vil studere bølgeudbredelse kan det være praktisk at sætte sig ind i **Huygens' princip**, opkaldt efter den hollandske astronom Christiaan Huygens, som formulerede det i 1690.

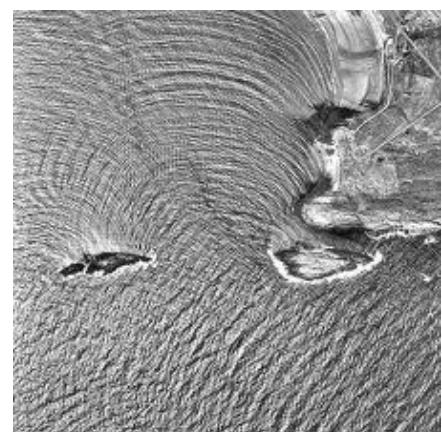
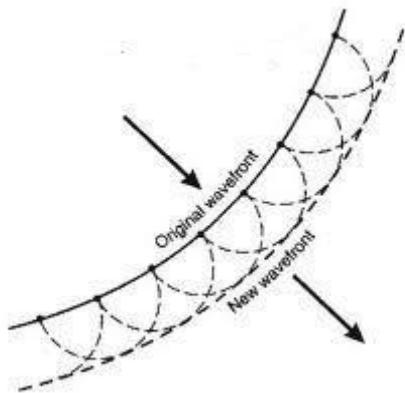
Princippet omhandler "bølgefronter", en række af parallele bølgetoppe vinkelrette på udbredelsesretningen.

Huygens' princip fortæller, at ethvert punkt på en bølgefond kan betragtes som udgangspunkt for en række små cirkelbølger - elementarbølger - og nye bølgefondene længere fremme i bølgeudbreddelsen kan findes som den konstruktive interferens af disse uendeligt mange elementarbølger



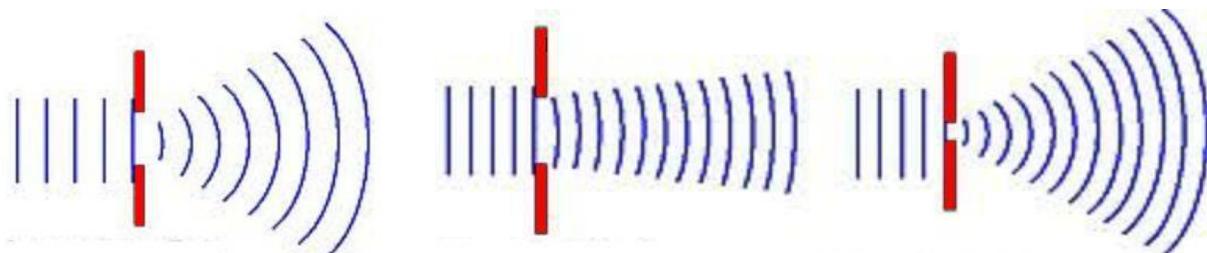
Huygens' princip er især brugbart, når man skal analysere hvad der sker, når bølger møder en forhindring eller et hul i en mole eller væg.

Bølgerne går i et vist omfang "om hjørner", og fænomenet er særligt udtalt, når bølgelængden er af næsten samme størrelse som hullet. Er hullet meget større end bølgelængden ses det knap så udtalt.



Fænomenet kaldes **diffraktion** eller **bøjning**, og princippet er illustreret nedenfor.

At radiobølger går om hjørner har stor praktisk betydning for modtagelse af radio, TV og mobil.

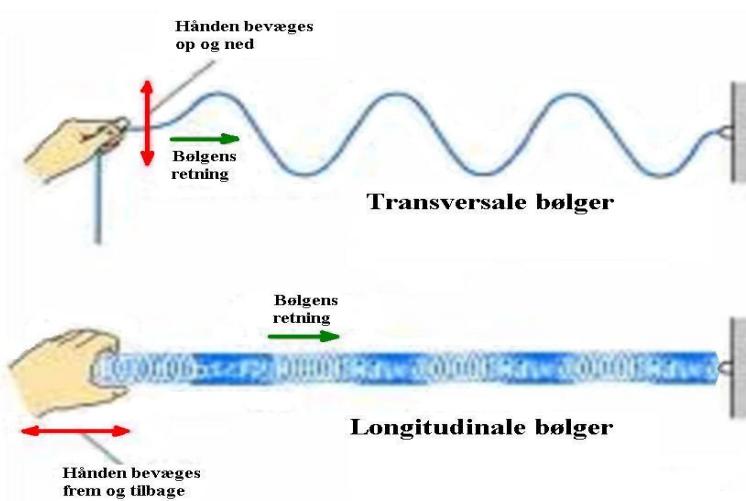
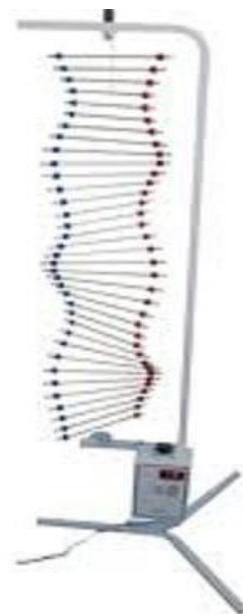




Eksperimenter:

De fleste fysiksamlinger har diverse bølge-apparater, man kan eksperimentere med.

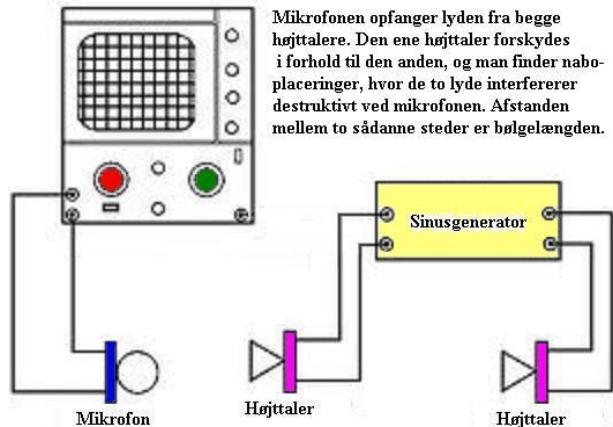
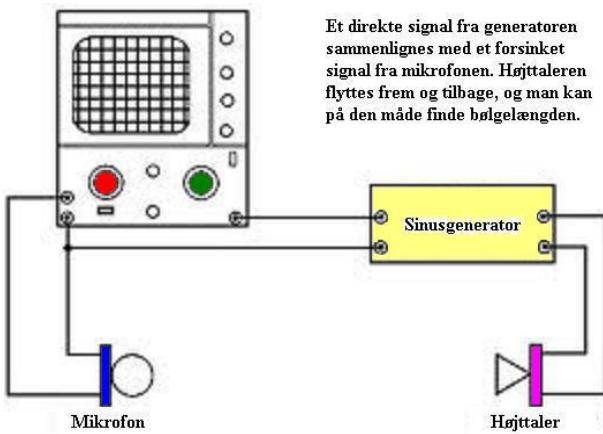
På side 75 var afbildet Lings bølgeapparat, og her en "Echelle du Perroquet", eller "Papegøjestige": En række vandrette "fysiske penduler" er forbundet med et stramt torsionsbånd.



Med forskellige fjedre kan man illustrere tværbølger - bølger som har deres udsving på tværs af udbredelsesretningen, og længdebølger - bølger der har deres udsving på langs af udbredelsesretningen.

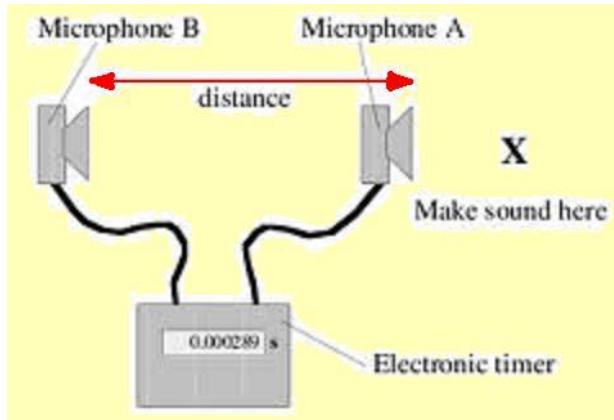
På korrekt fysikersprog kaldes disse bølger for hhv. transversale bølger og longitudinale bølger.

Lydens fart kan findes på mange måder. Her er to hvor man bruger et oscilloskop.



I de to ovennævnte eksperimenter aflæser man lydens frekvens på sinusgeneratoren, og lydens hastighed kan derefter findes ved hjælp af bølgeligningen.

Ti højre er skitseret hvordan man kan finde lydens fart direkte ved at måle en vej og den tilsvarende tid, lyden er om at tilbagelægge vejen ved hjælp af en elektronisk timer, der kan måle meget små tider.



Tænk på musik, du hører fra en afstand.

Opgave 5:

Opgave 5:

Nogle mennesker er bange i tordenvejr. Det siges, at hvis man dividerer 3 op i det antal sekunder, som går, mellem man ser et lyn og hører tordenskraldet, så får man det antal kilometer, som tordenvejret er borte. Hvordan skal det forstås, og passer det?

Opgave 6:

Er lydens fart den samme for alle frekvenser?

Opgave 7:

Lydens fart i vand afhænger af vanddybden (trykket), men i de indre danske farvande er 1500m/s en ganske god tilnærmelse. I et ekkolod måles den tid der går, fra en lydbølge sendes ned mod havbunden til den kommer tilbage igen som et ekko.

- Hvad er vanddybden, hvis ekkoloddet registrerer en forsinkelse på 0,0135 s?
- Hvilken forsinkelse svarer til dybden 23 m?

Opgave 8:

Hvor hurtigt skal man køre i enheden km/h for at "gennembryde lydmuren"?

