Fysik FTW - Energi

Navn ______________________________ Klasse _______

INDHOLD


Densitet
$\rho = m/V$
Effekt
$P = E/t$
Intensitet
$I = P/A$
Kemisk Energi
$E = B \cdot m$
Mekanisk Energi
$E_{mek} = E_{kin} + E_{pot}$
Kinetisk Energi
$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
Potentiel Energi
$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$
Termisk Energi
$E = m \cdot c \cdot \Delta T$
Faseovergang
$E = m \cdot L$
Nyttevirkning
$\eta = E_{nytte} / E_{max}$

FRANSKE FRISTELSER

Der var engang en konge i et lykkeligt land mod syd, hvis undersåtter syntes at det ville være en god idé med lidt bedre styr på Verden. Der skulle ryddes op, og en af måderne hvorpå det kunne ske, var at man lavede et standardiseret enhedssystem. Det ville betyde at alle var enige om at måle ting med de samme enheder. På den måde kunne man undgå misforståelser, som da en NASA satellit lige før årtusindeskiftet brændte op i Mars' atmosfære, fordi to udviklingsgrupper havde brugt forskellige enheder. Det lille stunt kostede små to milliarder kr...

Men tilbage til kongen der var lykkeligt uvidende om denne fremtidige begivenhed, og som forresten hed Louis XVI (16). Måske var hans land (Frankrig) ikke helt så lykkeligt endda, for manden måtte af med hovedet 21. Januar 1793. Et halvt år senere blev den første enhed i et nyt system godkendt. Enheden var meteren og systemet hed, meget opfindsomt, metersystemet.

"Meter" betyder "at måle" eller "et mål".

På dette tidspunkt var Louis nok rimelig ligeglad med det hele, men hans kone Marie Antoinette (det var hende der måske/måske ikke sagde, at hvis de fattige manglede brød, kunne de da bare spise kage) nåede lige at være med i et par måneder inden hun også kom i guillotinen.

I 1799 var gram kommet ind i metersystemet, og det blev officielt vedtaget som det nye enhedssystem i Frankrig. Der er nogle der synes at det er langt mere interessant at en fyr ved navn Napoleon (mere kage?) samme år kuppede sig til magten, men sådan er vi jo heldigvis så forskellige.

Napoleon siger: "Det er lidt mærkeligt at S. I. enheden for masse er kilogram istedet for gram, men sådan er det bare!"

Næste spændende årstal er 1960 hvor en masse kloge hoveder besluttede at vedtage et nyt-nyt enhedssystem som (på trods af franskmændenes ry) fik det usexede navn Le système international d'unités, delvist baseret på metersystemet. I forkortet udgave bliver det til SI. Der er ikke så meget nyt i det for os, da vi er vokset op med det. Men kig selv i tabellen nedenunder. (Ja ja, der er lige Kelvin, men ham vender vi tilbage til.)

SI Enheder

Størrelse	*Symbol*	*Enhed*
Længde	l	meter [m]
Masse	m	kilogram [kg]
Tid	t	sekunder [s]
Temperatur	T	kelvin [K]
De tre næste er tit lidt hemmelige på C-niveau, og det er ikke sikkert vi kommer til at bruge dem.		
Størrelse	*Symbol*	*Enhed*
Strømstyrke	I	ampere [A]
Stofmængde	n	mol [mol]
Lysstyrke	I	candela [cd]

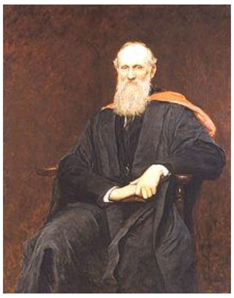
Herudover findes der også nogle afledte enheder, der er blevet dannet ud fra de grundlæggende SI enheder. De (for os) mere interessante kan ses her:

Afledte Enheder

Størrelse	*Symbol*	*Enhed*
Areal	A	kvadratmeter [m^2]
Volumen	V	kubikmeter [m^3]
Energi	E	joule [$J = kg{\cdot}m^2/s^2$]
Effekt	P	watt [W = J/s]
Frekvens	f	hertz [Hz = 1/s]
Kraft	F	newton [$N = kg{\cdot}m/s^2$]
Tryk	p	pascal [$Pa = kg/(m{\cdot}s^2)$]
Ladning	Q	coulomb [C = A·s]
Aktivitet	A	becquerel [Bq =1/s]

Så var der det med ham Kelvin (Lord Kelvin, faktisk). Vi er jo vant til at måle temperaturer i grader celsius [°C], men i naturvidenskab bruger man altså kelvin. Heldigvis er det nemt at komme fra den ene til den anden.

