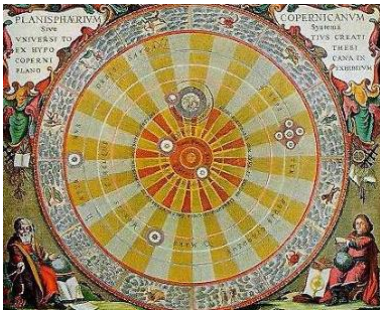
Kompendium til grundforløb i fysik

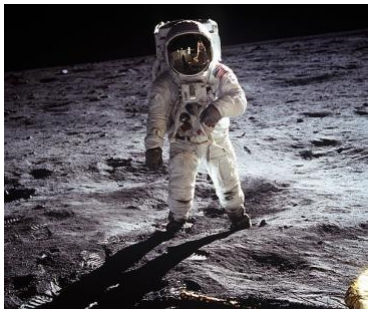
2. udgave 2025 – med opdateringer til 2026



Standard kilogram-lod



Kopernikus' model er solsystemet



Mennesket på Månen

Tekst: M. Machholm, T. Danielsen,
samt tilføjelser i 2024-25 af M. W. Wille, M. Nielsen og M. M. Hejlesen
Figurer uden kildeangivelse: M. Machholm

Copyright: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Indhold

1 Introduktion til fysik i gymnasiet 3
Tema 1 - Hvad vejer Jorden? 6
2 Densitet og enheder 6
3 Fysikforsøg: Densitet og Jordens masse 13
Tema 2 – Hvor skal min solcelle placeres for at give strøm til min bil om vinteren? 17
4 Jorden og Solen 18
5 Fysikforsøg: Måling af solindstrålingen 23
6 Dag, nat og årstider 26
Tema 3 – Hvorfor er Jorden den bedste planet i solsystemet? 31
7 Solsystemets opbygning 31
8 Månens faser og formørkelser 40
Tema 4 – Eksamen i fysik 45
9 Eksamen i fysik C 45
Appendiks 1 – Eksponentiel notation 47
Appendiks 2 – Præfikser 48
Appendiks 3 – Afstande i Universet og enheder for afstande 49

1 Introduktion til fysik i gymnasiet

Om at læse lektier i fysik

Når du læser lektier i fysik, er det vigtigt, at du læser på en måde, så du kan huske, hvad du har læst. Du skal kunne bruge fagbegreberne, og derfor er det vigtigt, at du lærer dem og kan spørge til de begreber, du ikke forstår.

Inden du læser lektie

Det er vigtigt, at du ikke bliver forstyrret, mens du læser, så slå alle notifikationer fra på din computer og din mobil. Lav fx en aftale med dig selv om, at du læser lektier til et modul, og derefter læser beskeder, der er kommet, mens du læste lektien.

Læsning af lektien

1) Begynd med at læse den grønne boks først i afsnittet. Her kan du se, hvad du skal have fokus på, mens du læser lektien.
2) Læs derefter alle overskrifterne og kig på alle billeder, figurer og tabeller. Det giver overblik over emnet. Figurerne er ofte vigtigere end selve teksten. Figurerne forklarer de ting, der er svært at forklare med tekst.
3) Derefter læser du teksten afsnit for afsnit. Når du støder på et af de fagbegreber, du skal have fokus på, noterer du det vigtigste om fagbegrebet. Det er vigtigt:
   a) at dine noter er korte og overskuelige.
   b) at du bruger dine egne ord, så du bearbejder det læste. Så husker man bedre.
   c) at du skriver spørgsmål til det, du ikke forstår, så du kan spørge i timen. d) at du slår de ord op, du ikke forstår. Brug fx en ordbog på nettet

Efter læsningen

Check den grønne boks igen og prøv at forklare fagbegreberne for dig selv. Helst uden at kigge i teksten eller dine noter. Brug mindst 2 minutter på dette, så du træner din hukommelse.

Boksenes farver har betydning

Tekstboksenes farve fortæller, hvordan du skal læse teksten i boksen.

Grøn boks: det du skal lære
Den grøn boks fortæller dig, hvad du skal have lære i dette kapitel.
Læs det først, så du ved, hvad du skal have fokus på.

Orange boks: definition af fagbegreb
De orange bokse definerer vigtige fagbegreber. Brug lidt ekstra tid på at forstå definitionen af et fagbegreb. Vend tilbage til den orange boks, hvis du senere bliver i tvivl om fagbegrebet.

Blå boks: uddybende forklaringer og de gode historier
De blå bokse er til dig, som gerne vil
have en uddybende forklaring
læse de gode historier om fysik, fx hvordan man fandt ud af, at Jorden ikke er i centrum af Universet.
er blevet nysgerrig og gerne vil læse mere – links til gode steder på nettet.
Spring de blå bokse over, hvis du har travlt. Vi håber dog, at du vil bruge lidt tid på at undre dig over verdenen omkring dig. Du kan lære meget mere ved at være nysgerrig.

Fysik i uddannelse og karriere - hvad kan jeg blive?

Når du skal til at vælge studieretningsfag og valgfag er det en rigtig god idé allerede nu at tænke lidt på dine fremtidige muligheder i uddannelse og karriere.

Helt overordnet set er der for de naturvidenskabelige fag (heriblandt fysik) rigtig gode karrieremuligheder og det er en rigtig god vej at gå, hvis man kunne tænke sig et job med god løn, der samtidig har et praktisk indhold og altså ikke udelukkende består af kontorarbejde.

I de naturvidenskabelige fag (heriblandt fysik) er der generelt rigtig gode muligheder for at arbejde med udvikling, design, teknologi, forskning osv.

Det kan dog være lidt uoverskueligt, allerede nu, at vide hvilke fag, der fører til hvilke type uddannelser og job. For at give en lille smagsprøve på hvilke uddannelser og karrieremuligheder der bl.a. er i fysikfaget, skal I, i opgaven nedenfor, undersøge nogle eksempler på videregående uddannelser ved at se og fortælle om en introduktionsvideo til uddannelsen.

Opgave: Undersøg uddannelses- og karrieremuligheder i fysik

Vælg en eller to af de nedenstående uddannelser som du vil undersøge lidt nærmere og se den introduktionsvideo som du finder på linket – lidt nede på siden. Mens du ser videoen, skal du tage notater så du kan gengive videoen overfor en anden elev på 1-3 min.

- Fysik og ingeniørvidenskab (DTU)
- Teoretisk og eksperimentel fysik (KU)
- Naturvidenskab (RUC)
- Medicin og teknologi (KU/DTU)
- Byggeteknologi (DTU)
- Design og innovation (DTU)
- Geofysik og Rumteknologi (DTU)
- Elektroteknologi (DTU)
- Maskinteknologi (Diplomuddannelse)

Tema 1 - Hvad vejer Jorden?

Kan vi finde ud af, hvad Jorden vejer? Svaret på spørgsmålet er "ja". Hvis vi kender størrelsen af Jorden, og hvad den er lavet af, kan vi beregne massen af Jorden. Massen kalder vi i daglig tale vægten, selv om det ikke er helt det samme. I kapitel 0 skal du læse om, hvordan du laver et forsøg til at bestemme Jordens masse. Men først skal du lære et par ting, som du skal bruge i forsøget.

2 Densitet og enheder

Når du har læst dette afsnit, skal du kunne

- forklare forskellen på fysiske størrelser og enheder
- forklare, hvad densitet er
- forstå formlen: $m = \rho \cdot V$

Fysiske størrelser

I fysik måler vi med forskellige måleapparater:

1) En lineal måler f.eks. sidelængder på en kasse
2) En vægt måler f.eks. kassens masse



Figur 1: Måling af de fysiske størrelse *længde* (billede til venstre) og *masse* (til højre) med henholdsvis lineal og vægt.

Definition: Fysisk størrelse
En fysisk størrelse er en egenskab som bruges til at beskrive vores omverden.
Man kan bestemme værdien af en fysisk størrelse ved at måle eller beregne den.
En fysisk størrelse angives altid med et tal efterfulgt af en enhed.

Når vi skriver værdien af en fysisk størrelse, skal vi både skrive et tal og en enhed. Måler vi højden af et menneske, kan vi få værdien 1,75 m. Vi skriver:

$$h = 1{,}75\ \mathrm{m}$$

h er symbolet for højde og m er enheden meter. Bemærk, at symbolet for højde, h, skrives i kursiv, mens enheden, m, skrives med normal tekst. Hvis vi ikke skriver enheden, ved vi ikke, om det er fx m eller cm – og der er stor forskel på 2 m og 2 cm!

Næsten alle fysiske størrelser har en enhed: Enheden for længde kan fx være meter (m), centimeter (cm), kilometer (km), eller ældre enheder som mil, alen og fod. Enheden for masse er fx kilogram (kg) eller gram (g). Enheden for tid kan være sekunder (s), minutter (min), timer, dage eller år. De mest brugte enheder kaldes standard-enheder. Standardenheden for masse er kilogram, standardenheden for længde er meter, og standardenheden for tid er sekunder, se Tabel 1.

Fysisk størrelse	masse	tid	længde
Symbol	m	t	l, r, b, d, h
Standardenhed	kg	s	m

Tabel 1: Fysiske størrelser og deres standardenheder

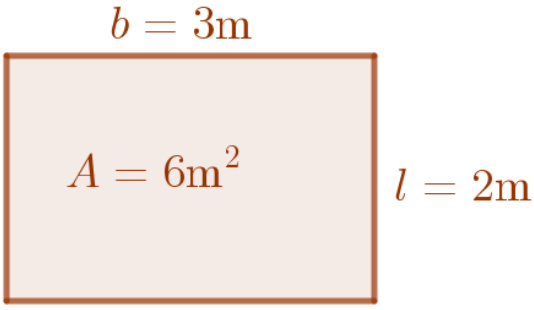
Enheder

Når vi beregner en fysisk størrelse, er det vigtigt, at vi både regner med tallene og med enhederne. Hvis vi har et rektangel med længden l = 2 m og bredde b = 3 m, kan vi beregne arealet ved at gange de to sidelængder. Ganger vi kun tallene, får vi tallet 6. Men 6 hvad? Enheden mangler. Ganger vi enhederne, får vi $\mathrm{m} \cdot \mathrm{m} = \mathrm{m}^2$, altså kvadratmeter.

Vi opskriver beregningen med formel, talværdier og enheder:

$$A = l \cdot b = (2\ \mathrm{m}) \cdot (3\ \mathrm{m}) = 6\ \mathrm{m}^2$$

A er symbolet for areal og kvadratmeter er standardenheden for areal.



Figur 2: Areal af rektangel

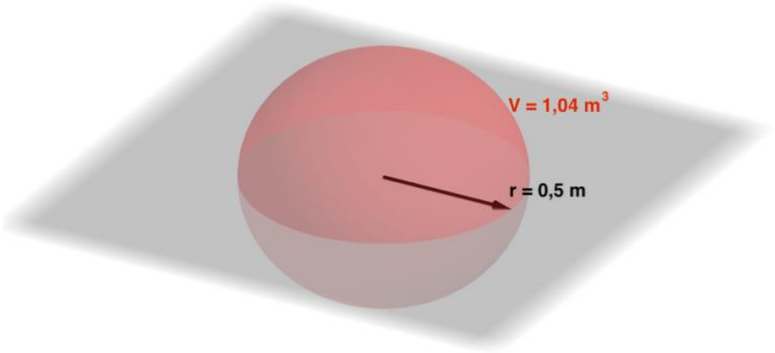
Beregner vi volumen af en kugle med radius $r = 0{,}5\ \mathrm{m}$, bruger vi formlen for volumen af en kugle:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

V er volumen, som er det samme som rumfanget. Indsætter vi $r = 0{,}5\ \mathrm{m}$, får vi:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (0{,}5\ \mathrm{m})^3 = 1{,}04\ \mathrm{m}^3$$

altså lidt over én kubikmeter (m^3). Kubikmeter er standardenheden for volumen. Tabel 2 flere fysiske størrelser og enheder.



Figur 3: Volumen af kugle

Fysisk størrelse	masse	tid	længde	areal	volumen
Symbol	m	t	l, r, b, d, h	A	V
Standardenhed	kg	s	m	m^2	m^3

Tabel 2: Fysiske størrelser og deres standardenheder

Omregning mellem enheder

Ofte bruger vi andre enheder end standardenhederne, fordi talværdien bliver meget stor eller lille. I en madopskrift vil kubikmeter være svær at bruge, fx "tilsæt 0,001 m^3 vand" vil se underligt ud, så vi skriver: "tilsæt 1 liter vand".

I laboratoriet bruger vi ofte kubikcentimeter, cm^3, som er en tusindedel af en liter. Det kalder vi en *milli*liter (mL). Vi kan omregne mellem enhederne:

$$1\ \mathrm{m}^3 = 1000\ \mathrm{L} = 1\ 000\ 000\ \mathrm{cm}^3$$

eller

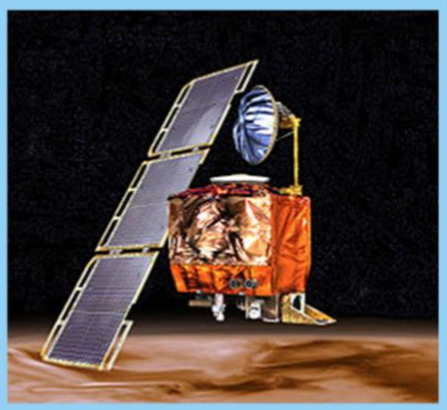
$$1\ \mathrm{cm}^3 = 0{,}001\ \mathrm{L} = 1\ \mathrm{mL}$$

1 cm^3er derfor det samme som 1 mL.

Tilsvarende er enheden sekund ofte for lille. Vi bruger i stedet for enhederne timer, dage eller år. Man må gerne anvende andre enheder end standardenhederne, men det er ofte lettere at bruge dem, fordi resultater bliver i standardenhed, hvis de tal, der sættes ind i en formel, er angivet i standardenheder.

Vil du vide mere: Mars Climate Orbiter

At være sig bevidst om, hvilke enheder man bruger i sine beregninger, er noget af det vigtigste for en fysiker. Men selv for de professionelle går det engang imellem galt: den 23. september 1999 styrtede NASA-rumsonden Mars Climate Orbiter til en værdi af næsten 1 mia. kroner ned på Mars' overflade i stedet for at gå i kredsløb i 160 km's højde. Årsagen: at de engelske og amerikanske ingeniører, der konstruerede sonden, havde brugt forskellige enheder. Amerikanerne havde brugt standardenheder, mens englænderne havde brugt tommer og mil. Du kan læse mere her.



Mars Climate Orbiter.
Kilde: Nasa

Densitet

Hvad er tungest, træ eller jern? Du har måske en fornemmelse af, at jern er tungere end træ. Men spørgsmålet er meningsløst, da vi ikke kender størrelse af det, som vi sammenligner: vi kan have en stor træklods, der vejer flere kilo, over for en lille jernklods på hundrede gram.