Opgave 9:

I 1667 forsøgte Galilei som den første at måle lysets fart. Han sendte en medarbejder op på et bjerg med en lygte. Nede ved fodden tændte han om natten en lygte, der pegede mod hjälperen, hvorefter denne straks skulle tænde sin lygte. Galilei ville så måle forsinkelsen. Hvis vi ser bort fra reaktionstider, hvad skulle afstanden til hjälperen være, hvis han ville måle en forsinkelse på 0,1s?

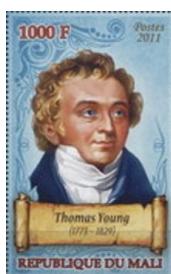
Dobbeltspalte og gitter

Ligesom radiobølger kan bøje sig omkring en bakketop, kan lys bøje sig omkring en tråd eller i en spalte. Hvis bølgerne kan nå frem til området bagved ad flere veje, kan de interferere, og lave steder med konstruktiv og destruktiv interferens.



I tilfældet med interferens i en enkelt spalte, må man forestille sig, at forskellige steder i spalten er udgangspunkt for elementarbølger, jævnfør Huygens' princip, og at disse på grund af forskelle i vejlængden hen til en skærm eller til øjet, kan ankomme med forskudte faser, og derfor nogle steder forstærke hinanden og andre steder svække hinanden.

Man kan selv se et interferensmønster fra lysets bøjning i en spalte ved at holde tommel- og pegefinger op tæt ved det ene øje i en passende lille afstand fra hinanden og kigge gennem mellemrummet med en lys baggrund.

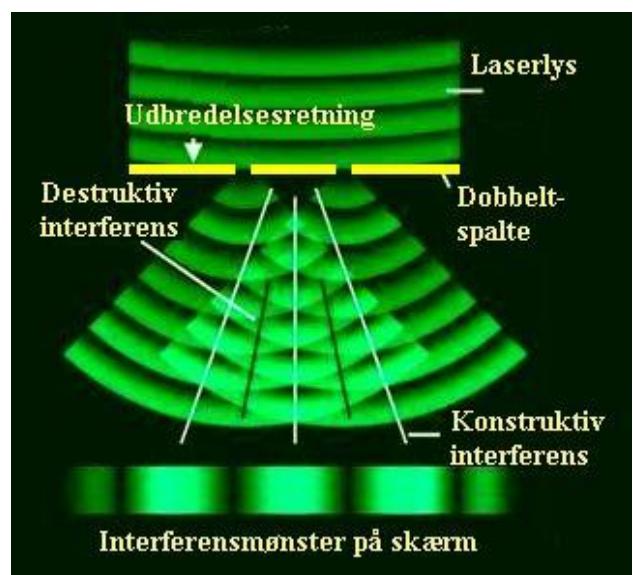


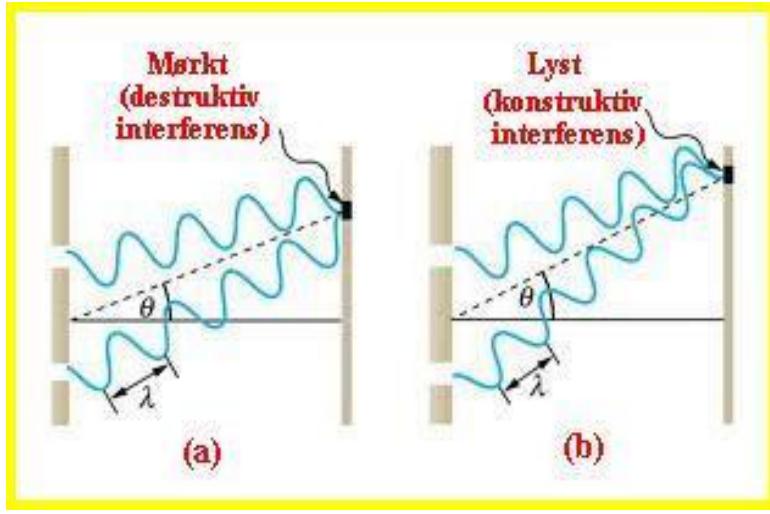
Man får en mere markant virkning ved at sende laserlys igennem en dobbeltspalte for derefter at ramme en skærm eller væg, og hermed efterligne et interferensforsøg, som englænderen Thomas Young beskrev første gang i 1801:

Bølger fra de to spalter interfererer med hinanden, og der bliver bestemte retninger i området bag ved spalterne, hvor bølgerne interfererer konstruktivt, og andre områder, hvor de interfererer destruktivt med hinanden.

Dette bevirket, at hvis man et sted bag spalterne opsamler lyset på en skærm, vil man se et interferensmønster med lyse og mørke pletter.

Det samme forsøg kan laves med ens lyd fra to højttalere: I rummet kan man opleve steder med kraftig lyd og andre steder med svagere lyd.



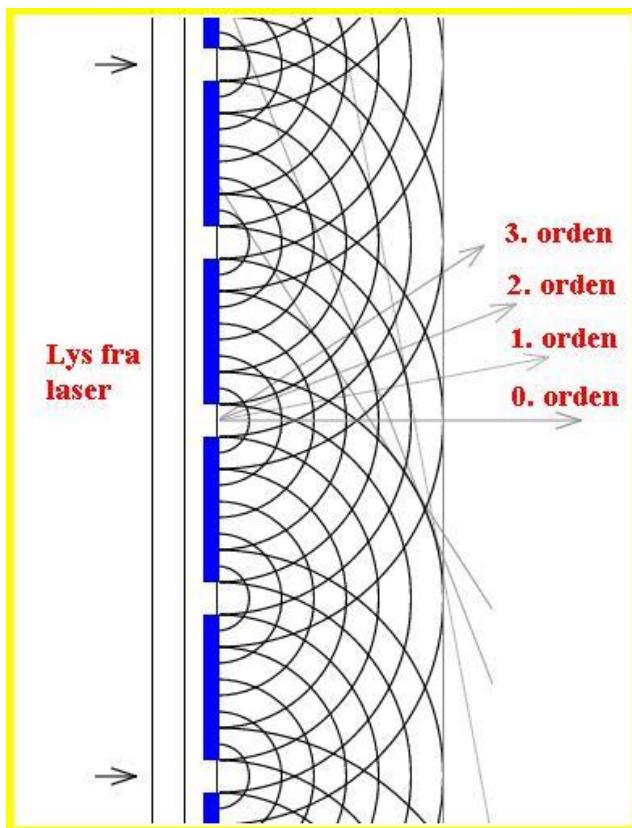


Hvis en bølge fra den ene spalte henne ved skærmen er i modfase til en tilsvarende bølge fra den anden spalte, vil de to bølger interferere destruktivt, og ikke give lys (a).

Hvis derimod en bølge fra den ene spalte et sted på skærmen ankommer i fase med en tilsvarende bølge fra den anden spalte, vil de interferere konstruktivt, og give lys (b).

Der er lys på skærmen når lyset ankommer i fase dvs. når lys fra den ene spalte har rejst lige så langt som lys fra den anden spalte, eller når forskellen i vejlængden er en, to, tre eller flere bølgelængder.

Man får en endnu mere markant virkning, hvis man skifter dobbeltpalten ud med mange spalter. Så har man et såkaldt **gitter**, **diffraktionsgitter** eller **afbøjningsgitter**:



Her er indtegnet alle elementarbølgerne, der ifølge Huygens' princip udsendes fra de enkelte spalter. Som disse ringbølger vokser sig store udad mod højre, vil de interferere konstruktivt med hinanden i ganske bestemte retninger:

0. ordens retningen, hvor bølgerne langt ude til højre er i fase, fordi de har rejst lige langt. Her er der ingen afbøjning.

1. ordens retningen, hvor bølgerne også er i fase, men fordi bølgen fra en spalte har rejst **en bølgelængde længere**, end bølgen fra spalten ovenover.

2. ordens retningen, hvor der igen langt ude til højre er konstruktiv interferens mellem bølgerne, men fordi bølgen fra en spalte har

rejst **to bølgelængder længere** end bølgen fra spalten ovenover, osv.

Hvis lys med en **helt anden bølgelængde** sendes ind mod gitteret, vil der igen være konstruktiv interferens i 0. ordens retningen, men 1., 2., 3. etc. ordens retningerne er nogle **andre retninger** end før. Derfor kan gitteret bruges til at skille lys med forskellige bølgelængder ad fra hinanden.

Gitteret kan også benyttes til at finde **bølgelængden af lys**.

d i figuren til højre er den såkaldte **gitterkonstant**, som er afstanden mellem to nabospalter.

Der sendes laserlys ind mod et gitter.

Lyset går gennem gitteret, og rammer en skærm eller en væg. Der dannes en 0. ordens plet ved **B** og en 1. ordens plet ved **A**. L er afstanden fra gitteret til skærmen, og x er afstanden fra 0. ordens pletten til 1. ordens pletten. l_1 og l_2 er strålegangene fra gitteret til skærmen. De beregnes ud fra L , d og x .

Tegningen er fordrejet. I virkeligheden kan man ikke se forskel på punkt **C** og **E** og på punkt **B** og **D**.

ΔABC er retvinklet og har kateterne x og L og hypotenusen l_1 .

ΔADE er også retvinklet med kateterne $x + d$ og L og hypotenusen l_2 .

x og L måles og lysets bølgelængde kan findes som forskellen mellem l_2 og l_1 , som man hver for sig kan finde ved hjælp af Pythagoras' læresætning. Men man skal sørge for at have mange cifre med i sine udregninger.

Man kan også i stedet gå den modsatte vej: Hvis man kender bølgelængden for lyset, kan man (fx med en solver) finde gitterkonstanten d .

Man kan endvidere, med lidt hjælp fra matematikken, vise at der gælder følgende sammenhæng, som vi kalder **gitterligningen**:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin(\theta)$$

hvor n er plettens orden, λ er bølgelængden, d gitterkonstanten og θ er den vinkel som n 'te ordens retningen danner med 0'te ordens retningen.