> *Celsius → Kelvin:*
> $T_C + 273 = T_K$
>
> *Kelvin → Celsius:*
> $T_K - 273 = T_C$



Har man fx målt en temperatur på -5 °C og vil gerne have den i kelvin, så siger man:

-5 °C + 273 = 268 K.

På en måde er kelvin temperaturer nemmere at have med at gøre, da de altid er positive. 0 K er nemlig den lavest mulige temperatur, hvor alle partikelbevægelser er stoppet. Det kan simpelthen ikke blive koldere! Derfor kaldes det også Det Absolutte Nulpunkt.

Dekadiske Præfikser (WTF?)

Fordi fysikere er en usandsynlig doven samling individer, er der taget en beslutning om at vi ikke gider skrive frygtelig lange tal som fx 1.000.000.000.000. Faktisk gider vi ikke engang skrive 1000 hvis vi kan slippe for det. I stedet har nogen fundet på at bruge bogstaver, som man så vælger at kalde dekadiske præfikser for at narre fjenden. De mest populære følger:

Dekadiske Præfikser

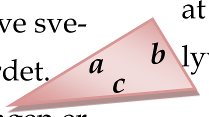
Præfiks	*Symbol*	*Værdi*	*10potens*
Tera	T	1.000.000.000.000	10^{12}
Giga	G	1.000.000.000	10^{9}
Mega	M	1.000.000	10^{6}
Kilo	k	1.000	10^{3}
Deci	d	1/10	10^{-1}
Centi	c	1/100	10^{-2}
Milli	m	1/1000	10^{-3}
Mikro	µ	1/1.000.000	10^{-6}
Nano	n	1/1.000.000.000	10^{-9}

Det betyder altså at 5 kg er præcis det samme som at skrive 5000 g eller $5{\cdot}10^3$ g.

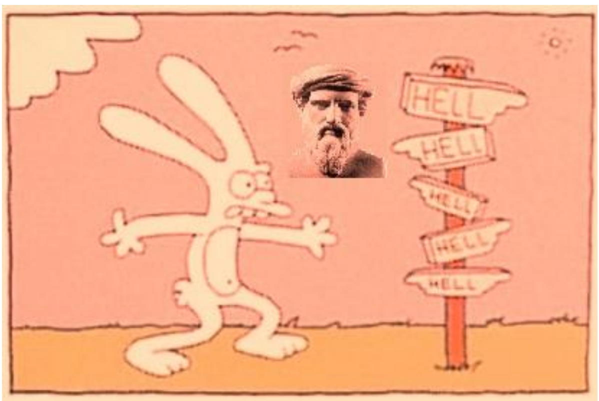
I øvrigt kan man nu se at der er steder hvor man skal holde tungen lige i munden. Bogstavet "m" kan nemlig betyde masse, meter og milli, tre temmelig forskellige ting. Heldigvis står milli-m'et altid sammen med en enhed, og der må kun være et af gangen. Så "mm" kan kun betyde millimeter. Derudover er der en vigtig regel om at man aldrig må blande symboler og enheder! Tænk hvis man havde en formel der indeholdt masse/volumen, og for skade kom til at skrive m/m^3. Det ville være det samme som $1/m^2$ eller 1/areal, og hvad har areal med noget at gøre? Nej, m/V eller kg/m^3.

MATEMATIK FRA HELVEDE

Det er både godt og fint at hyggesludre kvalitativt om fysik, men for at få lavet noget seriøst kvantitativt videnskab, må vi have svesken på disken og matematikken på bordet.



Matematik, det er noget med tal. Sagen er bare den, at vi ikke altid kender de tal vi snakker om. Antag fx at Pythagoras er fanget i Helvede. Med noget smart retvinklet trekantsberegning ($a^2 + b^2 = c^2$) kan han beregne hvor langt der er ud. Han kender allerede b og c, men er interesseret i at finde a, som er afstanden til Helvedes forgård. Så a er altså bare et symbol der repræsenterer et tal, han gerne vil finde frem til. Man kalder det også en variabel, fordi symbolet a's talværdi netop kan variere. Måske er der lang vej ud, måske kort. Pythagoras ved det først når han har lavet beregningen. Der er for øvrigt ikke noget specielt magisk ved bogstavet a. I princippet kunne han også have valgt at tegne en kanin (i stedet for et a) til at repræsentere den ukendte afstand.