Ændrer vi spørgsmål, kan vi besvare det. Hvis en jernklods og en træklods er lige store, hvilken vejer så mest? Svar: jernklodsen vejer mest, da jerns densitet er større end træs densitet. Densiteten beskriver hvor meget et givet volumen af et stof vejer.

Et andet ord for densitet er massefylde. Massefylde er måske det ord, du kender fra grundskolen, men densitet er det fagudtryk, vi bruger i gymnasiet.

Definition: Densitet

Hvis vi har et stof, det kan være sig et fast stof, en væske eller en gas, der har volumen V og har massen m, så definerer vi densiteten af stoffet ved formlen

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Symbolet ρ for densitet er det græske bogstav rho, som svarer til *r* i vores alfabet.

Standardenheden for densitet er $\mathrm{kg/m^3}$ (læses kilogram pr. kubikmeter), men ofte benyttes enheden $\mathrm{g/cm^3}$ (gram pr. kubikcentimeter) i stedet. Vi kan omregne mellem enhederne. Da massen omregnes $1\ \mathrm{kg} = 1000\ \mathrm{g}$ og volumen omregnes $1\ \mathrm{m^3} = 1000\ 000\ \mathrm{cm^3}$ får vi

$$1\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} = \frac{1\ 000\mathrm{g}}{1\ 000\ 000\ \mathrm{cm^3}} = 0{,}001\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$$

Enheden $\mathrm{kg/m^3}$ er altså tusinde gange så stor som $\mathrm{g/cm^3}$. For de fleste normale stoffer og væsker ligger densiteten mellem 0,5 $\mathrm{g/cm^3}$ og 20 $\mathrm{g/cm^3}$. Brugte vi i stedet $\mathrm{kg/m^3}$ ville densiteterne ligge mellem 500 $\mathrm{kg/m^3}$ og 20 000 $\mathrm{kg/m^3}$. Da vi foretrækker at arbejde med små tal, er det derfor enheden $\mathrm{g/cm^3}$, vi vil benytte mest.

Tabel 3 viser densiteten af to væsker og nogle metaller.

Stof	**Densitet i $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$**	**Stof**	**Densitet i $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$**
Vand	1,0	Messing	8,4
Ethanol	0,79	Kobber	8,96
Aluminium	2,7	Bly	11,34
Zink	7,14	Kviksølv	13,6
Stål	7,85	Guld	19,3

Tabel 3: Densitet af forskellige stoffer

Eksempel: beregn densiteten af en væske

Hvis vi vil bestemme densiteten af en væske, fx alkohol (ethanol) afmåler vi noget væske i et måleglas og vejer det. Vi finder, at $V = 17\ \mathrm{cm^3}$og $m = 13{,}3\ \mathrm{g}$. Vi indsætter de to størrelser i definitionen af densitet og får

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{13{,}3\mathrm{g}}{17\mathrm{cm^3}} = 0{,}79\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$$

Den samme formel på flere måder

Lad os igen se på formlen for densitet

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Hvis man vil beregne massen, skal man først isolere m i formlen. Vi skal flytte V over på den anden side af lighedstegnet. Da V står i nævneren, skal vi gange med V på begge sider:

$$\rho \cdot V = \frac{m}{V} \cdot V$$

På højresiden både ganger og dividerer vi med V. Derfor vil de to V'er gå ud med hinanden. Tilbage står m:

$$\rho \cdot V = m$$

eller ved at bytte om på rækkefølgen:

$$m = \rho \cdot V$$

Man kan også isolere V ved at dividere med ρ på begge sider af lighedstegnet:

$$\frac{m}{\rho} = \frac{\rho \cdot V}{\rho}$$

På højresiden både ganger og dividerer vi med ρ. Derfor vil de to ρ'er gå ud med hinanden. Tilbage står V. Vi bytter om på højre- og venstresiden, og får:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Tabel 4 viser de tre udgaver af formlen for densitet. Vi vælger altid den formel, som passer til det, vi skal beregne.

Densitet	$\rho = \frac{m}{V}$
Masse	$m = \rho \cdot V$
Volumen	$V = \frac{m}{\rho}$

Tabel 4: Tre udgaver af formlen for densitet

Eksempel: beregn massen af et stof

Vi har 150 cm^3 ethanol og vil finde ud af, hvor meget det vejer. Vi kender altså V. Tabel 3 viser densiteten for ethanol: $\rho = 0{,}79\ \mathrm{g/cm}^3$. Vi vælger formlen, hvor m er isoleret og indsætter de kendte værdier:

$$m = \rho \cdot V = 0{,}79 \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} \cdot 150\ \mathrm{cm}^3 = 119\ \mathrm{g}$$

Bemærk, hvordan vi regnede med enhederne her: vi ganger $\mathrm{g/cm}^3$ med cm^3, hvorved cm^3 i nævneren går ud med cm^3 og efterlader os med gram (g) som enhed for resultatet.

Eksempel: hvor meget fylder 1,5 kg guld?

Vi kender massen $m = 1500\ \text{g}$ og densiteten for guld finder vi i Tabel 3: $\rho = 19{,}3\ \text{g/cm}^3$. Vi skal finde *V*, så vi finder den formel, hvor V er isoleret i Tabel 4. Indsætter vi værdierne i formlen, får vi

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1500\text{g}}{19{,}3\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 77{,}7\text{cm}^3 = 0{,}0777\ \text{L}$$

Resultatet er mindre end en tiendedel af en liter, dvs. lidt mindre end en deciliter.

Jordens volumen – beregninger med store tal

Jordens radius er 6 378 km. Når vi skal regne med store tal, er det lettest at omskrive dem: $r = 6\ 378\ \text{km} = 6\ 378\ 000\ \text{m} = 6{,}378 \cdot 10^6\ \text{m}$.

10^6 betyder 1 000 000, altså et 1-tal med 6 nuller efter, dvs. 1 million. Det er lettere at holde styr på størrelsen af tallet, når man skriver 10^6. Man kalder det eksponentiel notation. I matematik lærer du, hvordan man let kan regne med store tal, når man skriver dem med eksponentiel notation.

Indsætter vi Jordens radius i formlen for volumen af en kugle, får vi:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (6{,}378 \cdot 10^6\ \text{m})^3 = 1{,}087 \cdot 10^{21}\ \text{m}^3$$

Dette er et meget stort tal:

$$V = 1\ 087\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ \text{m}^3$$

og man kan se, hvorfor eksponentiel notation er godt til at holde styr på, hvor mange nuller vi har i tallet, dvs. størrelsen af tallet.

3 Fysikforsøg: Densitet og Jordens masse

Når du har læst dette afsnit, skal du vide

- hvordan du laver en måling af densitet
- hvordan du skriver en fysikrapport

Formål

Formålet med forsøget er at bestemme densiteten (massefylden) af sand og småsten og ud fra dette resultat give et bud på, hvad Jorden vejer.

Fremgangsmåde - Udfør alle 9 trin så præcist som muligt

Densitet for sand

1) Tag et målebæger og placer det på en vægt. Nulstil herefter vægten. Hæld lidt sand i måleglasset. Aflæs både massen (=vægten) i gram og volumenet i cm^3 (husk, at dette er det samme som mL). Skriv resultaterne i tabellen nedenfor. Hæld nyt sand i målebægeret, og aflæs igen både masse og volumen. Gør dette 3 gange.

Densitet for sand					
Masse, g					
Volumen, cm^3					
Densitet g/cm^3					

2) For hver af de fem målinger udregner I densiteten af sand. Skriv udregningerne ind i den sidste række i tabellen.
3) Bestem nu densiteten af sand som et gennemsnit af de tre målinger.

Densitet for småsten

4) Gentag punkterne 1-3, men i stedet for sand skal I bestemme densiteten af småsten. Skriv resultaterne op i tabellen nedenfor.

Densitet for småsten					
Masse, g					
Volumen, cm^3					
Densitet g/cm^3					

Densitet for blanding af småsten og sand

5) Om lidt skal I blande småsten og sand. Sand kan nemlig passe ind mellem de små huller mellem stenene. Men før I går i gang, skal I forsøge at gætte på, hvad densiteten for blandingen af sand og småsten er. Nedskriv de overvejelser I gør her:

6) Nu skal I måle densiteten for blandingen. I gentager punkter 1-3. I begynder med at hælde småsten i målebægeret, herefter hælder I lidt sand ovenpå, og så ryster i forsigtigt bægeret, så sandet lægger sig ned mellem stenene. Gentag processen til sandet når op til de øverste sten.

Densitet for blanding af småsten og sand					
Masse, g					
Volumen, cm^3					
Densitet g/cm^3					

Oprydning

7) Inden I går videre skal der ryddes op. Småsten og sand skal skilles ad, dette gøres ved brug af plastiksigterne. Sørg for at der ikke ligger sand og sten på bordene eller gulvet, når I er færdige.

Databehandling

8) Omregning af enheden. For at finde en værdi for Jordens masse, skal enheden omregnes. I stedet for at regne i g/cm^3, skal vi benytte kg/m^3. Hvis man fx har målt densiteten af småsten og sand til 1,83 g/cm^3, kan den omregnes på følgende måde:

$$\rho_{Sand\ og\ sten} = 1{,}83 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1830\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

9) Nu skal I benytte dette resultat til at finde en værdi for Jordens masse. Jorden har et volumen på:

$$V_{Jord} = 1{,}08 \cdot 10^{21}\ \text{m}^3$$

Hvis vi antager, at Jorden af lavet af en blanding af sand og sten, kan man give et bud på, hvad Jorden vejer. Brug formlen for densitet og udregn et resultat for Jordens masse: $m = \rho \cdot V$

Indhold i fysikrapport om densitet og Jordens masse

Det vigtigste formål med fysikrapporten er, at I kan huske, hvad I har lavet, så I kan gengive det, hvis I kommer til eksamen i forsøget til sommer. Derudover skal I naturligvis også vise jeres lærer, at I har forstået fysikken bag forsøget, så gør jer umage med at få skrevet alle udregninger korrekt op med enheder. Det er også vigtigt, at rapporten er sat pænt op. Det må gerne se professionelt ud!

Rapporten skal indeholde følgende 8 afsnit

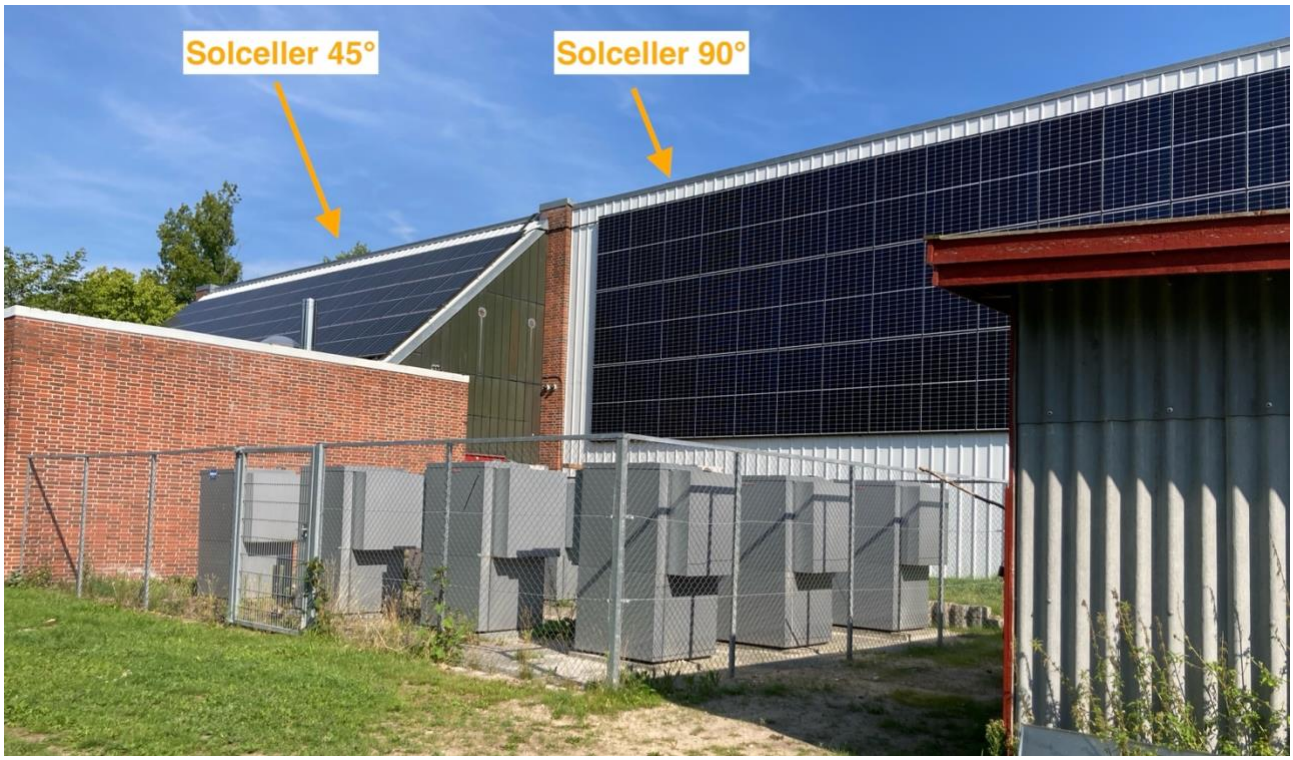
- **Forside**: Hvem har lavet forsøget og rapporten. Dette skrives på en forside.
- **Formål**: Hvad er formålet med forsøget?
- Vi har ikke nogen hypotese her, men i stedet vil jeg gerne have at I i diskussionen nedenfor forholder jer til om det giver mening at densiteten af blandingen af sand og sten er større end densiteten af hhv. sand og sten.
- **Forsøgsopstilling**: Tag et billede af opstillingen eller lav en tegning. Husk at alle elementerne i forsøget skal være med.
- **Udførelse af forsøget**: Skriv en kort men præcis gengivelse af, hvordan forsøgene udføres. Er der noget særligt, man skal være opmærksom på?
- **Måleresultater**: Her indsættes de tre måleskemaer fra forsøgene.
- **Databehandling**: Her udregner I
    - gennemsnittene i hvert af de tre forsøg
    - Jordens masse – som beskrevet i punkt 9 i forsøgsbeskrivelsen
- **Diskussion og konklusion**: Her skal I vurdere, om I har lavet et præcist forsøg. I skal sammenligne jeres resultat for Jordens masse med den rigtige værdi (tabelværdien). Tabelværdien for Jordens masse er $m_{Jord} = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg. I skal skrive overvejelser over,

hvorfor I ikke har ramt den helt rigtige værdi, dvs. hvad tror I man skal kende eller måle for at beregne Jordens masse mere præcist.

Tema 2 – Hvor skal min solcelle placeres for at give strøm til min bil om vinteren?

Figur 4 viser solcellerne på skolens idrætshal. Nogle af solcellerne er placeret lodret på muren, mens andre er placeret i en skrå vinkel. Men for at vide hvilken placering, der er bedst, skal du vide noget mere om, hvordan Jorden roterer om sig selv og om Solen.