Opgave 10:

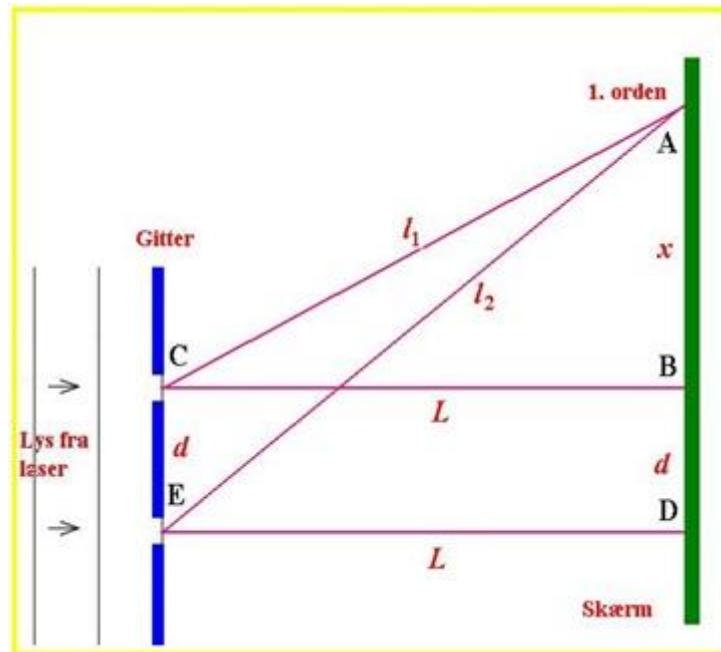
En Helium-Neon laser ("HeNe-laser") sender en orangefarvet lysstråle vinkelret ind mod et gitter, og der ses afbøjningspletter på en hvid væg et stykke derfra. Afstanden fra gitteret til væggen er $L = 2,129$ m, og afstanden mellem 0. ordens pletten og 1. ordens pletten er $x = 0,874$ m.

Gitterkonstanten er $d = 1667$ nm.

Hvad er bølgelængden af lyset fra HeNe-laseren?

Opgave 11:

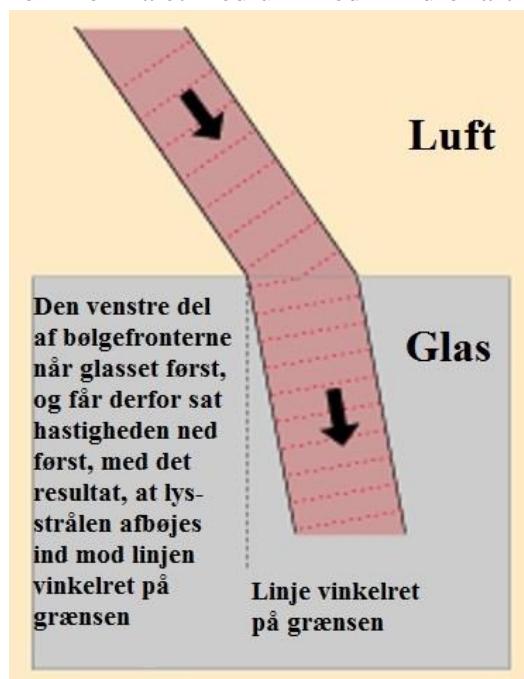
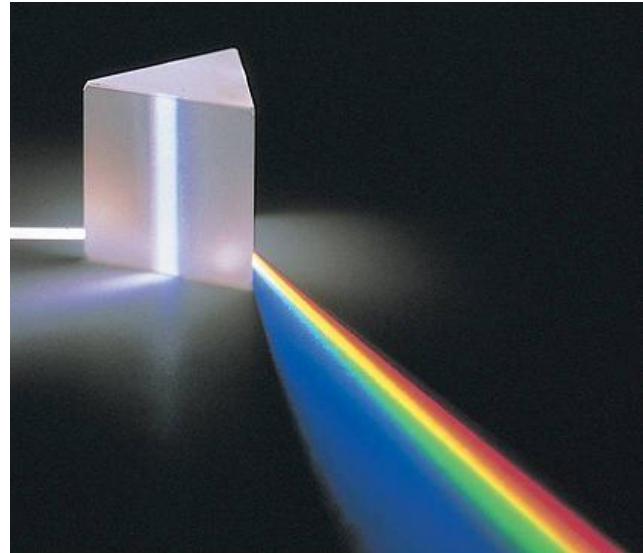
Med samme tal som i opgave 10: Hvad er afstanden mellem 0. ordens pletten og 2. ordens pletten?



Brydning af lys

Brydning af lys kaldes også refraktion.
 En bølgeudbredelse vil ændre sin retning,
 når bølgerne går fra et medium med større fart
 til et medium med mindre fart.
 I dette tilfælde ændrer strålen sin retning, så
 den bliver tættere på ”indfaldssloddet”, som
 er en linie vinkelret på grænsefladen.

Det omvendte gør sig gældende for stråler, der
 kommer fra et medium med mindre fart til et andet medium med større fart.



Fænomenet kender de fleste fra akvarier eller svømme-haller, hvor retningen til ting, der befinder sig under vandoverfladen ”snyder”.

Forholdet mellem lysets fart i luft (egentlig skal det være vacuum) og farten i mediet udtrykkes ved det såkaldte **brydningsindeks** n :

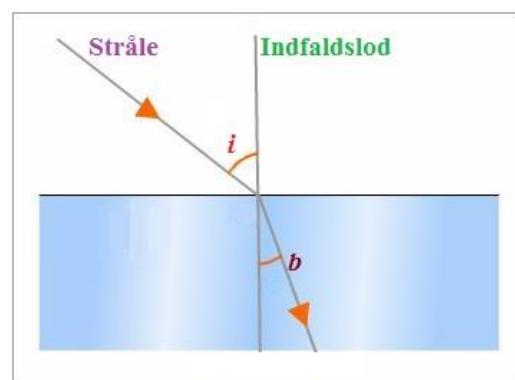
$$n_{vand} = \frac{\text{lysets fart i vacuum}}{\text{lysets fart i vand}}.$$

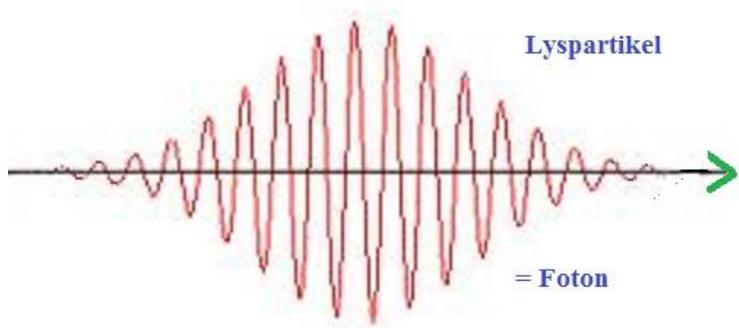


Idet man kalder en indfaldende stråles vinkel med indfaldssloddet for **indfaldsvinklen** i og den brudte stråles vinkel med indfaldssloddet nede i det brydende medium for **brydningsvinklen** b , gælder **brydningsloven**:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(b)} = n$$

hvor **sin** er den fra matematikken velkendte funktion **sinus**, og **n** er forholdet mellem de to farter.





er fotonernes dvs. lyspartiklernes fart. Lyspartiklerne er ”bølgepakker”, der rejser med lysets fart, men inde i den enkelte bølgepakke rejser bølgetoppe og bølgedale med en anden fart, som er lidt forskelligt afhængig af lysets farve.

I en violet lyspartikel rejser toppe og dale inde i bølgepakken med en lidt mindre fart end i en rød lyspartikel, når de rejser i fx vand eller glas, mens selve pakkerne rejser med samme fart, nemlig lysets fart i vand hhv. i glas.

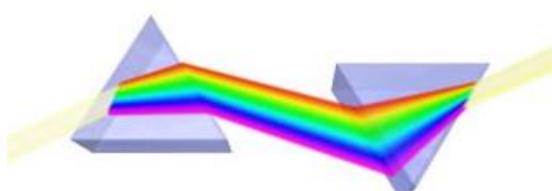
Dette giver anledning til lysets lidt forskellige brydning for de forskellige farver. Rækkefølgen er givet ved den gamle huskeregel: ”**R**ødt brydes **R**inge, medens **V**iolet brydes **V**oldsomt”.

Det elektromagnetiske spektrum

Adskillige fysikere eksperimenterede med lys og glasprismer i 1600-tallet.



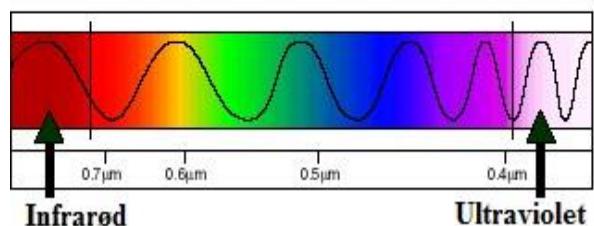
Han lod herefter det gule lys slippe gennem et nyt hul og blive brudt i et nyt prisme, men dette gav ikke et nyt spektrum med alle regnbuens



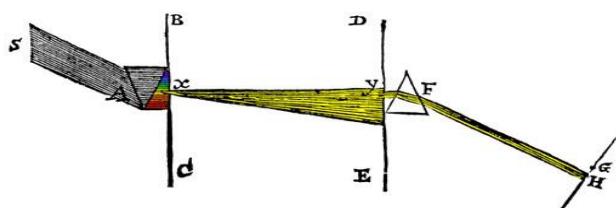
Man kan undre sig over hvorfor et trekantet glasprisme (se øverst forrige side) eller de vanddråber, der laver en regnbue, bryder de enkelte farver i lyset lidt forskelligt, så man ser det hvide lys splittet op i regnbuens farver.