Og hvordan er det så lige Pythagoras får isoleret a? Jo, siden en variabel blot er en måde at skrive et ubekendt tal på, så må han kunne regne med den præcis, som han ville gøre, hvis han allerede vidste hvilket tal det var.

Det vigtige at forstå, når man leger med ligninger, er at man må gøre hvad som helst ved dem (det er sandt!), så længe man gør det på begge sider af lighedstegnet! 1=1, det kan alle vel blive enige om. Men hvis jeg lægger 3 til kun på venstre side, ja så står der pludselig at 4=1, hvilket er løgn. Og man må altså ikke lyve…

Pointen er at man lægger til og trækker fra, ganger og dividerer, tager kvadratrod og opløfter til anden potens, indtil den variabel man er interesseret i står alene på den ene side af lighedstegnet. Pythagoras ville nu sige at den var blevet isoleret (hvis han altså ikke var død i 495 f.v.t.).

Al den viden, og vi har ikke engang måttet sværge nogle eder, ligesom den gamle grækers egne elever.

Afsindig vigtig info
Husk at gange (dividere, m.m.) på alle led!

FANDEN OG HANS PUMPESTOK

For at byde Fanden trods har Hr. Pythagoras været så venlig at opstille et par letanvendelige lister på næste side med nyttige matematiske sammenhænge og definitioner. Han blev forresten sidst set på vej ud af Helvede med en estimeret (vurderet) fart på 3,6 km/t. Med SI enheder er det (husk at k=1000 og 1t=3600s):

$$3{,}6\ \text{km/t} = 3{,}6 \cdot 1000\ \text{m/t} = 3{,}6 \cdot 1000\ \text{m} / 3600\ \text{s} = \underline{1\ \text{m/s}}$$

Naturkonstant	Værdi
Lysets fart	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
Tyngdeacceleration	$g = 9{,}816$ m/s^2
Plancks konstant	$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s
Elementarladning	$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
Stefan's Konstant	$\sigma = 5{,}670 \cdot 10^{-8}$ W/(m^2·K^4)
Gravitationskonst.	$G = 6{,}674 \cdot 10^{-11}$ N·kg^2/m^2
Rydbergs konstant	$R = 1{,}097 \cdot 10^7$ m^{-1}

Omregninger og Definitioner		
Mål	*Enhed*	*Svarer til*
1 milliliter	mL	1 cm^3
1 kubikmeter	m^3	10^6 cm^3
1 lysår (længde)	ly	$9{,}461 \cdot 10^{12}$ km
1 astronomisk enhed	AE	$149{,}6 \cdot 10^6$ km
1 kilowatt time	kWh	$3{,}6 \cdot 10^6$ J
1 år	y	(ca.) $\pi \cdot 10^7$ s
1 elektronvolt	eV	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$J
1 atmosfære	atm	101325 Pa
1 unit	u	$1{,}661 \cdot 10^{-27}$kg
1 solmasse	$M_\odot$	$1{,}9891 \cdot 10^{30}$kg

Cirkler og Sfærer (kugler)	
Omkreds (cirkel)	$O = 2 \cdot \pi \cdot r$
Areal (cirkel)	$A = \pi \cdot r^2$
Volumen (sfære)	$V = {}^4/_3 \cdot \pi \cdot r^3$
Overfladeareal (sfære)	$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$

som 100 cm^3, så kommer robot-djævelen og ta'r dig!
"Men hvorfor?" skriger du i rædsel, "der går jo 100 cm på 1 m."
Det er såmænd fordi, at når der står cm^3, så betyder det faktisk $(c \cdot m)^3$, der er det samme som $c^3 \cdot m^3$, der igen blot er en anden måde at skrive $(1/100)^3 \cdot m^3$
Så 100 cm^3 bliver til:

$$100 \cdot (1/100)^3 \cdot m^3$$
$$= 100 \cdot (1/1.000.000) \cdot m^3$$
$$= 1/10.000 \ m^3,$$

Hvilket tydeligvis ikke er 1 m^3.

Man kan naturligvis(?) også regne med enheder på samme måde som man regner med variable – bare man ikke blander de to!