Når du er færdig med dette tema, kan du svarer på, hvilken placering du vil foretrække sommer og vinter.



Figur 4: Nogle af Espergærde Gymnasiums solceller. Bemærk, at nogle solceller er placeret på skrå (45° i forhold til vandret), nogle er placeret lodret (90° i forhold til vandret).

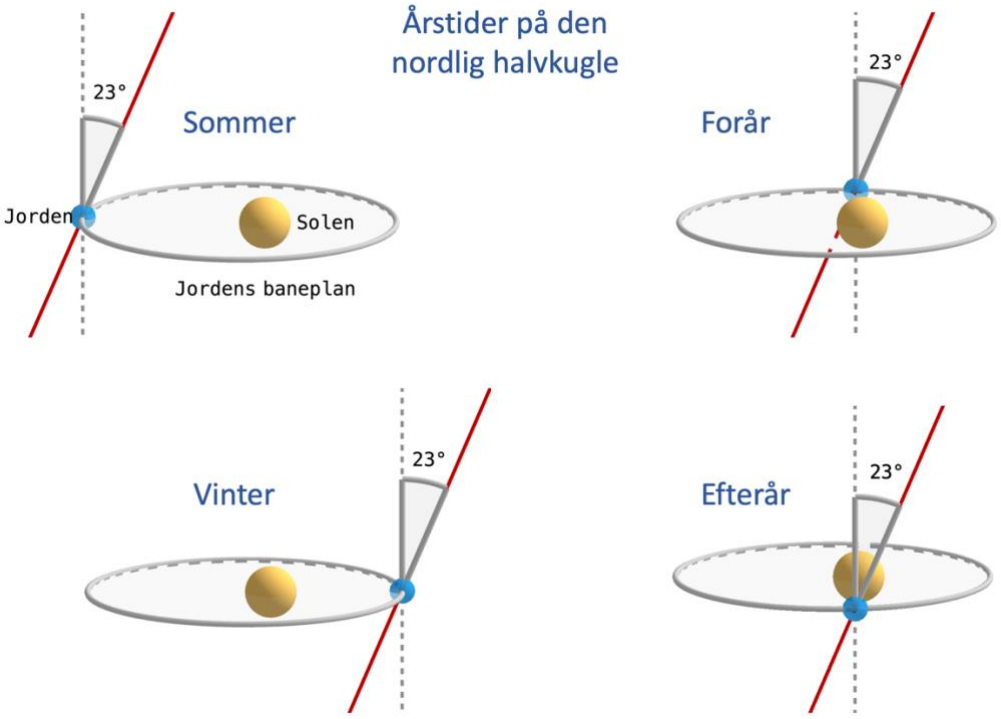
4 Jorden og Solen

Når du har læst dette afsnit, skal du kunne beskrive:

- koordinaterne for et punkt på Jordens overflade vha. bredde- og længdegrader
- solhøjden og zenit
- Jordens rotationsakse, ækvator og vendekredse

Jordens rotation og bevægelse omkring Solen

Jorden bevæger sig omkring Solen i en ellipsebane. Det tager ca. 365 dage for Jorden at komme hele vejen rundt om Solen. Det er Jordens bevægelse omkring Solen, som bestemmer årets længde. Jordens bane omkring Solen danner en plan, som vises som den grå ellipse på Figur 5.



Figur 5: Jordens placering på forskellige årstider og hældningen af Jordens rotationsakse (den røde linje) i forhold til en linje vinkelret på Jordens bane omkring Solen (den grå stiplede linje).

Jorden roterer om en akse, som kaldes Jordens rotationsakse. Rotationsaksen vises som de røde linjer på Figur 5. Det tager 24 timer for Jorden at rotere 1 gang omkring rotationsaksen. Det er Jordens rotation omkring rotationsaksen, som bestemmer døgnets længde. Jordens rotationsakse hælder 23,4° i forhold til en linje vinkelret på Jordens baneplan.

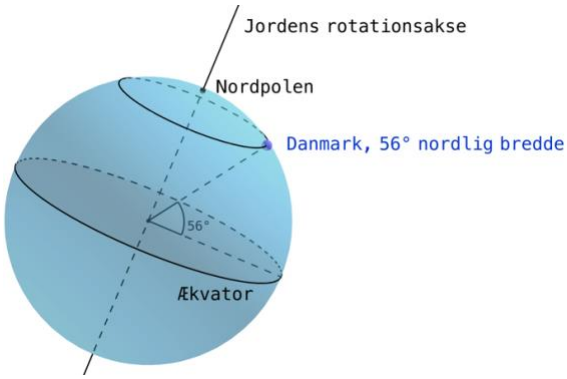
Breddegrader

Da Jorden er en kugle, kan man ikke bruge et almindeligt (x, y)-koordinatsystem til at angive et punkt på Jordens overflade. Derfor bruger man bredde- og længdegrader, som angives som vinkelmål.

Jordens rotationsakse går gennem Nordpolen og Sydpolen. Ækvator aftegner en cirkel rundt om Jorden midt mellem Nordpolen og Sydpolen.

En breddegrad svarer til en cirkel rundt om Jorden, hvor aksen mellem Nord- og Sydpolen går igennem centrum af cirklen. Den breddegrad som ligger 56° nord for ækvator kaldes "56 grader nordlige bredde".

Alle punkter på denne cirkel ligger 56° nord for ækvator, bemærk vinklen på Figur 6. En linje fra Jordens centrum til punktet på denne breddegrad danner altså en vinkel på 56° i forhold til den plan ækvator aftegner.



Figur 6: Breddegrader. Ækvator og breddegraden 56° nord.

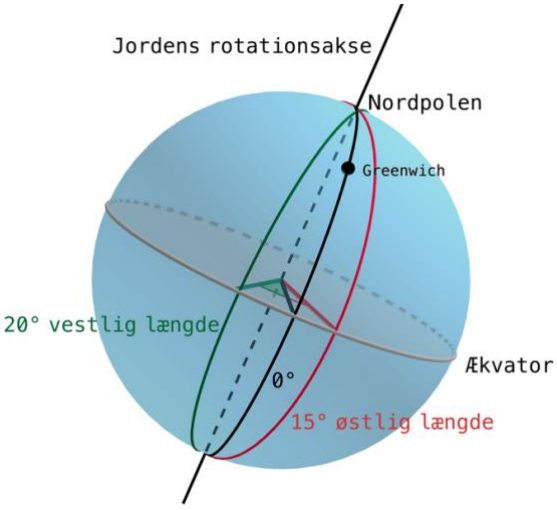
Længdegrader

Længdegrader går fra Nordpolen til Sydpolen. 0° er den længdegrad, som går igennem Greenwich ved London i England. Øst for 0° kaldes det østlig længde. Danmark ligger mellem 8° og 15° øst. Der er 360° rundt om Jorden, dvs. længdegraderne går fra 180° østlig til 180° vestlig længde.

Da Jorden er 24 timer om at dreje én omgang, drejer Jorden 15° på en time. Det kan man udregne ved at dividere 360° med 24 timer:

$$\frac{360°}{24 \text{ timer}} = 15° \text{ pr. time}$$

Jorden er inddelt i tidszoner på 15°. Men landene følger ikke altid den geografiske tidszone. Fx ligger dele af Frankrig lige så langt mod vest som England. London ligger 13° vest for København, så her passer det nogenlunde, at tiden i England er en time efter tiden i Danmark. Tidspunkter angivet efter tiden i London (uden sommertid) tilføjes GMT, som står for Greenwich Mean Time.



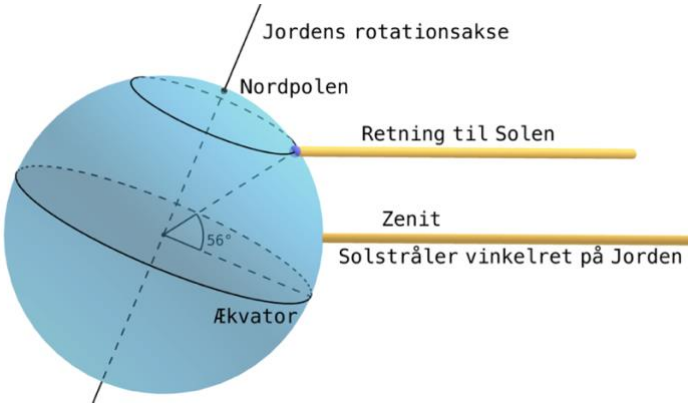
Figur 7: Længdegrader

Er du nysgerrig?
Mennesker har vidst siden oldtiden, at Jorden er rund:
https://videnskab.dk/naturvidenskab/store-opdagelser-jordens-form-og-stoerrelse/

Solhøjde og zenit

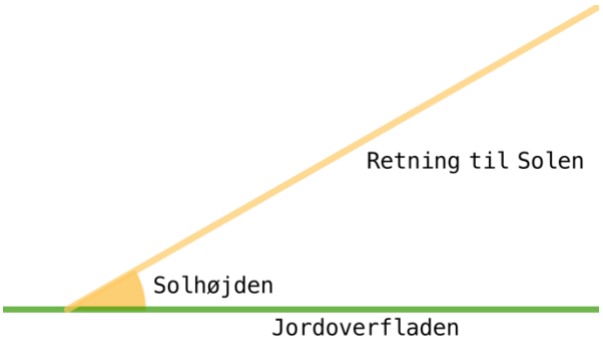
Solens lys rammer vinkelret ind på jord- overfladen et enkelt sted på Jorden. Man siger, at i dette punkt står Solen i zenit. Man vil opleve, at når Solen står i zenit forsvinder skyggerne lige under fødderne. Man kan dog aldrig opleve, at Solen står i zenit i Danmark.

Punktet, hvor Solen står i zenit, flytter sig i løbet af døgnet, fordi Jorden roterer om sin rotationsakse. Punktet flytter sig også fra dag til dag pga. Jordens bevægelse omkring Solen. Nord og syd for den breddegrad, hvor Solen står i zenit, rammer sollyset jordoverfladen i en spids vinkel.



Figur 8: Solens stråler rammer vinkelret på Jorden i det punkt, hvor man siger, at Solen står i zenit.

Definition: Solhøjde
Vinklen mellem jordoverfladen og retningen til Solen kaldes solhøjden.



Figur 9: Solhøjden er vinklen mellem jordoverfladen og retningen til Solen.

Når Solen står i zenit, er solhøjden 90°. Når Solen er lige ved at gå ned, vil solhøjden være 0°, da lyset rammer vandret ind langs jordoverfladen. Solhøjden varierer i løbet af dagen og i løbet af året.

Ved sommersolhverv på den nordlige halvkugle, 20. eller 21. juni, er solhøjden størst. Solhverv betyder, at Solen "vender" på himmel og ved sommersolhverv, at solhøjden derefter bliver mindre. I Danmark, som ligger på 56° nordlig bredde, er den største solhøjde midt på dagen 57°. Ved vintersolhverv, 21. eller 22. december, er den største solhøjde i Danmark 11°.

Er du nysgerrig?

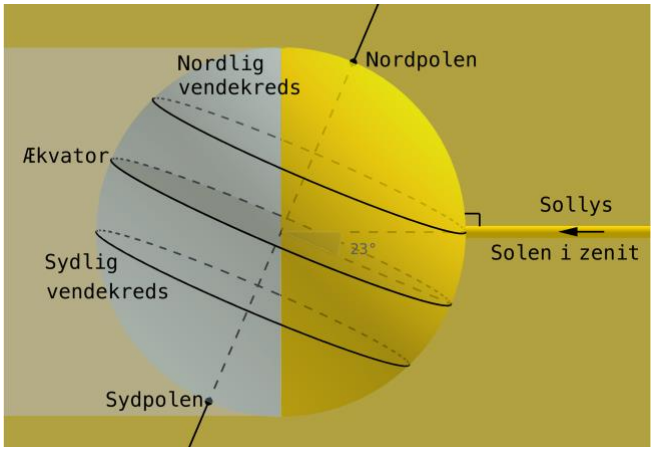
Når man skal beregne solhøjden, skal vi kende breddegraden. I Danmark er det 56° nordlig bredde. Hvis hældningen af Jordens rotationsakse var 0°, ville solhøjden midt på dagen i Danmark altid være 90° – 56° = 34°, da solhøjden er 90° på ækvator og bliver mindre svarende til breddegraden. Ved sommer- og vintersolhverv er det let at beregne den største solhøjde ved at korrigere for rotationsaksens hældning.

Om sommeren bliver solhøjden maksimalt 90° – 56° + 23° = 57°.

Ved vintersolhverv bliver solhøjden maksimalt 90° –56° –23° = 11°.

Vendekredsene

Da Jordens rotationsakse hælder 23° i forhold til Jordens baneplan og Jorden bevæger sig rundt om Solen, vil Solen kunne stå i zenit på forskellige breddegrader i løbet af året. Den breddegrad, hvor Solen står i zenit ved sommersolhverv på den nordlige halvkugle, kaldes den nordlige vendekreds. Tilsvarende kaldes den breddegrad, hvor Solen står i zenit ved sommersolhverv på den sydlige halvkugle (som er vintersolhverv på den nordlige halvkugle) for den sydlige vendekreds.



Figur 10: Vendekredsene er grænserne for, hvor Solen kan stå i zenit. På figuren er det sommersolhverv på den nordlige halvkugle.

Vendekredsene ligger henholdsvis 23° nord og syd for ækvator. Kig godt på figuren, så kan du se, at sollyset rammer vinkelret på jordoverfladen ved den nordlige vendekreds.

Forsøg: Måling af solhøjde



Figur 11: Måling af solhøjde

Måling af solhøjden – udendørs i solskinsvejr

Udstyr: meterstok og kridt

1) Opstil meterstokken lodret, så den kaster en skygge på et vandret underlag. Bemærk: den er **1 m** høj.
2) Tegn skyggen med kridt
3) Mål længden af skyggen/kridtstregen

Solhøjden beregnes med formlen $v = \tan^{-1}\left(\frac{1\text{m}}{\textit{længden af skyggen}}\right)$

4) Beregn solhøjden.

Gentag målingen i slutningen af modulet og sammenlign resultat med den første måling.

Måling af solhøjden – indendørs alternativ i tilfælde af dårligt vejr

Udstyr: tændstik, elefantsnot, lineal, lampe
Forsøget udføres som ovenfor i et mørklagt lokale. Solen erstattes af en halogenlampe.
Meterstokken erstattes af en tændstik, som stilles lodret på et bord vha. elefantsnot.
Husk, at måle højden af tændstikken.