Dette skyldes, at godt nok er lysets fart i glas og i vand den samme for de forskellige farver, men denne fart

SPEKTRUM FOR DET SYNLIGE LYS



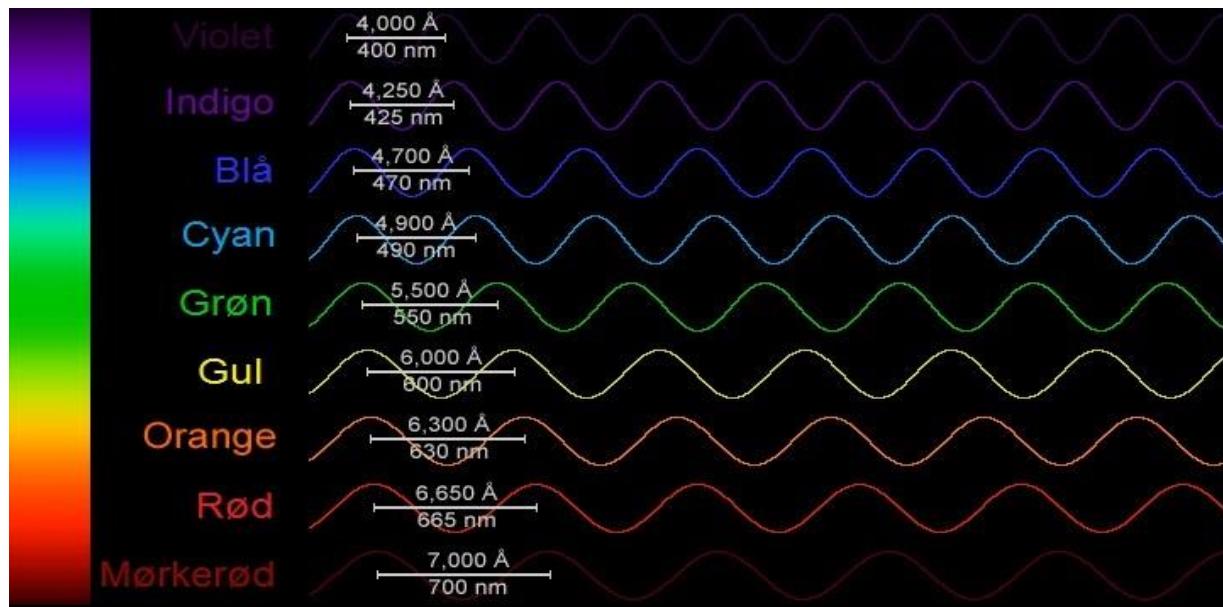
Newton lod en tynd stråle at hvide lys komme gennem et hul i væggen i et mørkt rum, og blive brudt i et glasprisme. Han så, hvordan det hvide lys blev splittet op i regnbuens farver.



farver, kun en videreførelse af ”det gamle” gule lys.

Ved at kombinere to priser, kunne han få det ene til at splitte hvidt lys op i regnbuens farver, og det andet til at samle dem til hvidt lys igen. Han sluttede heraf, at hvidt lys var en blanding af alle spektrets farver.

Newton mente i øvrigt, at lys ikke var bølger, men partikler, og at lysets brydning i glas og vand skyldtes gravitationskraften mellem lyspartiklerne og partiklerne i glasset og i vandet, som måtte have større tæthed og masse end luftens partikler. Men her tog Newton fejl, har det senere vist sig.



Vi ved i dag, at synligt lys består af elektromagnetiske bølger med bølgelængder fra ca. 400 nm (= 4000 Ångstrøm) til godt 700 nm (= 7000 Ångstrøm), se figuren ovenfor.

Men der er elektromagnetiske bølger med både længere og kortere bølgelængder, de er blot ikke synlige for det menneskelige øje.

Elektromagnetiske bølger med bølgelængder på 800 nm og op til ca. 10 000 nm kaldes infrarøde stråler (IR), hvorimod vi har at gøre med ultraviolette stråler (UV), hvis bølgelængden er mellem ca. 10 og 400 nm.

Med endnu længere bølgelængder end IR-stråler har vi mikrobølger, radarbølger, UHF (Ultra High Frequency) og VHF (Very High Frequency), som vi bruger til fjernsyn, HF (High Frequency) til FM-radio, Kortbølge, Mellembølge og Langbølge til AM-radio og VLF (Very Low Frequency), som neddykkede U-både bruger til kommunikation. Her er bølgelængden helt oppe på mange kilometer, og fidusen er, at en sender ikke kan pejles nøjagtigere end en bølgelængde. Det er i øvrigt klassificeret at fortælle mere herom.

I den anden ende deles UV-stråler op i UV-A, UV-B og UV-C, hvor de sidste er så energirige, at de kan være kræftfremkaldende. Med kortere bølgelængder – og med endnu mere energi – har vi Röntgen-stråler (= X-rays) og endnu kortere gamma-stråler (γ -stråler).

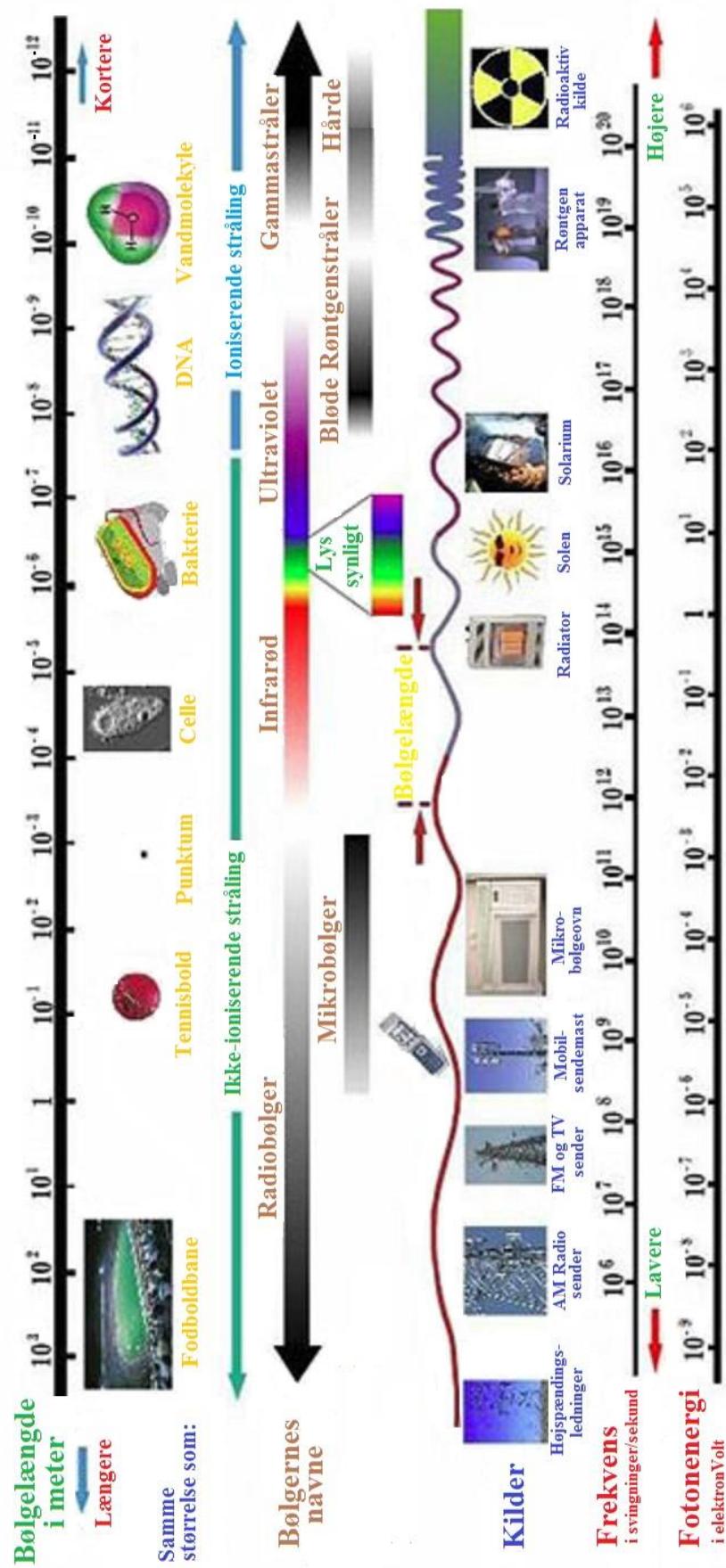
Jo kortere bølgelængden for en elektromagnetisk bølge er, jo tydeligere træder det frem, at alle elektromagnetiske bølger også har en partikel-natur. Disse partikler kaldes **fotoner** og har energier der er proportionale med frekvensen, (og altså omvendt proportionale med bølgelængden), idet der gælder

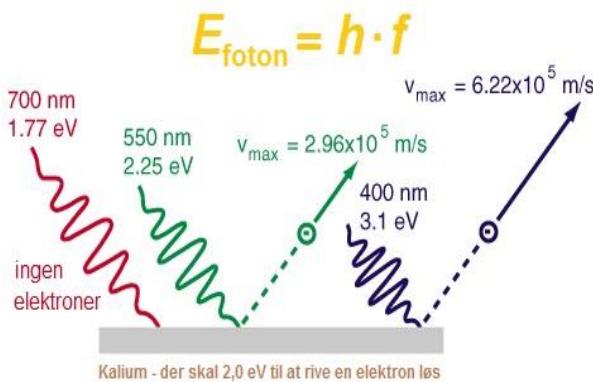
$$E_{\text{foton}} = h \cdot f,$$

hvor f er frekvensen, og h er Plancks konstant:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}, \text{ fundet af den tyske fysiker Max Planck i 1901.}$$

DET ELEKTRONMAGNETISKE SPEKTRUM





Fotoelektrisk effekt

endnu mere energi, og kan give en løsreven elektron endnu større fart.