Regneregler

Dividér ved at gange med omvendt brøk:
$x / (a/b) = x \cdot b/a$
$x / (2/4) = x \cdot 4/2$

x^a: "x ganget med sig selv a gange."
$x^3 = x \cdot x \cdot x$
$x^1 = x$
$x^0 = 1$ (!)

Skrivemåder:
$(\cdot)10^x = (\cdot)10\text{^}x = Ex$
$(\cdot)10^3 = (\cdot)10\text{^}3 = E3$

Den mystiske:
$x^{-a} = 1/x^a$
$x^{-3} = 1/x^3$

$ax^c + bx^c = (a+b)x^c$
$3x^2 + 5x^2 = 8x^2$

$(x \cdot y)^a = x^a \cdot y^a$
$(x \cdot y)^3 = x^3 \cdot y^3$

$x^a \cdot x^b = x^{a+b}$
$x^5 \cdot x^3 = x^8$

$x^a / x^b = x^{a-b}$
$x^5 / x^3 = x^2$

$(x^a)^b = x^{a \cdot b}$
$(x^5)^3 = x^{15}$

FANDEN LØS I LAKSEGADE!

Så har vi balladen. Djævelen stormer rundt i Laksegade, pressen er på den anden ende, og biskoppen går rundt med bekymret mine. Og fysikerne? Ja, de stiller mærkelige spørgsmål som:

”Hvor hurtigt mon han kan rende, ham Fanden?”

Se for at kune svare på det, så er det nyttigt at vide at han på 8 minutter og 20 sekunder, tog 40 ture fra den ene ende af Laksegade til den anden. En hurtig opmåling (foretages efter Fanden er smuttet igen) vil vise at Laksegade er 250 m lang. Det må betyde at den gamle knark tilbagelagde en strækning på:

s = 40 ture · 250 m/tur = 10.000 m

”ture” går ud med ”tur”…

Tiden han brugte var:

t = 8 min · 60 s/min + 20 s = 500 s

”min” går ud med ”min”…

Så skal vi bare finde ud af hvad Fandens fart bliver. Til det formål kan vi passende bruge en formel for fart, MEN hvis vi nu ikke kan huske den, så kan vi i stedet kigge på enhederne. Forhåbentligt kan vi huske at fart måles i m/s (eller km/t), og da strækning (længde) måles i meter og tid måles i sekunder, ja så ser det jo ud til at vi skal sige strækning delt med tid, altså s/t. Og hurra! Formlen for fart er netop:

$$v = \frac{s}{t} \qquad \left[\frac{m}{s}\right]$$

Her er v farten (velocity).

Man kan godt blive en lille smule mopset over at længde (strækning) pludselig skal symboliseres med et ”s”, i stedet for ”l”. Bare rolig. Det bliver værre…

Fandens fart bliver således:

v = 10.000 m / 500 s = 20 m/s.

Moralen i historien er at man regner med enheder på samme måde som med tal (eller variabler); og at man skal passe på i Laksegade.

Når man bruger formler, er det en rigtig, rigtig, rigtig god idé at vente med at sætte tal ind til man har fået isoleret den interessante variabel. Det betyder, at der kommer til at stå symboler, man allerede kender talværdien på – de kaldes konstanter.

FANDENS OLDEMOR

Djævelens familierelationer er ikke noget der bekymrer de fleste mennesker, men

angiveligt er hans oldemor død, og det kan man kun håbe er sandt, for hun var en særlig led gammel heks. Det siges at hun (ud over konstant at komme med dårlige undskyldninger) yndede at trylle prinser om til frøer - hvilket er meget tragisk, men faktisk også ganske interessant. Foruden det umiddelbart fascinerende ved frøer (og prinser), så er det en enestående chance for at få demonstreret hvordan fysikere elsker at bruge det græske bogstav Δ (delta).

Rasende kort fortalt betyder Δ ”tilvækst”.

Det kan være tilvækst i alt muligt. Tilvækst i tid, afstand, temperatur eller masse. Lad os kaste os hvinende over den sidste.

Skriver man Δm, så betyder det en tilvækst i masse. For en uheldig prins' vedkommende kunne Δm være tilvæksten i hans masse før og efter Fandens oldemor fik fingrene i ham. Lad os sige at prinsen vejede 75,2 kg før forvandlingen ($m_{før}$=75.200g). For en rødøjet træfrø (*agalychnis calidryas*) snakker vi ca. 50 g (m_{efter}=50g), hvilket altså er hans masse efter forvandlingen. Så gælder:

$$\Delta m = m_{efter} - m_{før}$$

$$\Delta m = 50\text{ g} - 75.200\text{ g} = -75.150\text{ g}$$

Δm er simpelthen bare det (temmelig voldsomme) vægttab prinsen udsættes for.