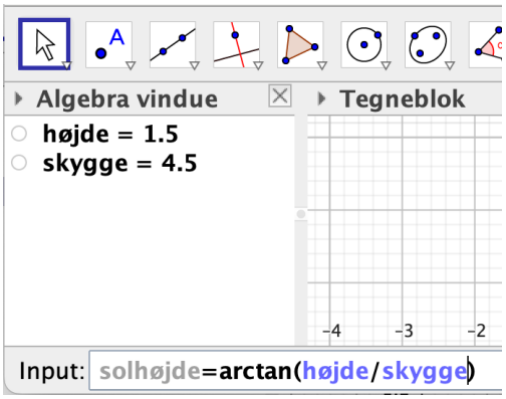


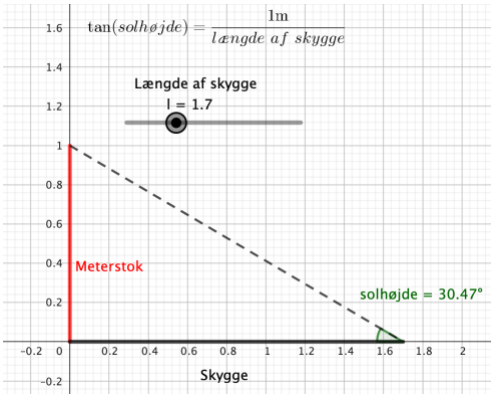
Figur 12: Måling af solhøjde

Solhøjden beregnes med formlen $v = \tan^{-1}\left(\frac{\textit{højde af tændstik}}{\textit{længden af skyggen}}\right)$

Beregning solhøjden med tangens for retvinklede trekanter

Figur 9 viser, at solhøjden som vinklen mellem vandret og retningen til solen. Du kan beregne solhøjden i Geogebra vha. funktionen arctan() eller grafisk vha. en retvinklet trekant.





5 Fysikforsøg: Måling af solindstrålingen

Når du har læst dette afsnit, skal du vide

- hvordan du kan måle solhøjden
- hvordan du kan måle sammenhængen mellem solhøjden og solindstrålingen på en solcelle

Forsøg: Sammenhængen mellem solhøjde og solindstråling på en solcelle

Formål

Formålet med forsøget er at undersøge sammenhængen mellem solhøjde og solindstrålingen.

Udstyr

Tændstik, elefantsnot, kort lineal, meterstok, lampe, pyranometer (måler solindstrålingen i enheden W/m^2)

Øvelsesvejledning



Figur 13: Måling af solhøjde og solindstråling

1) Mål længden af en tændstik. Skriv længden ind i måleskemaet nedenfor.

2) Sæt tændstikken fast i en klump elefantsnot og placer tændstikken lodret på gulvet, et sted hvor man ikke kommer til at træde på den.

3) Ved siden af tændstikken lægges den korte lineal, således at 0 cm er ud for tændstikken.

4) Placer pyranometeret på gulvet ved siden af tændstikken og linealen. Se Figur 13. Tænd pyranometeret

5) Sæt lampen på gulvet 60 cm fra pyranometeret.

6) Tænd lampen.

7) Mål længden af skyggen på tændstikken i cm og skriv denne ind i måleskemaet nedenfor.

8) Aflæs solindstrålingen på pyranometeret og skriv ligeledes denne ind i måleskemaet.

9) Nu løftes lampen i en kvartcirkel fra gulvet således, at afstanden til pyranometeret stadig er 60 cm. Løft lampen ca. 5 cm.

10) Gentag målingerne af længden af tændstikkens skygge og solindstrålingen. Noter værdierne i måleskemaet.

11) Løft igen lampen ca. 5 cm og gentag forsøget. Noter de målte værdier i måleskemaet.

12) Pkt. 11 skal gentages, indtil lampen er oppe i 90° over pyranometeret (stadig i 60 cm afstand). I skal i alt have 8 målinger mellem 0° og 90° og jeres måleskema skal være helt udfyldt nu.

Måleresultater

Måleskema								
Tændstikkens længde:_____cm								
Måling nr	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Skyggens længde (cm)								
Solindstråling (W/m²)								

Databehandling

13) Nu skal solhøjden (v) udregnes. Dette gøres ved at benytte formlen, der er beskrevet på s. 22:

$$v = tan^{-1}\left(\frac{længde\ af\ tændstik\ målt\ i\ cm}{længde\ af\ skygge\ målt\ i\ cm}\right)$$

Udregn solhøjden for hver måling og indskriv solhøjden i nedenstående skema.

Udregning af solhøjde								
Måling nr:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Solhøjde målt i grader								

14) Nu skal I lave en graf. Dette kan I gøre enten i Geogebra eller i Excel.

15) Grafen skal laves således, at solhøjden målt i grader sættes ud ad 1. aksen, og den tilhørende solindstråling sættes op ad 2. aksen. Indsæt alle 8 målepunkter i grafen.

16) Hvis I kan, må I gerne forbinde målepunkterne med rette linjestykker eller tegne en blød linje gennem målepunkterne.

Videoaflevering som fysikrapport

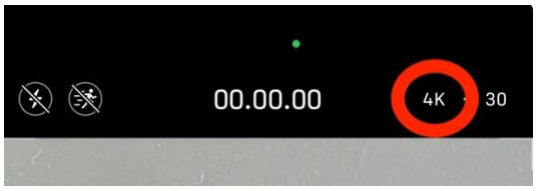
I skal lave en videoaflevering. Krav til vidoeafleveringen:

- Alle medlemmer af gruppen skal sige noget i afleveringen
- I skal optage videoen med en mobiltelefon. I kan enten:
    - stå ved en tavle, hvor I skriver og tegner på tavlen, mens I fremlægger

    eller

    - vise tegninger, udregninger og grafer på papir, mens I fremlægger
- Sæt optagekvaliteten til HD eller lavere. 4K giver for store filstørrelser.





- Aflever jeres optagelse på Teams – i fysikkanalen
- Gør jer umage med at
    - lave gode tegninger, foto, så man kan se alle vigtige detaljer. I skal pege præcist på detaljerne, når I fremlægger, så det er tydeligt, at I har forstået, hvordan forsøget laves.
    - vise alle dele af databehandlingen. I skal selv bruge videoen, når I skal forberede jeres eksamen, så tænk på, at I skal bruge videoen til at huske, hvordan I lavede forsøget og databehandlingen, samt hvad det viste om, hvordan man skal placere solceller.

Krav til indholdet af videoafleveringen – som minimum skal I have et slide til hvert af punkter a) – e):

a) En præsentation af forsøget med en tegning eller et billede af forsøget.
b) En præsentation af målingerne – det udfyldte skema
c) Et eksempel på en udregning af solhøjden
d) En gennemgang af grafen fra pkt. 14-16. Forklar hvad grafen viser – både hvad er x- og y-værdierne, samt grafens form.
e) Til sidst i jeres præsentation skal I svare på, hvordan det er bedst at opstille solceller i to forskellige tilfælde i Danmark: om sommeren og om vinteren. For at kunne svare på dette skal I benytte den viden, I har fået fra s. 18-21 i dette kompendium.
Hint: Husk at solen aldrig står i zenit i Danmark.

Her er et eksempel på en videoafleveringen med det første forsøg I lavede.
https://go.screenpal.com/u/6jEN/VideoafleveringFysikGF

6 Dag, nat og årstider

Når du har læst dette afsnit, skal du kunne beskrive:

- dag, nat og hvordan dagslængden afhænger af breddegraden
- solindstrålingen og hvordan den afhænger af breddegraden
- hvordan årstiderne afhænger af dagslængden og solindstrålingen

Hvorfor har vi årstider på Jorden?

Årstidsvariationen med sommer, efterår, vinter og forår er ret tydelig i et land som Danmark. Dette fænomen kan forklares ud fra Jordens bevægelse i solsystemet. For at undersøge årsagen til årstiderne opstiller vi nogle hypoteser, som måske kan forklare årsagerne til årstiderne. Derefter undersøger vi hypoteserne og ser, om vi kan påvise, at en eller flere af hypoteserne er forkerte.

Overvej tre mulige hypoteser for årsagen til årstider i Danmark

Hypotese 1: Der er sommer, når Jorden er tættest på Solen

Hypotese 2: Årstiderne skyldes ændringer i dagslængden

Hypotese 3: Årstiderne skyldes ændringer i solhøjden

Jordens afstand til Solen

Jorden bevæger sig i en ellipse omkring Solen, se Figur 5 i kapitel 4. En ellipse er en fladtrykt cirkel, så afstanden mellem Jorden og Solen varierer i løbet af året. Jordens bane er dog stort set en cirkel, så ændringen i afstanden er lille.

Den mindste afstand mellem Jorden og Solen er $147{,}1 \cdot 10^6$ km. Den største afstand er $152{,}1 \cdot 10^6$ km. Ændringen i afstanden betyder, at intensiteten af sollyset på Jorden ændrer sig 7% i løbet af året, hvilket er en meget lille ændring.

Der er to argumenter mod hypotese 1 om årsagen til årstiderne. Årstiderne på den nordlige og sydlige halvkugle er modsat. Dvs. vi har vinter, når de har sommer på den sydlige halvkugle. Hvis vi havde sommer, når vi var tættest på Solen, skulle der også være sommer samtidigt på den sydlige halvkugle.

Et andet argument er, at Jorden er tættest på Solen i januar. Så på den nordlige halvkugle har vi vinter, når vi er tættest på Solen. Konklusionen er, at det ikke er ændringen i afstanden til Solen, som er årsagen til årstiderne. Vi fortsætter derfor med at undersøge hypotese 2 og 3.

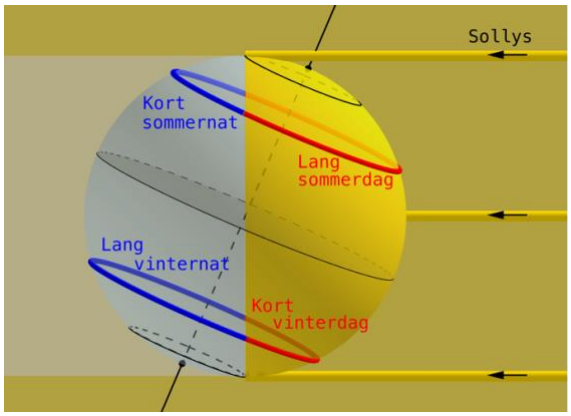
Dagslængde

Der er altid dag på halvdelen af jordkloden og nat på den anden halvdel. Nye områder drejer ind i sollyset i den vestlige udkant af det oplyste område, mens andre dele af jordoverfladen drejer ud af det oplyste område i den østlige udkant af det oplyste område.

Definition: Dagslængde
Dagslængden er tiden fra Solen står op til Solen går ned.

Figur 14 viser sollyset på Jorden ved sommersolhverv på den nordlige halvkugle. Bemærk at Nordpolen og nordenden af Jordens rotationsakse hælder mod Solen. Området længst mod nord dvs. nord for den breddegrad, man kalder for polarcirklen, er belyst af sollys hele døgnet, og dagslængden længst mod nord er derfor 24 timer.

De røde dele af breddegraderne på Figur 14 viser dagslængden. Den røde del svarer til antallet af timer, hvor Solen lyser på denne breddegrad. Den blå del viser tilsvarende længden af natten. Nord for ækvator er dagslængden længere end 12 timer og syd for ækvator er dagslængden kortere end 12 timer. Jo længere man kommer mod nord, jo længere bliver dagslængden.



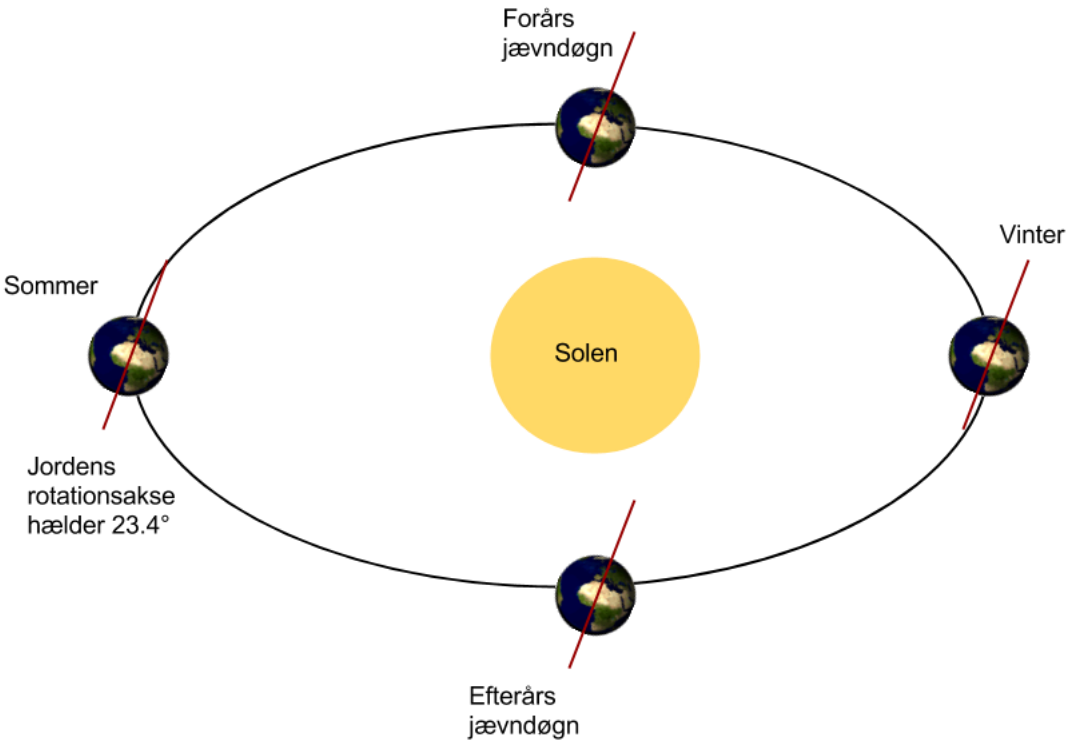
Figur 14: Dagslængden illustreres af længden af den røde cirkelbue. På figuren er det sommersolhverv på den nordlige halvkugle.

Husk at Jorden roterer om sin akse med 15° pr. time, hvilket svarer til 1 omgang pr. døgn.

Figur 14 er tegnet ved sommersolhverv på den nordlige halvkugle. Når det er vinter på den nordlige halvkugle, svarer det til, at sollyset kommer fra venstre side på figuren, og dagslængden bliver størst mod syd.

Dagslængden bestemmer hvor mange timer, der er sollys på et bestemt sted på Jorden, og dermed hvor lang tid jordoverfladen opvarmes. Konklusionen er, at hypotese 2 er en mulig årsag til variationen i temperaturen på Jorden og dermed årstiderne. En anden observation, som passer med hypotese 2, er, at variationen i årstiderne er størst langt mod nord og syd, hvor der er størst forskelle i dagslængden.

I Espergærde er den længste dag 17 timer og 38 minutter, mens den korteste dag er 6 timer og 57 minutter. Den længste dag er 2,5 gange så lang som den korteste.
Døgnene midt mellem sommer og vinter kaldes **forårs- eller efterårsjævndøgn**. Jævndøgn betyder, at dagene er lige lange på hele Jorden. De to døgn i året har man således 12 timers dag og 12 timers nat på hele Jorden. Den 19. eller 20. marts er der forårsjævndøgn. Den 22. eller 23. september er der efterårsjævndøgn.