Opgave 12:

Kontroller tallene på figuren: Hvorfor har fx en violet lyspartikel med bølgelængden 400 nm en energi på 3,1 eV, og hvorfor løsriver den en elektron, der får hastigheden $6,22 \cdot 10^5 \text{ m/s}$?

Øjet og farverne

Pussy Riot



Bier kan se ultraviolet stråling, og slanger kan se infrarød, men de fleste dyr ser øjensynligt kun ”det synlige lys” og det endda kun i sort-hvid.

Mennesket (og flere aber) har imidlertid **farvesyn**. Dette bygger på,

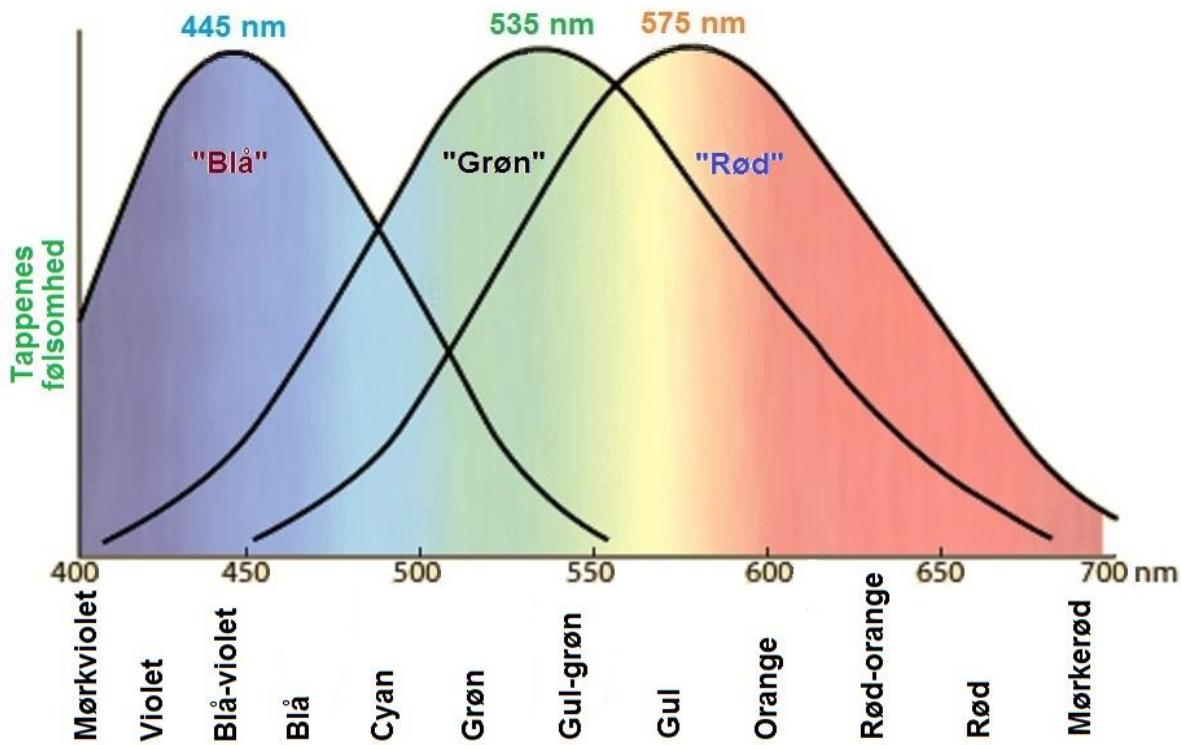
at vi har 3 slags **tappe**, lysfølsomme sanseceller, med følsomheden liggende hovedsageligt i 3 forskellige bølgelængdeområder: Tappe hovedsageligt følsomme for **røde** (og gul-orange) fotoner, tappe hovedsageligt følsomme for **grønne** (og gul-grønne) fotoner, og tappe hovedsageligt følsomme for **blå** (og violette) fotoner. Vi kalder disse 3 forskellige slags tappe for hhv. Røde, Grønne og Blå tappe, eller blot **R-**, **G-** og **B-tappe**.

Disse 3 former for tappe er især koncentreret om ”**den gule plet**” på nethinden, der hvor vi fokuserer billedeerne af hvad øjet ser på. På resten af nethinden er hyppigheden af tappene lavere, og derfor er vort farvesyn bedst der, hvor vi ”retter blikket hen”. Omvendt fordelt er en anden slags lysfølsomme sanseceller, **stavene**, der er over 10 000 gange mere følsomme, men mere jævnt modtagelige overfor alle slags fotoner, som har bølgelængder mellem ca. 400 nm og ca. 700 nm, og derfor ikke kan bruges til at skelne farver. Stavene er især ansvarlige for vores nattesyn.

Hvilke områder de 3 slags tappe er følsomme i, er illustreret øverst næste side.

At lys kan opføre sig som partikler med en energi, der er $E_{foton} = h \cdot f$, kan fx ses i den **fotoelektriske effekt** (til venstre):

Der skal 2,0 eV til at rive en elektron løs fra en kalium-overflade. En rød lyspartikel med bølgelængden 700 nm har energien 1,77 eV, og det er ikke nok til at rive en elektron løs, når lyspartiklen rammer overfladen. Ingenting sker. En grøn lyspartikel med bølgelængden 550 nm har energien 2,25 eV, hvilket er nok til at rive en elektron løs, og endda give den noget kinetisk energi. En violet lyspartikel har

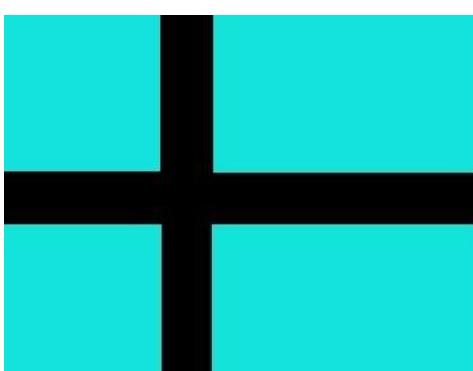


I virkeligheden er de blå tappe alt i alt mindre følsomme end de røde, som igen er mindre følsomme end de grønne, men for nemheds skyld er kurverne her tegnet med samme højde. For at vi kan se en lille genstands farve, skal øjets tappe modtage ca. 100 millioner fotoner pr. sekund fra genstanden. Hvis fotonerne alle har en bølgelængde på 420 nm, vil de hovedsageligt blive registreret af B-tappene, men også G-tappene vil reagere omend i mindre grad. Ved bølgelængder på 480 nm vil stort set lige mange B-tappe og G-tappe reagere, men ingen R-tappe. Ved bølgelængder på 570 nm vil stort set lige mange G-tappe og R-tappe, men ingen B-tappe reagere. Der vil altid aktiveres mindst to tappe uanset bølgelængden.

Inde i hjernen omsættes forholdet mellem B-, G- og R-tappenes reaktioner til en ”farve”: Har en genstand udsendt fotoner, så der fx er ankommet lige mange impulser fra G- og R-tappene, men ingen fra B-tappene det sted på nethinden, hvor strålerne fra genstanden samles, vil hjernen omsætte dette til, at genstanden har farven ”gul”.

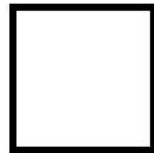
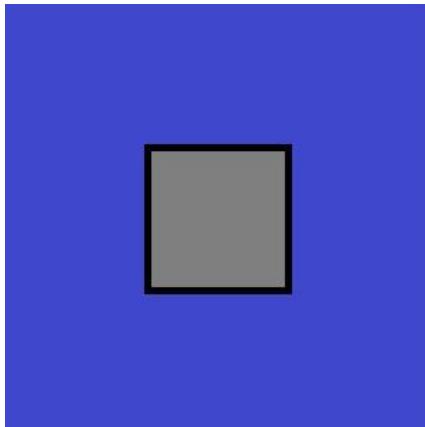
En passende blandet stimulering af både R-, G- og B-tappe vil give indtrykket **hvid**.

Det skal dog nævnes, at hjernens bearbejdning af farve-sanseindtryk er lidt mere kompliceret, idet der bl.a. også er en psykologisk dimension i opfattelsen af farver. Øjet betragter ikke blot en enkelt lille genstand, men også området omkring genstanden, og hjernen ”refererer hele tiden til hvidt”.

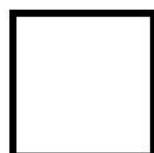
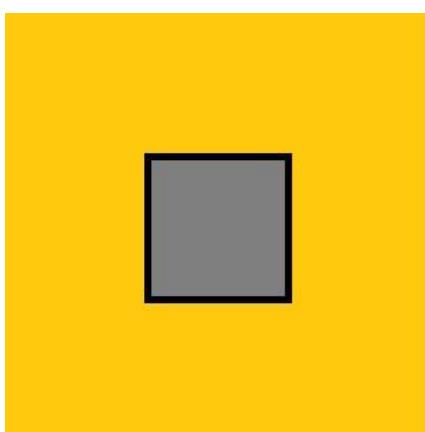


Hvis man fx stirrer på figuren til venstre i et minut og derefter retter blikket mod et stykke blankt hvidt papir, vil man se **komplementærfarverne**, dvs. de farver der tilsammen med de gamle farver giver hvid.

Hvis man belyser en genstand med hvidt lys og rødt lys fra to retninger, vil skyggen fra det røde lys virke cyan.

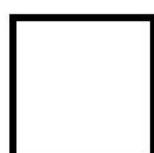
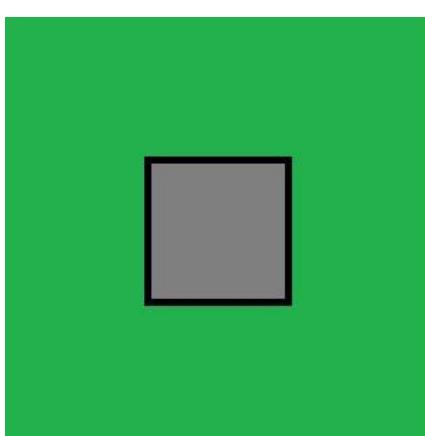


En dybere redegørelse for menneskets farvesyn findes i den såkaldte ”**retinex-teori**”.