Figur 15: Jordens placering og retningen af Jordens rotationsakse ved forskellige årstider på den nordlige halvkugle.

Solhøjde og solindstrålingen

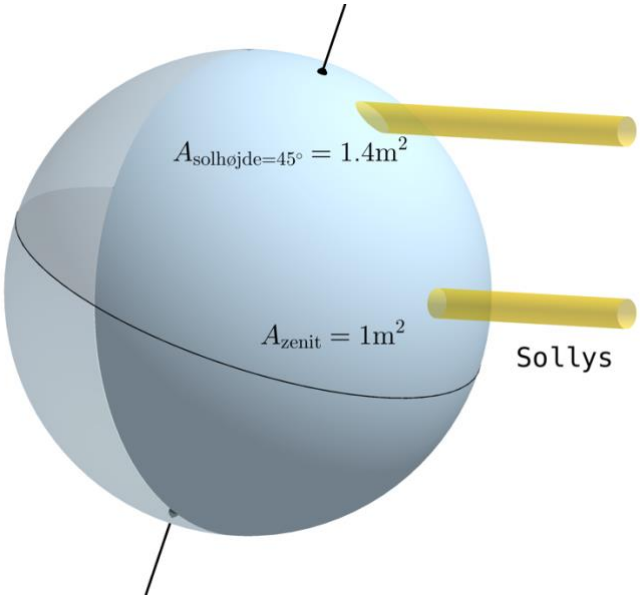
Solen udstråler hvert sekund $3{,}83 \cdot 10^{26}$ J som strålingsenergi. Det kalder man, at Solens effekt er $3{,}83 \cdot 10^{26}$ W. Enheden kaldes Watt ($\mathrm{W} = \mathrm{J/s}$). Solens lys spredes i alle retninger. Da Jorden i gennemsnit er $149{,}6 \cdot 10^{6}\ \mathrm{km}$ fra Solen, bliver Solens energi derfor spredt ud over en kugle med en overflade på $2{,}81 \cdot 10^{23}\ \mathrm{m}^2$. I Jordens afstand fra Solen bliver intensiteten af sollyset derfor

$$I = \frac{3{,}83 \cdot 10^{26}\mathrm{W}}{2{,}81 \cdot 10^{23}\mathrm{m}^2} = 1363\ \mathrm{W/m}^2$$

På vej gennem Jordens atmosfære absorberes en del af sollyset, så kun ca. 70% når jordoverfladen svarende til $950\ \mathrm{W/m}^2$.

Definition: Solindstråling
Solindstrålingen er mængden af sollys, som rammer jordoverfladen.
Solindstrålingen måles som effekt pr. areal i enheden $\mathrm{W/m^2}$.

Da sollyset kun meget få steder på Jorden rammer vinkelret på jordoverfladen, skal vi tage højde for, hvordan sollyset fordeles ud over større stykker jord, når sollyset rammer skråt på jordoverfladen. Solhøjden bestemmer hvor stort et område sollyset spredes ud over. Står Solen i zenit, bliver sollyset fx spredt over 1 m^2. Hvis solhøjden er 45°, bliver arealet 1,4 m^2. Derfor bliver solindstrålingen mindre, jo længere vi kommer mod nord- eller sydpolen.



Figur 16: Sollyset spredes over større områder, jo længere man kommer fra det sted, hvor Solen står i zenit.

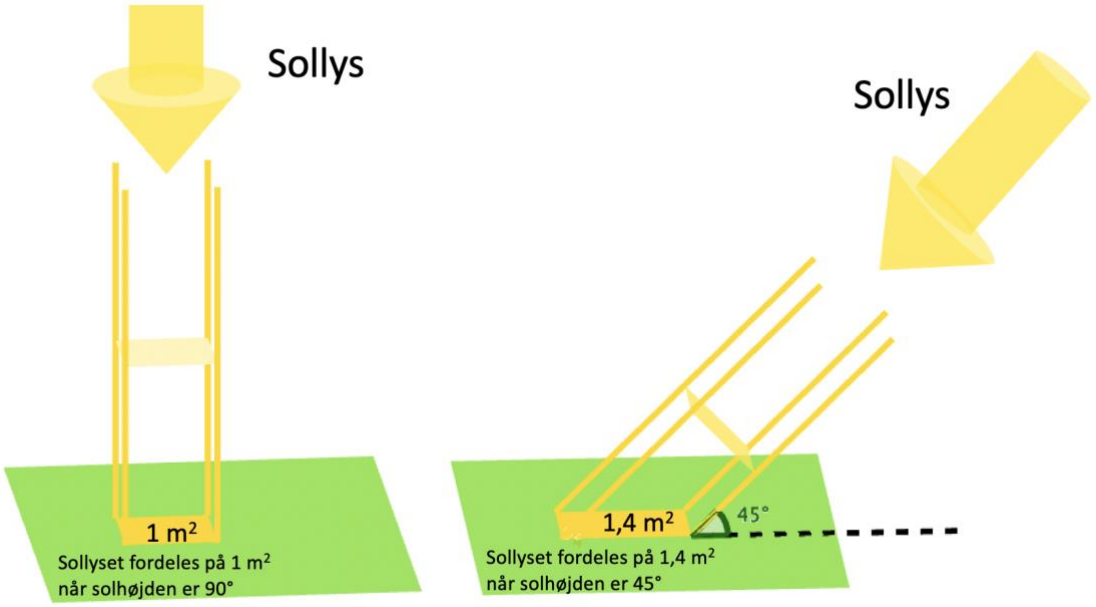
Solhøjden bestemmer, hvor varmt der bliver på jordoverfladen og bestemmer dermed årstiden. Solen står højt på himlen om sommeren og lavt om vinteren. Om sommeren er den maksimale solhøjde i Danmark 57°, og midt på dagen er solindstrålingen ca. 800 $\mathrm{W/m^2}$. Om vinteren bliver solhøjden maksimalt 11°, og solindstrålingen kommer ikke over 180 $\mathrm{W/m^2}$. Solindstrålingen er mere end 4 gange større på en sommerdag i Danmark end på en vinterdag.

Hypotese 3 om solindstrålingen er derfor en mulig årsag til variationen i temperaturen på Jorden og dermed årstiderne. En anden observation som passer med hypotese 3 er, at variationen i årstiderne er størst langt mod nord og syd, hvor der er størst forskelle i solhøjden i løbet af året.

Årsagen til årstiderne

Konklusionen er altså, at temperaturen afhænger både af dagslængden og af solindstrålingen og dermed solhøjden. Mellem de to vendekredse er dagslængden tæt på 12 timer hele året, og solhøjden ændrer sig kun lidt. Derfor har vi næsten ingen variation i årstiderne i troperne ved ækvator.

Langt mod syd eller nord er der store ændringer i både dagslængden og solindstrålingen i løbet af året. Derfor er der større forskelle på sommer og vinter jo længere væk man kommer fra ækvator.



Figur 17: Illustration af hvordan sollyset fordeles på et større område, når solhøjden bliver mindre.

Lokale forhold har også betydning for årstiderne. Er der meget vand i nærheden, som fx i Danmark, bliver der koldere om sommeren og varmere om vinteren end det ellers ville have været. Det skyldes, at vand skal tilføres meget energi fra sollyset for at blive varmet op. På samme måde holder vandet på varmen om vinteren. I fastlandsklima, som midt inde i Rusland eller USA, er der større ændringer i temperaturen i løbet af året.

Golfstrømmen har også betydning for klimaet i Danmark. Golfstrømmen transporterer varmt vand nord på i den østlige del af Atlanterhavet. Danmark og Norge har derfor varmere klima, end vi ville have uden Golfstrømmen.

Tema 3 – Hvorfor er Jorden den bedste planet i solsystemet?

Har du overvejet, hvor heldige vi er, at Jorden ligger i den helt rette afstand fra Solen, så her hverken er for varmt eller for koldt? Vi er også heldige, at Jorden består af de rette stoffer, så der er vand og andet der er nødvendigt for at livet kunne opstå her på Jorden.

I dette Tema se lærer du om solsystemets opbygning, og hvordan betingelserne for liv er opfyldt på Jorden.

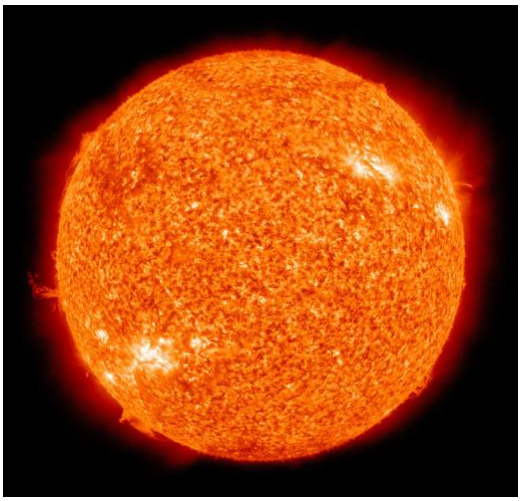
7 Solsystemets opbygning

Når du har læst dette afsnit, skal du kunne beskrive:

- forskellen mellem en måne, en planet og en stjerne/Solen
- bevægelsen af planeterne omkring Solen
- kometer og andre dele af solsystemet

Solen

I centrum af vores solsystem er Solen. Solen er en stjerne og lyset fra Solen er vigtig for alt liv på Jorden. Sollyset er vores vigtigste energikilde. Planterne udnytter sollyset i fotosyntese, og dyrene får energi ved at spise planterne.



Figur 18: Solens overfladetemperatur varierer lidt. Det kan man se på et billede af det ultraviolette lys, som Solen udsender. De varmeste områder er lyse på billedet. Kilde: NASA

I en bæredygtig energiforsyning udnytter man sollyset enten direkte i solceller til elektrisk energi eller indirekte i vindmøller. Når luften på Jorden opvarmes, opstår høj- og lavtryk i atmosfæren og vinden blæser fra højtryk til lavtryk. Så det er Solens energi, der omsættes til vindens bevægelse og derefter til elektrisk energi i vindmøllen.

Solen er én af ca. 200 milliarder stjerner i Mælkevejen. Solen er en almindelig stjerne og består mest af hydrogen (73%) og helium (25%). Farven af lyset fra Solen afhænger af overfladens temperatur. Solens temperatur er næsten 6000°C og derfor udsender den hvidt lys.

Solens energi

Den gennemsnitlige densitet af Solen er 1,41 $\mathrm{g/cm^3}$, kun lidt mere end densiteten af vand. I centrum af Solen er densiteten 160 gange større og temperaturen er omkring 15 millioner grader.

I centrum af Solen er stoffet presset meget tæt sammen og bevæger sig hurtigt pga. den høje temperatur. Derfor kan hydrogen-atomkerner komme så tæt på hinanden, at de kan fusionere. Ved fusion omdannes 4 protoner (hydrogen-atomkerner) til en helium-atomkerne ved en såkaldt pp-proces (link). I pp-processen omdannes noget af Solens masse til energi, og energien til Solens lys opstår på denne måde.

Er du nysgerrig? Læs om hvordan man kan beregne Solens densitet

Solens masse er $1{,}988 \cdot 10^{30}$ kg, men man kan jo ikke veje Solen på en vægt. Til gengæld kan man beregne Solens masse vha. tyngdekraften mellem Solen og Jorden:
https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/yba/CygX1_mass/gravity/sun_mass.html

Man skal kende afstanden fra Jorden til Solen og Jordens hastighed i banen omkring Solen. Afstanden til Solen er svær at måle, men kan bestemmes, når planeten Venus passerer mellem Jorden og Solen. I 1769 målte man første gang afstanden på denne måde og fik en værdi, som kun var 3% større end den rigtige værdi.

Når vi først kender afstanden til Solen, kan vi bestemme Solens radius vha. et langt rør med et hul i den ene ende. Rørets længde og den plet, sollyset laver i den anden ende af røret, kan bruges til at udregne Solens radius til $6{,}957 \cdot 10^8$ m. Vi kan nu beregne volumen af Solen:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (6{,}957 \cdot 10^8 \mathrm{m})^3 = 1{,}410 \cdot 10^{27} \mathrm{m^3}$$

Nu kan vi beregne Solens gennemsnitlige densitet ρ:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1{,}988 \cdot 10^{30} \mathrm{kg}}{1{,}410 \cdot 10^{27} \mathrm{m^3}} = 1{,}41 \ \mathrm{g/cm^3}$$

Bemærk, at Solens gennemsnitlige densitet kun er 40% højere end vands densitet, som er 1,0 $\mathrm{g/cm^3}$.

Planeter

I solsystemet er der 8 planeter. Alle planeterne i solsystemet bevæger sig omkring Solen. Vi skelner mellem 2 typer planeter: stenplaneter og gasplaneter.

Definition: Planet

En planet er et himmellegeme, der opfylder 3 krav:

- En planet cirkler om en stjerne
- En planet har en masse, der er stor nok til, at den bliver kugleformet, men for lille til, at den bliver en stjerne med fusion i midten
- En planet har ryddet sin bane for støv og klippestykker

Stenplaneterne

De inderste 4 kaldes Merkur, Venus, Jorden og Mars. Disse planeter har en fast overflade og kaldes jordlignende planeter. Man kalder dem også stenplaneter, fordi den yderste del af planeterne består af klipper og sand. Disse stoffer er faste selv ved meget høje temperaturer. De to vigtigste grundstoffer i sand er silicium (Si) og oxygen (O).



Figur 19: Jorden set fra Månen. Kilde: NASA

Jordens gennemsnitlige densitet er 5,5 $\mathrm{g/cm^3}$. Det forklarer fx at store dele af Jordens vand (med densitet på 1,0 $\mathrm{g/cm^3}$) samler sig på overfladen som oceaner.

Jorden befinder sig i den helt rette afstand fra Solen. Det betyder, at temperaturen på Jorden hverken er for varm eller kold til, at vi kan have liv på Jorden. Temperaturen har betydning for, at vand kan være flydende, hvilket er vigtigt for den slags liv, vi har på Jorden.

Tabel 5 viser data om de fire stenplaneter. Temperaturen og atmosfæren skal være helt rigtig, hvis liv skal være muligt. Vi kender kun til liv på Jorden.

	Merkur	Venus	Jorden	Mars
Afstanden til Solen i AE	0,383	0,723	1,000	1,524
Overfladetemperatur i °C	Max: 430 Min: -170	Max: 465 Min: 465	Max: 60 Min: -90	Max: 35 Min: -143
Atmosfære	Stort set ingen	CO_2 (96,5%) N_2 (3,5%)	N_2 (78%) O_2 (21%)	CO_2 (95,3%) N_2 (2,7%) Ar (1,6%)
Atmosfæretryk i forhold til på Jorden	0	90	1	0,01
Masse i forhold til Jordens masse	0,055	0,815	1,000	0,107

Tabel 5: Data for stenplaneterne. En astronomisk enhed (AE) er en enhed for længde. 1 AE svarer til den gennemsnitlige afstand mellem Jorden og Solen, 1 AE = 149 597 871 km.