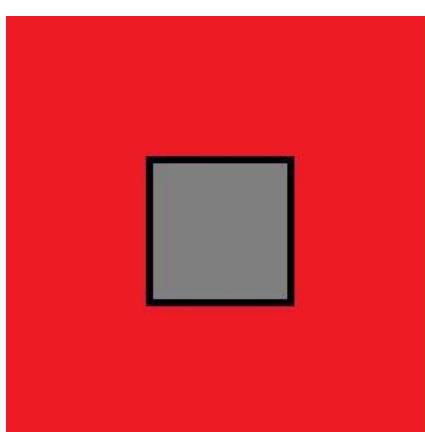


Man kan eksperimentere videre med retinex-teorien og psykologien i farvedannelsen her:

Stir intenst på firkanten til venstre i et minut. Mens du gør dette, vil du efterhånden se den grå firkant begynde at antage komplementærfarven til farven udenom. Flyt derefter blikket over til firkanten til højre. Det midterste felt bliver nu til en lys udgave af den oprindelige udenoms-farve, mens feltet udenom får en lys komplementærfarve.



Pas på ikke at have en forstyrrende baggrundsfarve fra computerens skrivebord.





Men nok om retinex-teorien.

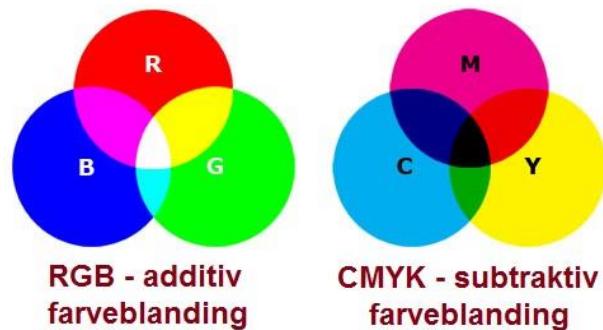
Det menneskelige farvesyn baserer sig altså på, at vi har R-, G- og B-tappe, og vi oplever alle farverne ved forskellige kombinationer af stimuleringer af disse 3 slags tappe. Denne erkendelse blev gjort af skotten Maxwell sammen med tyskeren Helmholtz i 1850-erne.

Hvis man ser på en gammeldags fjernsyns-

eller computerskærm under lup, kan man se, at alle farverne dannes af små områder, der lyser enten rødt, grønt eller blåt, se også figuren s.22.



Additiv og subtraktiv farveblanding



En passende blanding af lys i alle regnbuens farver giver hvidt lys. Men da vi ”kun” har 3 slags tappe, R-, G- og B-tappe, kan vi lige så godt frembringe sansningen ”jeg ser hvidt lys” ved at stimulere de tre slags tappe ligeligt.

Vi kan indføre den forsimplede notation:

$$\text{Hvidt} = \frac{1}{3} R + \frac{1}{3} G + \frac{1}{3} B .$$

Vi behøver altså ikke en blanding af lys i alle regnbuens farver for at sanse ”hvidt lys”, vi kan fx nøjes med blåt lys (B) med bølgelængden 440 nm blandet med gult lys (Y) med bølgelængden 560 nm, da denne kombination af lys i to farver stimulerer tappene på samme måde, jævnfør figuren side 90. Vi siger at blå og gul er **komplementærfarver**, da blåt lys (blå-violet lys) B og gult lys Y tilsammen kan give hvidt lys.

Eller ved at følge vores notation fra før:

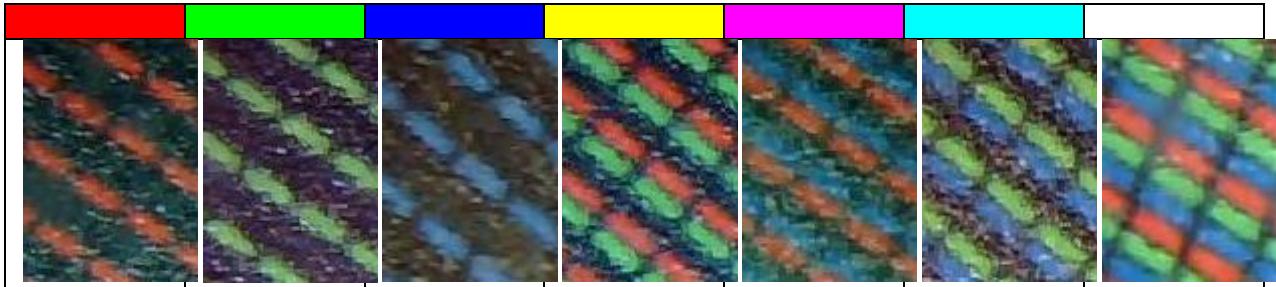
$$\text{Hvid} = \frac{1}{3} R + \frac{1}{3} G + \frac{1}{3} B = \frac{1}{3} B + \frac{1}{3} \cdot (R + G) = \frac{1}{3} B + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{1}{2} R + \frac{1}{2} G \right) = \frac{1}{3} B + \frac{2}{3} Y$$

$$\text{idet Gul: } Y = \frac{1}{2} R + \frac{1}{2} G .$$

På samme måde kan man se – jævnfør figuren til venstre ovenfor – at magenta M er komplementærfarve til grøn G, idet magenta er en blanding af rødt lys R og blåt lys B, medens cyan C er komplementærfarve til rød R, idet cyan er en blanding af grønt lys G og blåt lys B.

Denne måde at frembringe alle regnbuens farver, ved at blande forskellige kombinationer af rødt, grønt og blåt lys, kaldes **additiv farveblanding**.

Ved additiv farveblanding ”snydes” hjernen altså til fx at opfatte den røde og den grønne blanding af lys som gult. Det blandede ”gule” lys består ikke af bølgelængder i det gule spektrum, men af bølger i det røde og grønne spektrum som dog af hjernen opfattes som gult.



Billedet, som er taget gennem et mikroskop, viser hvordan forskellige farver gengives på en computerskærm. Det fremgår at hvert enkelt pixel består af tre farveceller, som kan slukkes enkeltvist for dermed, ved additiv farveblanding, at frembringe netop den farve man ønsker. At cellerne står på skrå, skyldes blot at mikroskopet var drejet.

Det skal siges at farven sort, i virkeligheden blot er mangel på lys og således frembringes ved at slukke for alle cellerne.

Men hvis man blander rød, grøn og blå **maling**, får man noget grå-brun-sort ud af det. For at forstå dette, må vi først se nærmere på, hvilken mekanisme, der giver farvepigmenter (stofferne i malinger og andre kulørte genstande) deres farver.

Når vi ser en rød tomat i solskin, modtager farvepigmenterne i tomaten alle farverne (hvid lys), men kaster kun røde lysstråler tilbage til vort øje. Pigmenterne har altså ”ædt” de grønne og de blå farver. Tomaten virker altså rød, fordi pigmenterne i den ”siger minus grøn” og ”minus blå”.

Hvis tomaten belyses af grønt eller blåt lys, vil der ikke være noget rødt at kaste tilbage, og det grønne eller blå lys vil være blevet ”ædt”, og tomaten vil fremstå nærmest sort.

Farvepigmenter ”æder” altså farver, og sender resten ud i rummet igen.

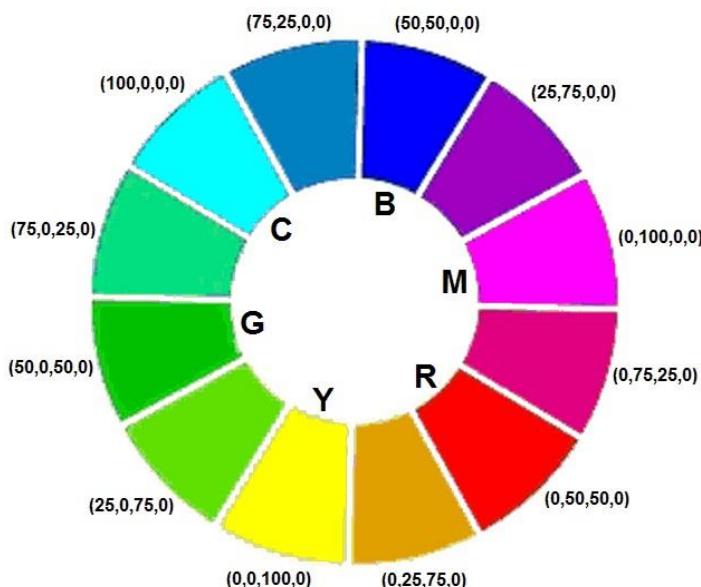
På denne måde fremstår en rød genstand (eller en rød maling) i hvidt dagslys med sin røde farve, fordi dets pigmenter har ædt det grønne og det blå lys. En grøn genstand (eller en grøn maling) fremstår grøn, fordi dets pigmenter har ædt det røde og det blå lys, og en blå genstand (eller en blå maling) fremstår blå, fordi dets pigmenter har ædt det røde og det grønne lys.

Derfor: Hvis man blander rød, grøn og blå maling, vil man blande pigmenter, der tilsammen æder alle de tre farver lys, og man får noget brun-sort ud af det.

Derfor kan **rød, grøn og blå ikke være grundfarver**, når man skal **blande malinger**.

Når man blander malinger, foretager man en **subtraktiv farveblanding**, idet man blander pigmenter, der trækker fra, eller **subtraherer lyspartikler**. Derfor må **grundfarverne** være pigmenter, der hver for sig kun æder én slags lyspartikler.

Dette giver grundfarverne **cyan C**, hvor pigmenterne kun fjerner de røde lysstråler, **magenta M**, hvor pigmenterne kun fjerner de grønne lysstråler og **gul Y**, hvor pigmenterne kun fjerner de blå lysstråler. For i praksis at kunne få en ægte sort (hvor alle lysstrålerne ædes) og ikke en træls grå-brun farve, har man indført **sort K**, som en fjerde grundfarve (K for "key").



Hermed har vi principippet i grundfarverne i den subtraktive farveblanding: **CMYK**, som bruges i malinger og farveprint.

Den præcise toning af C-, M-, og Y-farverne kan dog variere en del fra producent til producent.

Med forskellige blandingsforhold af grundfarverne i CMYK, kan man lave et såkaldt **farvehjul** (se til venstre), hvor tallene angiver det procentvise indhold af hhv. C, M, Y og K i farven.

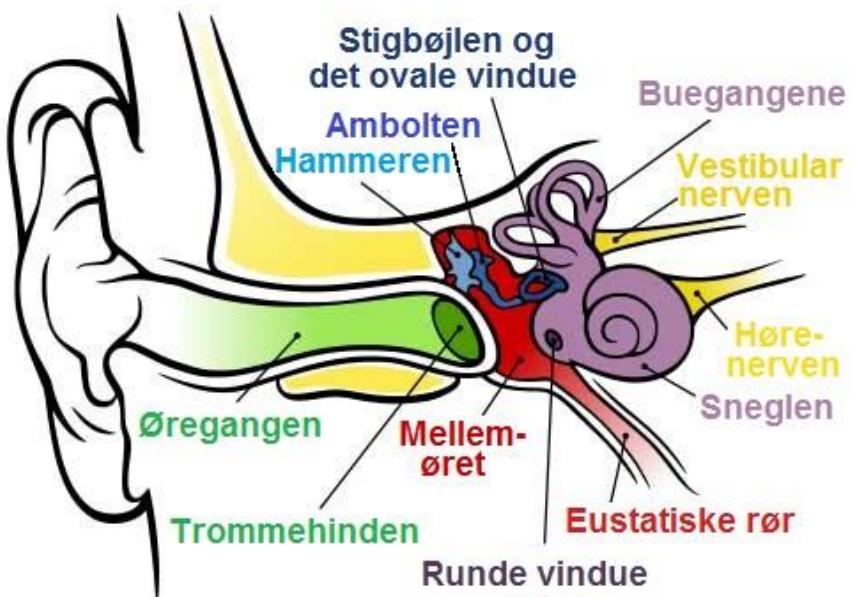
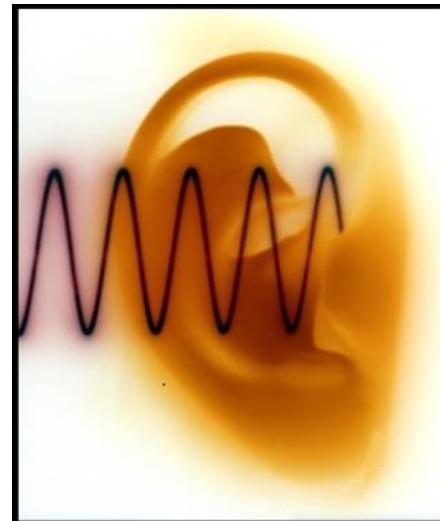
Øret og lydene

Øret er organet for vores høresans og det har samtidig en vigtig funktion for, at vi kan opretholde vores balance.

Vi skelner mellem det ydre øre, mellemøret og det indre øre.

Det ydre øre består af vort synlige øre på siden af hovedet og en ca. to centimeter lang øregang. Det ydre øre adskilles fra mellemøret af trommehinden.

Når lydbølger sætter trommehinden i bevægelse, overføres disse bevægelser via mellemøret – hammeren, ambolten og stigbøjlen til det indre øre, hvor væsken i sneglen sættes i bevægelser. Alt afhængig af bølgelængden (og dermed frekvensen) af lydbølgerne er det forskellige nervefibre, der reagerer. Nervecellerne danner elektriske impulser som sendes videre til hørecentret i hjernen, hvor de elektriske impulser sættes sammen til et samlet lydbillede.



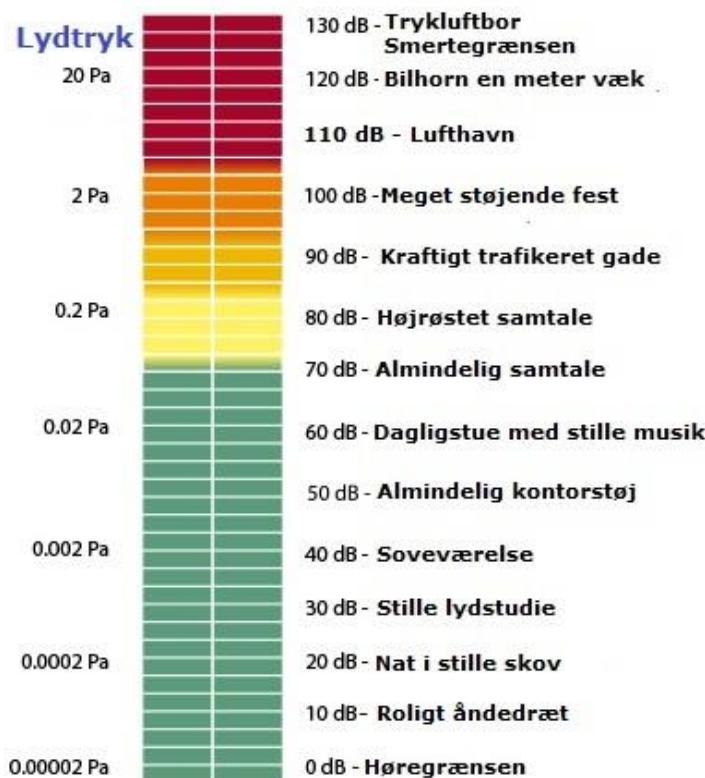
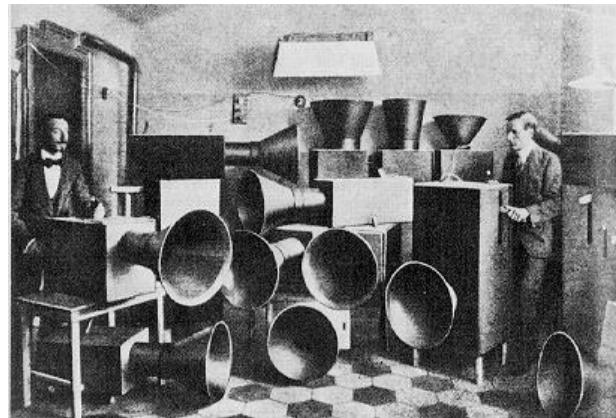
Buegangene og vestibular nerven er balanceorganer. Inde i buegangene er der væske som sættes i bevægelse, hvis vi ændrer på en drejning af hovedet – ændrer på hovedets rotation, men ikke når vi bevæger det fremad eller til siden.

Denne bevægelse af væske i buegangene registreres af små hår forbundet med sanseceller, som via vestibular nerven sender impulser til hjernens balancecenter.

Lydstyrke

Støjkunstneren Luigi Russolo
og hans assistent 1913

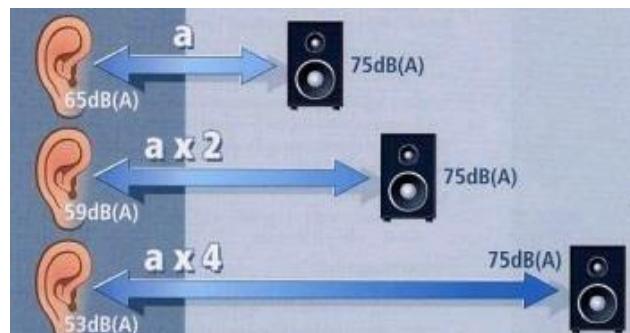
Lyd er trykbølger og transporterer derfor energi.
Lydstyrke kan angives i enheden bel (B), men
angives mere normalt i **decibel, dB**.
Decibelskalaen er defineret ud fra lydens
"intensitet", men her har vi omregnet til
"lydtryk".



Decibel skalaen er en såkaldt logaritmisk skala: Overalt på skalaen betyder en fordobling af lydbølgernes amplitude en fordobling af lydbølgernes lydtryk (og en firdobling af intensiteten), og at lydstyrken øges med 6 dB.

Man kan også overveje hvor langt man skal fjerne sig fra en højttaler, før at lydstyrken aftager et vist antal decibel. Her gælder reglen, at hvis man fordobler sin afstand til en højttaler, vil man halvere amplituden af bølgerne fra højttaleren, og halvere lydtrykket (sænke intensiteten til en fjerdedel), og dermed sænke lydstyrken med 6 dB, se figuren nedenfor.

- Hvis du lytter til musik ved en lydstyrke på 85 dB i 8 timer, kan du få en varig høreskade.
- Hvis du lytter til musik ved en lydstyrke på 88 dB i 4 timer, kan du blive skadet.
- Ved en lydstyrke på over 100 dB kan du få en varig høreskade på blot et kvarter.



Opgave 13:

Du står 2 m fra en højttaler og føler, at musikken er alt for høj. Hvor mange decibel falder lydstyrken i teorien med, hvis du går 14 m længere væk fra højttaleren?

Dekadiske præfikser

Oversigt over præfikser og 10-tals potenser

Her er en liste over præfikser og 10-potenser sammen med de tal de står for.