Opgave

Kig i Tabel 5 og se, om du kan finde svar på disse spørgsmål:

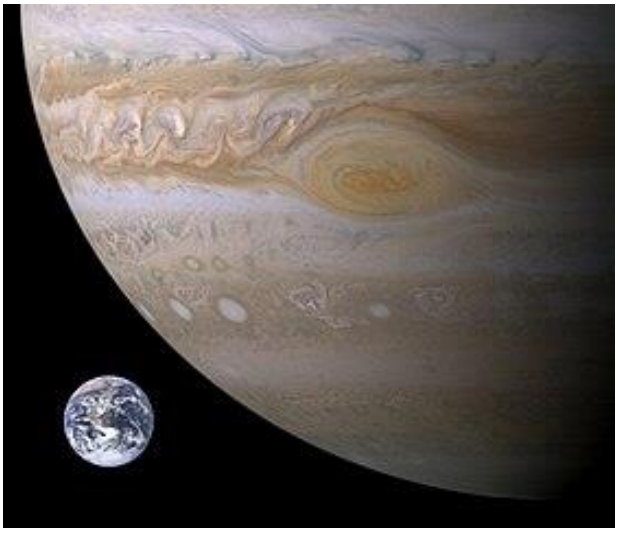
1) Hvilke faktorer bestemmer temperaturen på planeterne?
2) Hvilke faktorer bestemmer atmosfærens egenskaber?

Er du nysgerrig? Inge Lehmann og Jordens kerne

Inge Lehmann (1888-1993) var en dansk geolog, der havde stor betydning for vores forståelse af Jordens opbygning. Hun undersøgte rystelserne fra jordskælv på hele Jorden. Ud fra udbredelsen af bølger fra jordskælv, fandt hun, at Jorden har en fast kerne. Du kan læse mere her.

Gasplaneterne

De yderste planeter Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun består primært af hydrogen (H) og helium (He). De kaldes gasplaneterne, fordi de ikke har en fast overflade. Massen af den største gasplanet, Jupiter, er 318 gange større end Jordens masse. Den mindste, Uranus, har en masse, der er 14,5 gange Jordens masse.



Figur 20: Sammenligning mellem Jordens og Jupiters størrelse. Kilde: NASA

Er du nysgerrig? Hvor og hvordan kan liv opstå?
Mange forskere undersøger, om der har været liv på Mars og andre forskere har fundet planeter i andre solsystemer, så kaldte exoplaneter:
https://nbi.ku.dk/sciencexplorer/rummet/
Exoplaneter kredser om andre stjerner end Solen. Ved at undersøge lyset fra disse stjerner har man bl.a. kunnet finde ud af, om exoplaneterne har atmosfærer, og hvad de i givet fald består af. Det store spørgsmål, der interesserer disse forskere, er "hvor og hvordan kan liv opstå?". Hvis man kan besvare dette spørgsmål, så kan vi bedre forstå, hvordan livet på Jorden er muligt.

Dværgplaneter

Pr. definition har en planet ryddet op i sin bane omkring Solen. Enten er materialet blevet en del af planeten eller det er blevet skubbet ud af solsystemet ved et sammenstød. En dværgplanet kredser omkring Solen, men er ikke stor nok til at have ryddet op i sin bane. Den kendteste dværgplanet er Pluto. Pluto ligger dog meget langt ude i solsystemet og kan kun ses i meget kraftige teleskoper. Det var derfor først i 2005, at man opdagede endnu en dværgplanet, Eris. I dag kender vi mindst 5 dværgplaneter

Asteroider

Mellem planeterne Mars og Jupiter ligger Asteroidebæltet. En asteroide ligner en dværgplanet, men er endnu mindre. I solsystemet har man fundet næsten en million asteroider, og forskere arbejder på at finde flere asteroider.

Man vil måle, om en asteroide kan komme tæt på Jorden. Hvis en asteroide rammer Jorden, vil det være en katastrofe. Men sandsynligheden for, at det sker, er heldigvis så lille, at det ikke skal bekymre os.

Hvis et klippestykke kommer ind i Jordens atmosfære, vil det normalt fordampe på vej mod Jorden, fordi klippestykket varmes op af luftmodstanden i atmosfæren. Der er dog teorier om, at dinosaurerne blev udryddet fra Jorden for 65 millioner år siden, da en asteroide ramte Jorden. Men der er også andre mulige forklaringer på, at dinosaurerne uddøde, og vi ved det ikke med sikkerhed.

Kometer

En komet bevæger sig i en meget langstrakt bane omkring Solen. Når den er tættest på Solen, bliver kometen varmet op, og noget af kometen blæses væk. Dette materiale kan ses som en lysende hale på natte- himlen. Et kendt eksempel er Halley's komet. Den kom sidst tæt på Solen i 1986 og næste gang kommer den forbi Jorden og Solen i 2061.



Figur 21: Halley's komet med halen, som reflekterer sollys. Kilde: NASA

Måner og Jordens måne

Definition: Måne
En måne er et himmellegeme, som cirkler omkring en planet.

Jorden har én måne, mens planeterne Jupiter og Saturn har omkring 80 måner hver. Massen af Jordens måne ca. 1,2% af Jordens masse. Vores måne er derfor så lille, at den ikke kan holde på en atmosfære eller flydende vand. Den lille masse betyder, at tyngdekraften på Månens overflade kun er 17% af tyngdekraften på Jordens overflade, og derfor kan lette vandmolekyler slippe væk fra Månen.

Jupiters 4 største måner har haft stor betydning for udforskningen af solsystemet og forståelse af, at Solen er i midten af solsystemet, mens planeterne kredser om Solen og månerne kredser om en planet.

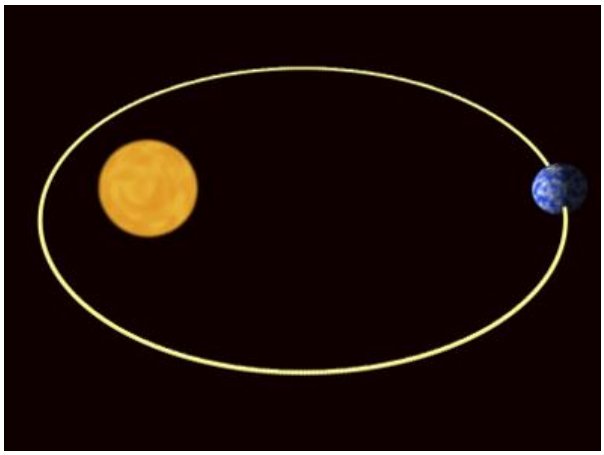
Er du nysgerrig? Galilei og kikkerten

Galileo Galilei konstruerede én af de første kikkerter i verden i 1609. Galilei brugte kikkerten til at undersøge Månens overflade og kraterne på overfladen. Galilei kunne også se 4 måner omkring planeten Jupiter. Denne opdagelse var med til at ændre forståelsen af solsystemet, så man forstod, at Solen er i midten, og Jorden er én af flere planeter omkring Solen. https://da.wikipedia.org/wiki/Kikkert

Solsystemets dannelse

Solsystemet blev dannet for ca. 4,6 milliarder år siden. Det blev dannet af en støvsky af primært hydrogen (H) og helium (He), men også en mindre mængde grundstoffer, som er dannet i tidligere stjerner fx carbon (C), oxygen (O) og nitrogen (N). Disse tungere grundstoffer har også betydning for livet på Jorden. Uden grundstoffer fra stjerner, som eksisterede før solsystemet, havde vi ikke haft oxygen, carbon og nitrogen og derfor ikke liv, som vi kender det her på Jorden.

Tyngdekraften fik stoffet i skyen til at trække sig sammen og danne Solen i midten og en skive af stof omkring Solen. Mere end 99% af solsystemets masse er i Solen. Solens masse er 330 000 gange større end Jordens masse.



Figur 22: Jordens bane omkring Solen. Bemærk, størrelser og afstande passer ikke, og Jordens bane er slet ikke lige så fladtrykt som på figuren. Animation.

Støvskyen roterede og derfor var der mulighed for at danne planeter, som cirkler rundt om Solen. Da Solen havde trukket sig nok sammen, begyndte fusion i midten af Solen og dermed var der energi til sollyset. Solen begyndte at lyse, og Solens lys blæste støv ud af solsystemet, så kun Solen, planeterne med måner, asteroiderne og kometerne var tilbage.

Alle planeternes baner ligner cirkler, som ligger i samme plan, der hvor skiven af stof oprindelig var. Ser man solsystemet fra siden danner planeternes baner en flad skive. Mere præcist viste Johannes Kepler i 1609, at planeternes baner er ellipser. En ellipse

ligner en fladtrykt cirkel, se Figur 22. Jordens bane er dog meget tæt på at være en cirkel, så figuren overdriver, hvor fladtrykt banen er.

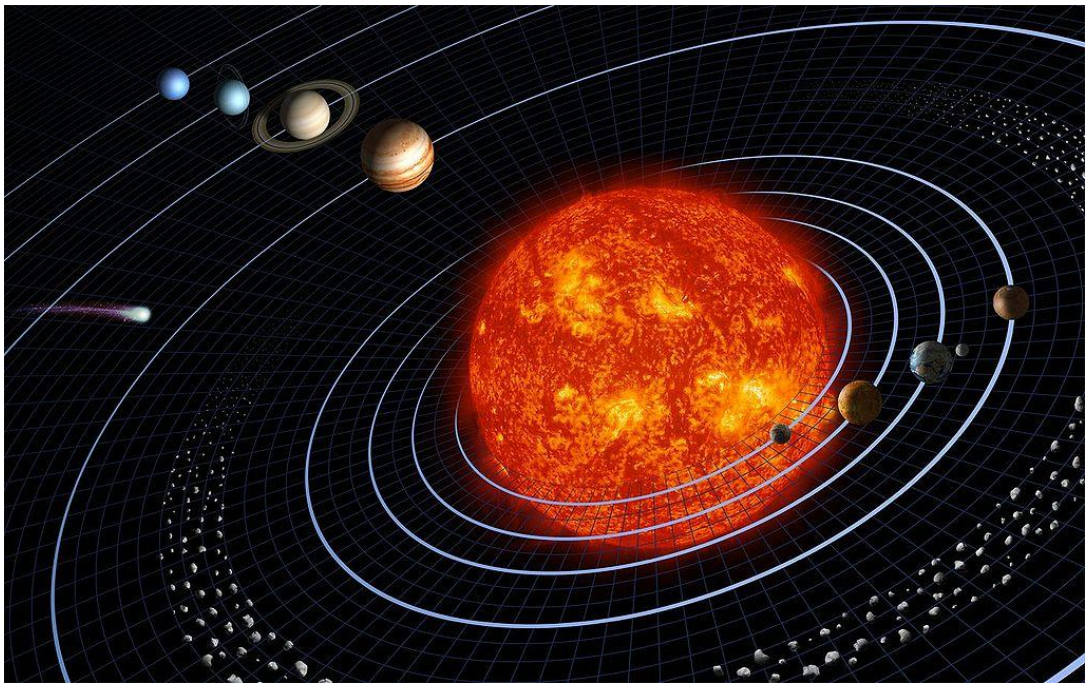
Er du nysgerrig? Tycho Brahe

Du kan læse mere om, hvordan den danske astronomi Tycho Brahe foretog observationer af planeter og stjerner på øen Hven i Øresund i slutningen af 1500-tallet: https://da.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe. Tycho Brahes nøjagtige observationer var grundlaget for Keplers love om planeternes bevægelse i solsystemet og var dermed med til at skabe det moderne verdensbillede med Solen i centrum af solsystemet: https://da.wikipedia.org/wiki/Keplers_love

Planetøvelse – model af solsystemet

I denne øvelse skal vi undersøge størrelsesforholdene i solsystemet. Både Solens og planternes størrelse i forhold til hinanden og også afstanden mellem dem. For at gøre det det skal vi opstille en model på skolens fodboldbane.

Inden I skal have jakken på og udenfor, skal vi beregne forholdene i solsystemet.



Figur 23: Det er svært at lave et billede, hvor alle planeter og Solen er synlige. Derfor er størrelsen af planeterne og Solen, samt afstandene mellem dem ikke korrekte på dette billede. Planeterne skulle være meget mindre og længere væk fra Solen. Kilde: NASA

Da alle 8 planeter kredser rundt om Solen, tager vi udgangspunkt i den. Vi forestiller os altså, at vi står på Solen og kigger derfra. Derfor sætter vi afstanden til Solen til 0 km.

Nu skal vi forestille os, at vi formindsker hele solsystemet. Vi skrumper solsystemet, til Solen ikke fylder mere end 50 cm i diameter.

Det er jeres opgave at udregne, hvor langt der er til de enkelte planter, og hvor store de er – i vores nye skrumpede, mini-solsystem. Skriv resultaterne ind i nedenstående skema.

Bemærk!!! Kig på enhederne i de fire kolonner. Hvis ikke I benytter de rigtige enheder, vil I få nogle forkerte resultater.

	Rigtig Diameter i km	**Rigtig afstand til Solen i mio. km**	**Ny formindsket diameter i cm**	**Ny formindsket afstand i m**
Solen	1.393.000	0	50	0
Merkur	4.879	58		
Venus	12.104	108		
Jorden	12.756	149,6		
Mars	6.792	228		
Jupiter	142.984	779		
Saturn	120.536	1.434		
Uranus	51.118	2.873		
Neptun	49.528	4.495		

Som I måske har opdaget, bliver der ret langt ud til de sidste tre planter: Saturn, Uranus og Neptun. Derfor kan disse desværre ikke komme med i vores model på fodboldbanen, da skolens fodboldbane ikke er lang nok.

Nu er det blevet tid til at få jakke på. Sammen skal klassen opstille planeterne i korrekt afstand fra hinanden på skolens fodboldbane. Dette gøres ved hjælp af planetmodellen og et meterhjul, der benyttes til at måle afstanden.

8 Månens faser og formørkelser

Når du har læst dette afsnit, skal du kunne beskrive:

- Månens faser, fuldmåne og nymåne
- måne- og solformørkelse
- hvorfor der ikke er måneformørkelse hver gang, der er fuldmåne

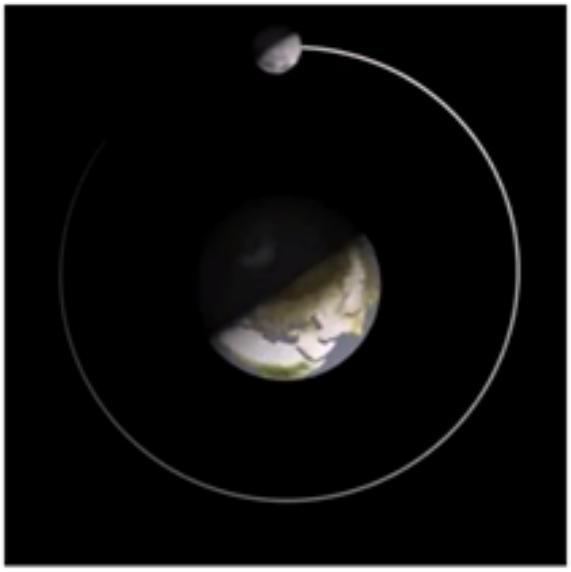
Månens faser

Om natten er himlen sort, fordi man kigger i retningen væk fra Solen. Men ofte lyser Månen op på nattehimlen. Månen danner ikke selv lys på samme måde som Solen. Så hvorfor kan man se Månen? Det kan man, fordi sollys rammer Månen og reflekteres, så vi kan se det på Jorden. Månens overflade virker som et spejl for sollyset, selv om det kun er en lille del af sollyset, som reflekteres. Halvdelen af Månen er oplyst, men kun ved fuldmåne kan man se hele den oplyste del af Månen fra Jorden.

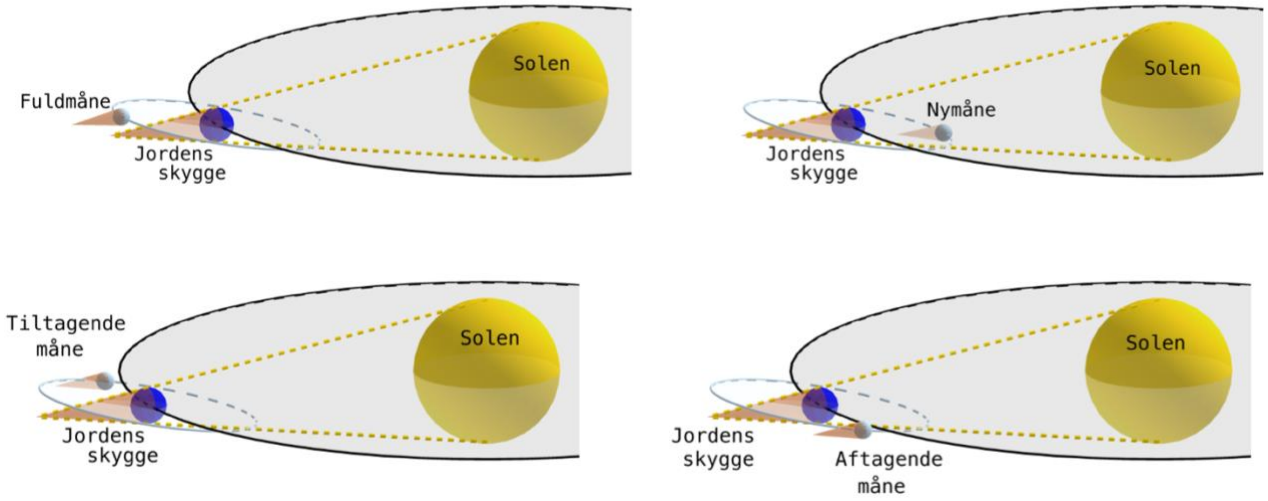
Månen bevæger sig rundt om Jorden i løbet af 29,5 døgn. Når vi ser Månen, står vi på natsiden af Jorden. Derfor kan vi ikke se hele det oplyste område hver nat. Månen skifter udseende, når den bevæger sig rundt om Jorden, og det er det, vi kalder Månens faser.

Når vi ser Månen som fuldt oplyst, kaldes det fuldmåne. Det sker, når Månen og Solen står på hver sin side af Jorden.

Når vi ikke kan se Månen, fordi den oplyste side vender væk fra Jorden, kaldes det nymåne. Mellem nymåne og fuldmåne, kan vi se mere og mere af Månen for hver nat, og vi siger, at Månen er tiltagende. Mellem fuldmåne og nymåne, kan vi se mindre og mindre af Månen for hver nat, og vi siger, at Månen er aftagende.

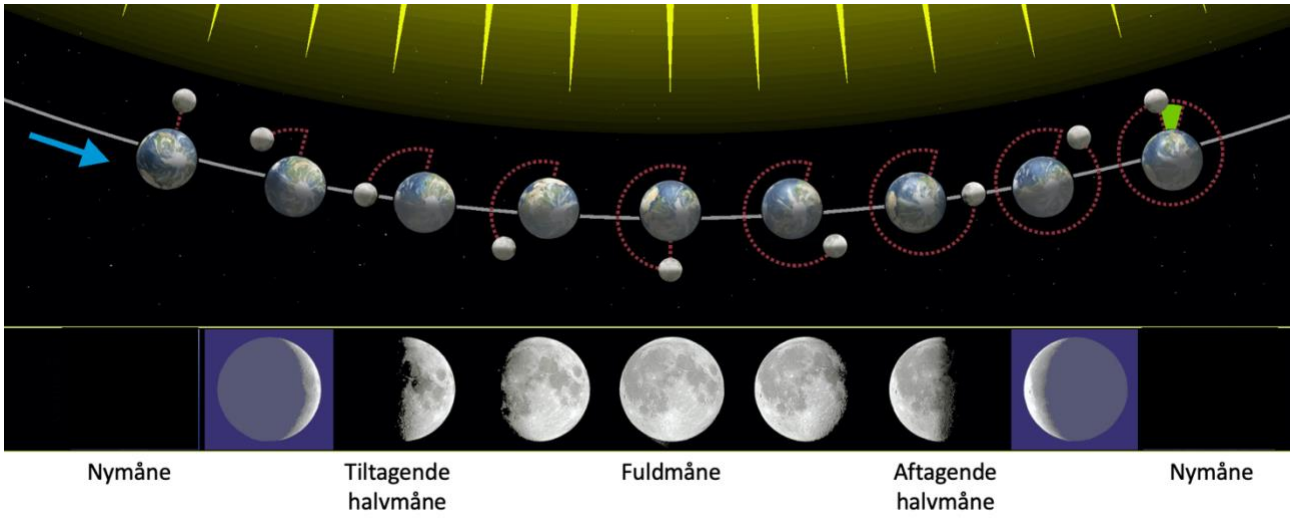


Figur 24: Månens bevægelse, se animationen her.



Figur 25: Månens placering i forhold til Jorden og Solen ved fuldmåne og nymåne (øverste række), samt tiltagende og aftagende halvmåne (nederste række).

Figur 26 viser sammenhængen mellem, hvor Månen er placeret i forhold til Jorden og Solen (øverste del af figuren), og hvordan Månen ser ud på nattehimlen (nederste del af figuren).



Figur 26: Månens faser. Kilde: Orion8.

Måneformørkelse

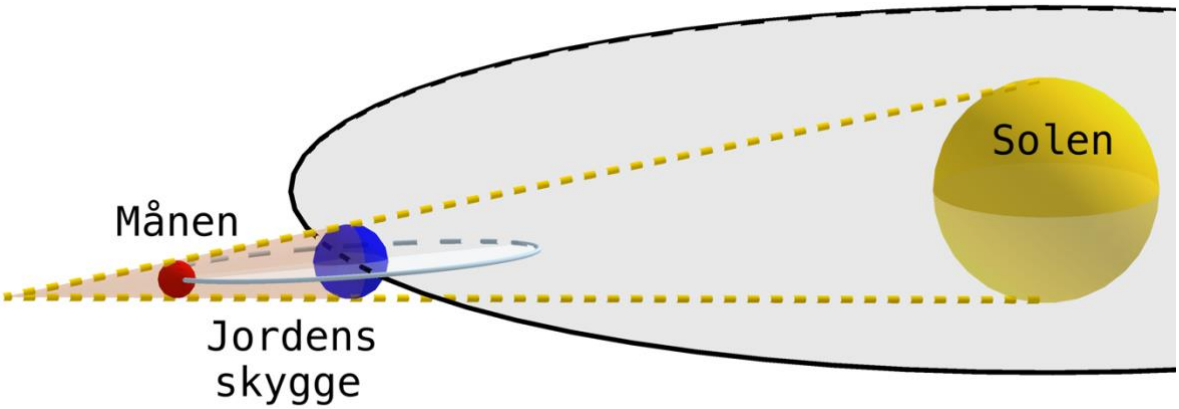
Når Månen bevæger sig omkring Jorden, kommer Månen en gang imellem ind i Jordens skygge, se Figur 28. Jordens bane omkring Solen vises med sort. Månens bane omkring Jorden vises med lyseblåt. Figuren viser hvordan Jorden kaster en skygge bag sig (i forhold til Solen). Når Månen bevæger sig ind i Jordens skygge, kan sollyset ikke ramme Månen. Derfor oplyses Månen ikke og reflekterer ikke sollys. Dette kaldes måneformørkelse.

En måneformørkelse varer typisk et par timer. Den totale måneformørkelse kan vare op til 107 minutter. Når Månen er på vej ind i Jordens skygge eller på vej ud, ser man en del af Månen oplyst. Nogle gange ser vi kun en delvis måneformørkelse, fordi Månen kun kommer lidt ind i Jordens skygge.

Måneformørkelse kan kun forekomme en nat, hvor der er fuldmåne, fordi Jorden da står mellem Månen og Solen.

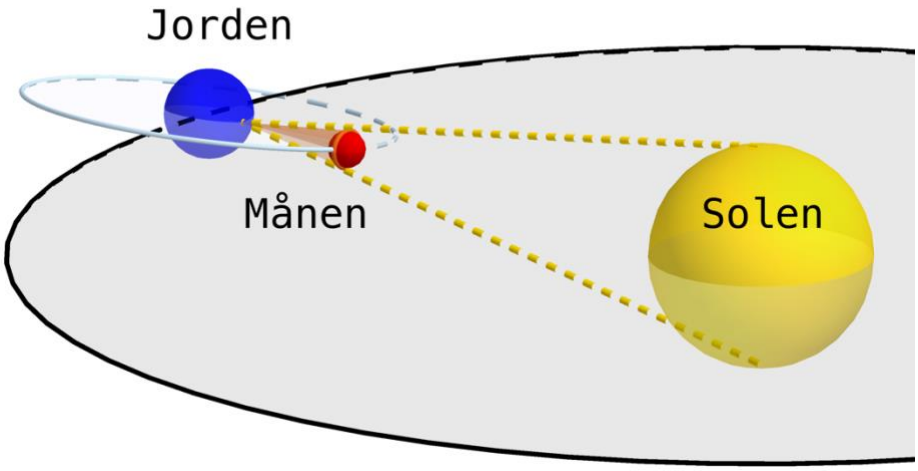


Figur 27: Måneformørkelsen i 2015. Under en måneformørkelse kan man stadigvæk se Månen. Den får et svagt rødt skær, fordi den røde del af sollyset afbøjes i Jordens atmosfære, og lidt af det røde lys rammer Månen.



Figur 28: Måneformørkelse. Månen bevæger sig ind i Jordens skygge ved en måneformørkelse. Bemærk, at afstandene mellem Solen, Jorden og Månen er for små, mens størrelserne af dem er for store.

Solformørkelse



Figur 29: Solformørkelse. Månen bevæger sig ind mellem Jorden og Solen. Månens skygge rammer et lille område på Jorden. Månens skygge bevæger sig i løbet af nogle timer i en bane hen over jordoverfladen og varer kun kort tid, der hvor man kan se solformørkelsen.



Figur 30: Solformørkelsen 21. august 2017. Under en solformørkelse skygger Månen for selve Solen. Man kan se koronaen som er Solens ydre atmosfære og strækker sig millioner af km ud i rummet. Kilde: NASA.

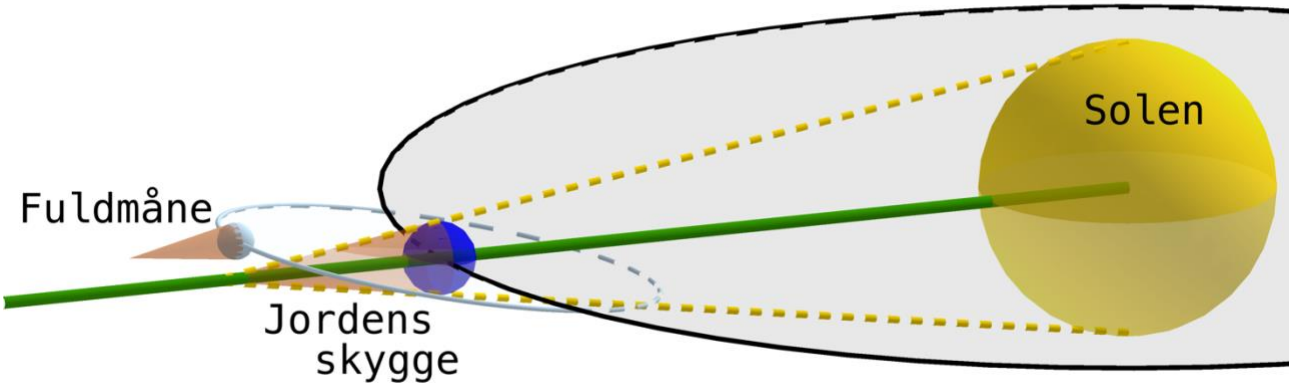
Når Månen bevæger sig omkring Jorden, kommer Månen en gang imellem ind mellem Jorden og Solen. Figur 29 viser Jordens bane omkring Solen med sort. Månens bane omkring Jorden vises med lyseblåt. Når Månen bevæger sig ind i foran Jorden, kaster den en skygge bag sig (i forhold til Solen). Står man i dette lille område på Jorden, hvor Månens skygge rammer, vil man opleve, at Solen forsvinder. Dette kaldes solformørkelse.

En solformørkelse varer typisk op til 7 minutter. Lige før og efter den totale solformørkelse er det kun en del af Solen, som Månen skygger for. Hvis man ikke står det helt rigtige sted på Jorden, ser man ikke den total solformørkelse, da Månens skygge er meget mindre end Jorden. På Figur 29 kan man se det lille område, hvor skyggen rammer.

Solformørkelse kan kun forekomme en dag, hvor der er nymåne, fordi Månen da står mellem Jorden og Solen.

Hvorfor er der ikke måne- og solformørkelse én gang hver måned? Umiddelbart skulle man tro, at der er måneformørkelse hver gang, der er fuldmåne. Det er der ikke, fordi Månens bane om Jorden hælder ca. 5° i forhold til Jordens bane omkring Solen. Figur 31 viser, at Månen

ved denne fuldmåne ligger højere end Jordens skygge. Ved den efterfølgende nymåne vil Månen ligge lavere end Jorden. Der er altså ingen formørkelser her. Andre gange kommer Solen, Månen og Jorden til at ligge lige på linje (den grønne linje), og så opstår der enten måne- eller solformørkelse, som på figurerne ovenfor.



Figur 31: Hældningen af Månens baneplan er 5°. Derfor passerer Måne ofte ovenfor eller nedenfor Jordens skygge ved fuldmåne.

Er du nysgerrig? Hvornår der er måne- og solformørkelse

Solformørkelser er sjældne, og totale solformørkelser, hvor hele Solen dækkes af Månen, er endnu sjældnere. Den næste totale solformørkelse i Danmark kan ses den 25. maj 2142. Den næste partielle solformørkelse i Danmark kan ses den 29. marts 2025. Ved denne solformørkelse vil kun en lille del af Solen blive dækket. Husk, at man altid skal have specielle solformørkelsesbriller på for at beskytte øjnene, så man ikke beskadiger synet.