Præfiks	Navn	10potens	Tal
Z	zetta-	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000
E	exa-	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000.000
P	peta-	10^{15}	1.000.000.000.000.000.000
T	tera-	10^{12}	1.000.000.000.000
G	giga-	10^9	1.000.000.000
M	mega-	10^6	1.000.000
k	kilo-	10^3	1.000
h	hecto-	10^2	100
D	deca-	10^1	10
		10^0	1
d	deci-	10^{-1}	0,1 (1/10)
c	centi-	10^{-2}	0,01 (1/100)
m	milli-	10^{-3}	0,001 (1/1000)
μ	micro-	10^{-6}	0,000.001 (1/1.000.000)
n	nano-	10^{-9}	0,000.000.001 (1/1.000.000.000)
p	pico-	10^{-12}	0,000.000.000.001
f	femto-	10^{-15}	0,000.000.000.000.001
a	atto-	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001
z	zepto-	10^{-21}	0,000.000.000.000.000.000.001

Præfiks	Navn	10potens	Tal
Z	zetta-	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000
E	exa-	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000.000
P	peta-	10^{15}	1.000.000.000.000.000.000
T	tera-	10^{12}	1.000.000.000.000
G	giga-	10^9	1.000.000.000
M	mega-	10^6	1.000.000
k	kilo-	10^3	1.000
h	hecto-	10^2	100
D	deca-	10^1	10
		10^0	1
d	deci-	10^{-1}	0,1 (1/10)
c	centi-	10^{-2}	0,01 (1/100)
m	milli-	10^{-3}	0,001 (1/1000)
μ	micro-	10^{-6}	0,000.001 (1/1.000.000)
n	nano-	10^{-9}	0,000.000.001 (1/1.000.000.000)
p	pico-	10^{-12}	0,000.000.000.001
f	femto-	10^{-15}	0,000.000.000.000.001
a	atto-	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001
z	zepto-	10^{-21}	0,000.000.000.000.000.000.001

SI-enheder			
længde	meter	m	grundenhed
masse	kilogram	kg	grundenhed
tid	sekund	s	grundenhed
elektrisk strøm	ampere	A	grundenhed
temperatur	kelvin	K	grundenhed
stofmængde	mol	mol	grundenhed
lysstyrke	candela	cd	grundenhed
areal	kvadratmeter	m^2	
rumfang	kubikmeter	m^3	
hastighed, fart	meter pr. sekund	m/s	
densitet	masse pr. kubikmeter	kg/m^3	
kraft	newton	N	$1 N = 1 kg \cdot m/s^2$
acceleration	meter pr. sekund pr. sekund	m/s^2	
tryk	pascal	Pa	$1 Pa = 1 N/m^2$
energi, arbejde, varme	joule	J	$1 J = 1 N \cdot m$
effekt	watt	W	$1 W = 1 J/s$
varmekapacitet	joule pr. kelvin	J/K	
specifik varmekapacitet	joule pr. kelvin pr. kilogram	J/K·kg	
elektrisk ladning	coulomb	C	$1 C = 1 A \cdot s$
spændingsforskel, elektromotorisk kraft	volt	V	$1 V = 1 J/C$
resistans	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 V/A$
frekvens	hertz	Hz	$1 Hz = 1 s^{-1}$
aktivitet	becquerel	Bq	$1 Bq = 1 s^{-1}$
strålingsdosis	gray	Gy	$1 Gy = 1 J/kg$
ækvivalent strålingsdosis	sievert	Sv	$1 Sv = 1 J/kg$

Omrægninger til SI-enheder	
bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
millimeter kviksølv	$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$
atmosfære	$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$
kilowatt-time	$1 \text{ kWh} = 3,60 \cdot 10^6 \text{ J}$
liter-atmosfære	$1 \text{ L} \cdot \text{atm} = 1,013 \cdot 10^2 \text{ J}$
atomar masseenhed	$1 \text{ u} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
elektronvolt	$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Fysiske konstanter	
astronomisk enhed	$AE = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
atommasseenheden	$u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadros konstant	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$
Boltzmanns konstant	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Coulombkonstanten	$k_C = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
elektronens masse	$m_e = 0,911 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
elementarladdningen	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
gravitationskonstanten	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
gaskonstanten	$R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$
lysets fart i vakuuum	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
lysår	$ly = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$
Hubblekonstanten	$H_0 = 20,78 \text{ (km/s)}/\text{Mly}$
neutronens masse	$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Plancks konstant	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
protonens masse	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Rydbergs konstant	$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
tyngdeaccelerationen i DK	$g = 9,82 \text{ N/kg} \quad (\text{eller m/s}^2)$

INDEKS:

- absolut nulpunkt**;60
absorptionsspektrum;54
additiv farveblanding;92
AM;87
 amperemeter;63
amplitude;75;96
antipartikler;27
Aristoteles;15;16;17;18;20
atomnummer;50
 Avogadros tal;50
 Babylonierne;11;12
Baryon;27
bevægelsesenergi;56;58
Big Bang;30;31;32;33;34;35;36;38
 Birkendegård;7;8
boson;30
 brydning
 refraktion;85
brydningsindeks;85
brydningsloven;85
brydningsvinklen;85
 brændværdi;72
 bueminut;12
 buesekunder;12
bølge;76;77;80;83;87
bølgeligningen;77;81
bølgelængde;76;77;83;84;87;90
 Celsius;56;60;62
 Celsius-skalaen;60
Copernicus;17;18
decibel
 dB;96
 deferent;16
Demokrit;15;49
den gule plet;89
destruktiv interferens;78;82
Det kosmologiske princip;32
diffraction;79
diffractionsgitter;Se gitter
 dobbeltpalte;83
 dværgplanet;39
 effekt;65;66;67;69;98
 Einstein;23;24;55
ekliptika;46
 elektrisk energi;56
elektrisk strøm;63;98
 elektron;27;50;51
elektronsky;26
 elementarbølger
 cirkelbølger, ringbølger;79;82
 energi;56;57;58;59;60;61;62;63;64;65;66;67;68;69;70;71;72;98
 epicykel;16
 Evighedsmaskine;67
exciteret;52
farvekraften;26
 farvepigment
 farvestoffer;93
 fixstjerner;16
FM;87
 fordampningsvarme;61
fotoelektrisk effekt;89
foton;24;30;39;52;53;87;89;90
 fotosyntese;56
frekvens;74;75;77;87;95
Galilei;17;19
 gasplaneter;39
gitter;82;83;84
gitterkonstant;84
 gitterligningen;84
gluoner;24;30
 gnomon;14
graviton;30
grundstoffer;39;43;49;52
hadron;27;28
harmoniske bølger;76
 Heisenberg;23
heliocentrisk;18
 HeNe-laser;84
 Hertz
 Hz;74
 hestekraft;65
 HF;87
Higgs-boson;30
 Hiroshima;57;66
 Hubble;31;32
Huygens' princip;79;82;83
indfaldsvinklen;85
indre energi;56;59
 IR
 infrarød;87
 Jorden;6;16;17;18;20;21;38;39;42;43;44;45;48
Joule;56
 kalender;14
 Kelvin-skalaen;60
 kemisk energi;56
Kepler;19
 Keplers love;19
Kerneenergi;56
kernekraft;24;26;27;34;39
 kernepartikel;27
 kilowatttime;65
 Kinetisk energi;56;58
komet;39;40;43
komplementærfarver;92
konstruktiv interferens;78;82;83;84
kosmisk støv;43
kosmiske baggrundsstråling;33;34;35
Kuiperbælte;39
Kvantemekanik
 kvantefysik;23
 kvantetal;51
kvark;26;27;28;34;35
 Large Hadron Collider
 LHC;26;28
Lepton;27
 Lings bølgeapparat;75;80
linjespektrum;52
 Little Boy;57;58
Lyd;77;96
 lys;77;82;83;84;85;86;87;89;90;91;92;93
 længdebølger
 logitudinalbølger;80
 Max Planck;87
mekanisk energi;59;68
meson;27
meteor;41
meteorit;41
meteorsværm;41
 Michelson;24
 mikrobølger;87
 Morley;24
Mælkevejen;2;33
 mørk energi;36
måneformørkelse;44
 Månen;7;11;12;18;19;20;33;42;43;44;45

Månen faser;44
naturkraetter;30;34
 neutron;24;27;28;39
Newton;20;23;26;86;87
 Nikola Tesla;76
nordlys;48
 nukleon;24
nyttevirkning;67;69
Oort-skyen;39
 Paulis udelukkelsesprincip;51
periode;74;77
periodisk system;49;50
 pixel;93
 Plancks konstant
 h;87
 Planck-tid;34
 plasma;28
 potentiel energi;56;59;67;68
 proton;24;27;28;34;39
protoplanetarisk skive;38
 præfikser;97
Ptolemaios;16;17
 radarbølger;87
 Relativitetsteorien;24
resonans;75
resonansfrekvens
 egenfrekvens;75
 resonanssvingning
 egensvingning;75;76

retinex-teori;91
retrograd;16;17
rødforskydning;31;32
 Röntgen-stråler;87
SI-enheder;58;65;98;99
 smeltevarme;61
solformørkelse;44
sort hul;2
 spektralanalyse;54
spændingsforskelse;69;98
Standard Modellen;26;30
 stave;89
stjerneskud;Se meteor
 Stonehenge;7
strømforsyning;63
strømstyrken;63;64;69
Strålingsenergi;56
sublimation;55
subtraktiv farveblanding;93
superpositionsprincippet;78
 Tacoma Narrows Bridge
 Galloping Gertie;76
tappe;89;90;92
Temperatur;60
 temperaturskala;60
 termisk energi;59;67;68;70
 termometer;60
 Thomas Young;82
tidevandet;45
 tidsforlængelse;24;25
 tilstandsformer;54
 tropisk år;13
 tvillinge-paradoks;25
 tværbølger
 transversalbølger;80
Tycho Brahe;18
tyngdeaccelerationen;57;68;
 99
 ubestemthedrelationer;23
 udbredelseshastighed;77
 UHF;87
 UV
 ultraviolet;87
varmefylden;61
varmekapacitet;61;70;71;98
 verdensbilleder;6;13;16;17;18;
 23;31
 VHF;87
virtuel partikel;24
 VLF;87
voltmeter;63
 Watt;65
 ægypterne;13;14
 æteren;16
årstider;13;46
 γ -stråler
 gamma-stråler;87