Måneformørkelser forekommer oftere, fordi Jordens skygge er større og Månen derfor oftere kommer helt eller delvist ind i Jordens skygge. Den næste måne-formørkelse, hvor man i Danmark kan se måneformørkelsen fra start til slut vil være den 31. december 2028.

Tema 4 – Eksamen i fysik

9 Eksamen i fysik C

Hvis du afslutter fysik i 1.g, kan du blive udtrukket til mundtlig eksamen i fysik. Eksamen varer 24 minutter og du har 24 minutters forberedelse. Spørgsmålene er kendte, men du får også nogle billeder (bilag), som du skal forklare til eksamen. Spørgsmålene dækker både grundforløbet og de emner I har i fysik i resten af 1.g.

Første halvdel af eksamen skal du forklare den fysik, som dit spørgsmål omhandler. Du kan få nogle stikord, som kan hjælpe dig med, hvad du skal forklare og beskrive. I den sidste halvdel af eksamen, skal du svare på spørgsmål fra din lærer om emnet.

I forberedelsen og til eksamen står der udstyr fra de forsøg I har lavet i grundforløbet og resten af skoleåret. Du skal kunne forklare, hvordan man laver forsøget og beskrive de resultater man kan få, så det er vigtigt, at du gemmer dine fysikrapporter fra grundforløbet.

Eksempler på mulige eksamensspørgsmål

Eksempel 1

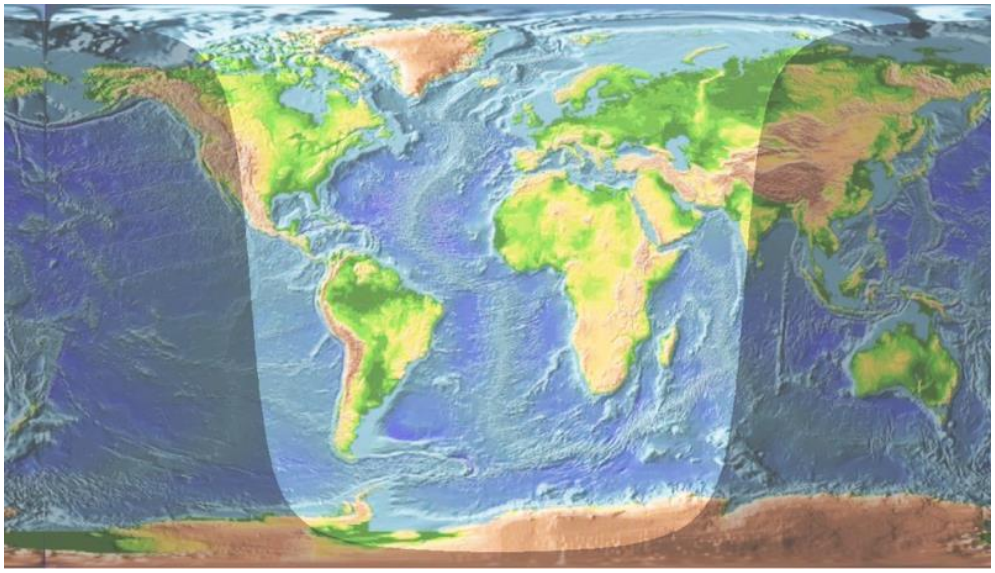
Dag, nat og årets gang: Jorden i Solsystemet

Stikord

Planeten Jorden, Jordens rotationsakse, bredde- og længdegrader, ækvator og vendekredse, dagslængde, sommer- og vintersolhverv, solhøjde, zenit og årstider, forsøg med solindstråling.

Bilag

Kort over jorden



Eksempel 2

Jorden og Månens bevægelse i solsystemet

Stikord

Månen, Planeten Jorden, Solen, Solsystemets opbygning og bevægelser, Mælkevejen, Månens faser, sol- og måneformørkelse, astronomisk enhed, lysår, forsøg med densitet.

Bilag

Solen



Månen



Appendiks 1 – Eksponentiel notation

I fysik får vi ofte brug for at regne på meget store eller meget små størrelser. Afstanden mellem Solen og Jorden er fx ca.

$$d = 150000000000 \text{ m}$$

mens radius af et atom er i omegnen af

$$r = 0{,}00000000005 \text{ m}$$

I praksis er det temmelig uoverskueligt at skulle skrive alle disse nuller, når vi har med meget store eller meget små tal at gøre, og derfor bruger man eksponentiel notation. Her skal vi huske, at 10^n betyder det tal, vi får ved at gange 10 med sig selv n gange. 10^1 er således 10 (da 10 ganget med sig selv 1 gang giver 10), $10^2 = 10 \cdot 10 = 100$ osv.

Hvis vi har tallet 5,623 og ganger det med $10 = 10^1$, får vi

$$5{,}623 \cdot 10^1 = 56{,}23$$

Vi har altså flyttet kommaet én plads til højre. Hvis vi ganger tallet med $100 = 10^2$, får vi

$$5{,}623 \cdot 10^2 = 562{,}3$$

dvs. vi har altså flyttet kommaet 2 pladser til højre. Som et sidste eksempel:

$$5{,}623 \cdot 10^5 = 562\,300$$

Her har vi altså flyttet kommaet 5 pladser til højre og tilføjet nuller, når vi "løb tør" for decimaler.

Generelt så betyder $5{,}623 \cdot 10^n$ altså at vi skal rykke kommaet n pladser til højre og tilføje et passende antal nuller, når vi løber tør for decimaler. Ved at tælle antallet af nuller kan vi se, at vi kan skrive afstanden mellem Solen og Jorden som

$$d = 1{,}5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

Hvis 10'er-eksponenten er negativ, skal vi i stedet flytte kommaet til venstre. Således er

$$5{,}623 \cdot 10^{-1} = 0{,}5623$$

Her har vi flyttet kommaet én plads til venstre. Tilsvarende:

$$5{,}623 \cdot 10^{-2} = 0{,}05623$$

Generelt, så betyder $5{,}623 \cdot 10^{-n}$ altså, at vi skal rykke kommaet n pladser til venstre og tilføje et passende antal nuller undervejs. Ved at tælle efter kan vi se, at vi kan skrive radius af et atom som

$$r = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Appendiks 2 – Præfikser

De titalspotenser, som vi bruger mest, har fået særlige navne. Det har vist sig mest praktisk at give et navn til hver tredje titalspotens. $10^3 = 1000$ har navnet *kilo*, og vi noterer det med et lille k foran enheden. 1 km er altså 1 kilometer, som er 1000 meter. 1 kg er et kilogram som er 1000 gram. 10^6 (eller en million) har navnet *mega* og symbolet M. 10^9 har navnet *giga* og symbolet G. I kender dem også fra IT-verdenen: *megabyte* og *gigabyte*.

Går vi den anden vej, har 10^{-3}, altså en tusindedel, navnet *milli* og symbolet m. 10^{-6} (en milliontedel) har navnet *mikro* og symbolet µ, osv.

Alle disse kaldes under ét for dekadiske præfikser (fra dekade = 10 og præfiks = forstavelse). De mest benyttede ses i Tabel 6: Oftest forekommende dekadiske præfikser.. Husk at være omhyggelig med store og små bogstaver, så vi kan kende forskel på lille m (10^{-3}) og store M (10^6).

Præfiks	**Symbol**	**Værdi**
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

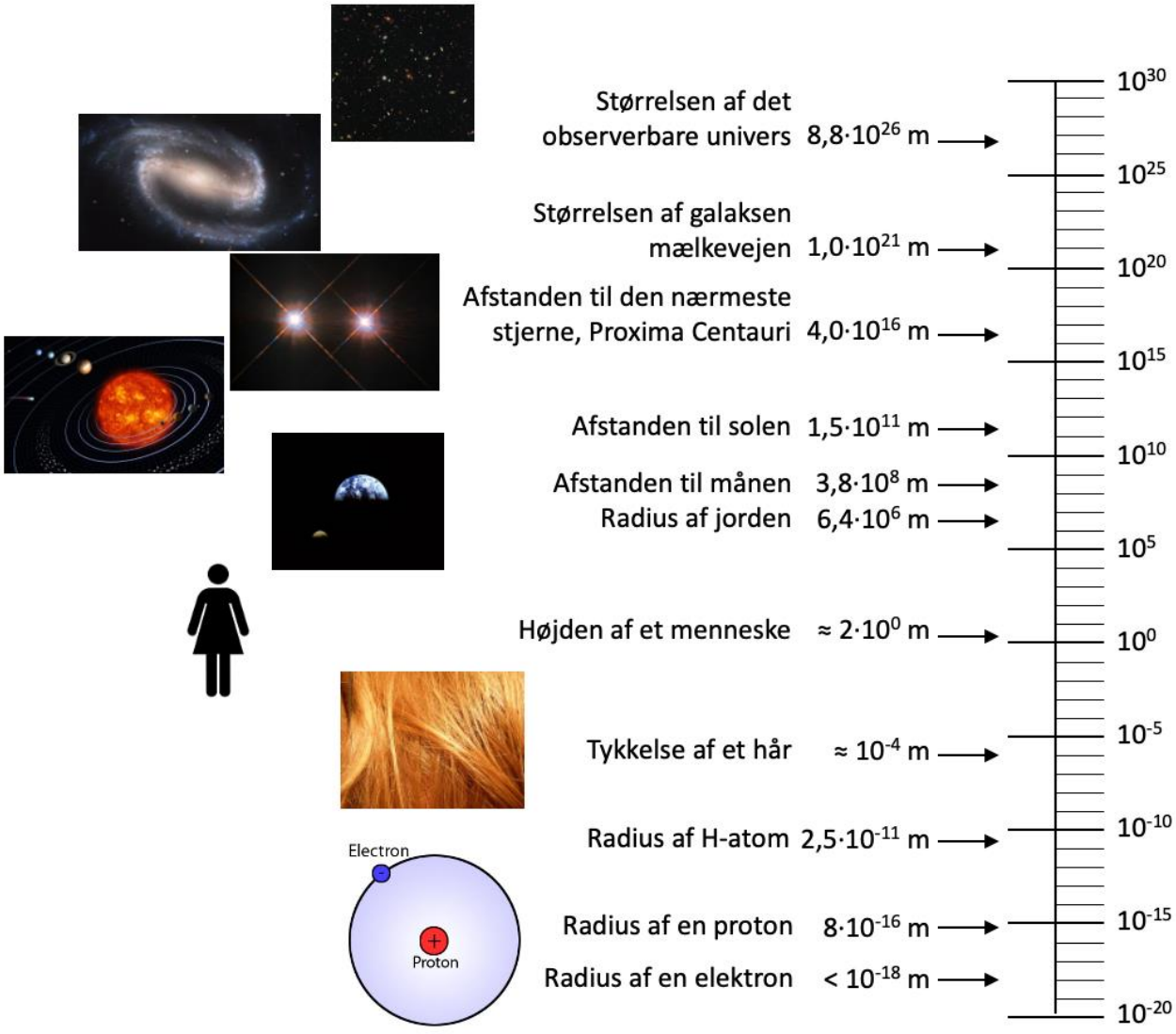
Tabel 6: Oftest forekommende dekadiske præfikser.

Appendiks 3 – Afstande i Universet og enheder for afstande

Figur 32 viser størrelser og afstande i Universet fra det allermindste til det allerstørste. Figuren bruger eksponentiel notation, så man let kan se størrelserne. Bemærk, at for hvert trin vi går op på skalaen svarer det til at zoome ud til det ti-dobbelte.

Diameteren af Jorden er 12 742 km, og Jordens omkreds er ca. 40 000 km. Hvis man skulle flyve hele vejen rundt om Jorden i et normalt passagerfly, ville det tage godt 2 døgn.

Bevæger vi os lidt væk fra Jorden, så er afstanden til Månen omkring 380 000 km. Det svarer til, at vi kan lægge 32 jordkloder ved siden af hinanden, og skulle vi flyve turen i vores passagerfly, ville det tage næsten 3 uger at komme derop!



Figur 32: Kosmisk zoom – størrelser og afstande i Universet

Afstanden til vores nærmest stjerne, Solen, er 150 mio. km, hvilket er ca. 400 gange så langt væk som Månen. Hvis vi skulle flyve til Solen i passagerflyet, ville turen vare over 20 år! Og

Jorden er endda ret tæt på Solen – Neptun, der er solsystemets yderste planet, er 30 gange længere væk fra Solen end Jorden er.

Når vi kommer op på så store afstande, får vi meget store tal, når vi måler i enheden km. Man vælger derfor at angive længder i såkaldte astronomiske enheder. En astronomisk enhed, forkortet AE, er afstanden mellem Jorden og Solen. Mere præcist:

$$1 \text{ AE} = 149\,597\,871 \text{ km}$$

Afstanden mellem Solen og Neptun er dermed 30 astronomiske enheder. Enheden AE bliver brugt til at angive afstande i solsystemet.

Uden for solsystemet finder vi Proxima Centauri, som er vores nærmeste stjerne (bortset fra Solen). Afstanden dertil er $4{,}01 \cdot 10^{16}$ m. Det er så stort et tal, at det nærmest er umuligt at forestille sig denne afstand – det svarer til 267 000 AE. Når vi er uden for solsystemet, er AE ikke længere en brugbar enhed. I stedet anvender astronomer enheden lysår. Et lysår er den afstand, som lyset bevæger sig på ét år. Lysets hastighed er ca. 300 000 km/s eller

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Det er ufattelig hurtigt. Det betyder bl.a. at lyset tilbagelægger de 380 000 km mellem Jorden og Månen på lidt over et sekund! Eller afstanden mellem Jorden og Solen på ca. 8 minutter.

Vi kan beregne, hvor mange meter, der går på et lysår. Allerførst skal vi omregne et år til sekunder:

$$1 \text{ år} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 31\,536\,000 \text{ s} = 3{,}1536 \cdot 10^7 \text{ s}$$

For at finde den afstand, som lyset har tilbagelagt på et år, skal vi blot gange lysets hastighed med antallet af sekunder på et år

$$d = c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 3{,}1536 \cdot 10^7 \text{ s} = 9{,}46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Det er et enormt tal! Hvis vi dividerer det op i afstanden til Proxima Centauri, får vi, at afstanden til vores nærmest stjerne er 4,24 lysår. Lyset fra Proxima Centauri er altså lidt over 4 år om at bevæge sig ned til os. Det betyder også, at hvis Proxima Centauri eksploderede i morgen, ville der gå over 4 år, før vi opdagede det!

Mælkevejen, som er den galakse, solsystemet befinder sig i, er 100 000 lysår i diameter, og vi befinder os ca. 30 000 lysår fra centrum. Og ser vi på vores nærmeste nabogalakse, Andromeda, er afstanden 2,5 mio. lysår. Den fjernest observerede galakse befinder sig den svimlende afstand af 32 mia. lysår væk fra os.