Hvis vi i stedet havde snakket om Δt, ja så havde det være en tidstilvækst vi var interesserede i. På samme måde er ΔT en temperaturtilvækst. (Det er for resten lige meget om man måler ΔT i kelvin eller grader celsius, talværdien bliver den samme. Overvej det!)

Kal-El fra Krypton

I filmen Kill Bill 2 siger David Carradines karakter, at det der gør Superman speciel er, at hans hemmelige identitet, Clark Kent, er en normal person, og superhelten hans sande jeg. Hvad der derudover gør ham speciel er naturligvis hans overmenneskelige evner. Angiveligt skulle disse stamme fra det faktum at hans fysiske struktur er enorm tæt. Samtidig bliver han også kaldt manden af stål. Nøgleordet er i begge tilfælde densitet (tæthed), eller som det også kaldes massefylde.

Tager man fx en mand lavet af stål (består mest af jern) og én lavet af, tjah, det mænd nu plejer at være lavet af (Hydrogen, Oxygen, Carbon og Calcium), så ville de fleste nok mene at stålmanden var tungest. Og de ville have ret. Grunden til at de ville have ret er, at han der er lavet af jern har højere densitet end den anden. Densitet, der symboliseres med det græske bogstav ρ(rho), er nemlig et udtryk for hvor meget stof (masse) der er mast sammen i et givent rumfang (volumen). Dvs.:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

Lad os da bare for sjov skyld antage at Superman er lavet af stål. Hvor meget mon han i så fald vejer?

Jerns densitet er 7860 kg/m³ og Superman har nok et volumen omkring 0,08 m³. Ved at isolere m i formlen for densitet får vi:

$$m = \rho \cdot V$$

Så sætter vi værdierne ind:

$$m_{super} = 7870 \frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}08\, m^3 = 629{,}6\, kg$$

For øvrigt er det sådan at stof med lav densitet har det med at blive flyttet op over stof med højere densitet. Det er fx derfor træ flyder på vand, mens sten synker. Man tænker at Superman nok bør holde sig fra dybt vand. Ja okay, han kan selvfølgelig flyve. Godt ord igen.

Densitet (massefylde)

Stof	*ρ (kg/m³)*	*Stof*	*ρ (kg/m³)*
Bly	11340	Jern	7870
Eg	~740	Kernestof	$2{,}3\cdot10^{17}$
Ferskvand	1000	Kork	~240
Glas	~2600	Kviksølv	13546
Granit	~2750	Luft	1,2
Guld	19320	Osmium	22570
Helium	0,1786	Plastik	~930
Hydrogen	0,08988	Saltvand	1030
Is	916,7	Uran	18800

ØJNE SÅ STORE SOM TEKOPPER

Skuespillerinden Bette Davis var kendt for sine bemærkelsesværdige øjne (og for sin ledhedsfaktor[1]). Sat overfor de glukker kan selv de største helte nok føle sig usikre. Heldigvis er fysikere gode til at arbejde med usikkerheder. Det hjælper tit at konfrontere det man er bange for, så lad os måle hendes øjne. Vi tager det venstre (på langs), da det er det mindst skræmmende og det er som regel en god idé at gå frem med små skridt.

Men med det samme melder sig en lille udfordring. For vi er nødt til at vurdere hvor i kanten af øjet linealen skal starte. Alt efter hvad der besluttes bliver hendes øje 4 eller 5 mm, og hvad skal man så sige er det rigtige? Det er let! Vi går på kompromis og siger at vi har målt øjet til 4,5 mm, men at det muligvis er *op til* ½ mm større eller *ned til* ½ mm mindre. For at spare plads skriver vi det således:

$l_{øje} = 4{,}5 \text{ mm} \pm 0{,}5 \text{ mm}.$

Usikkerheden er altså 0,5 mm, og Bettes øje kan fx have en længde på 4,7 mm, eller 4,2 mm, eller 5 mm, eller… Men 3,9 mm går ikke. Konklusionen er, at sådan et lille øje da virkelig ikke er noget, at blive nervøs over.

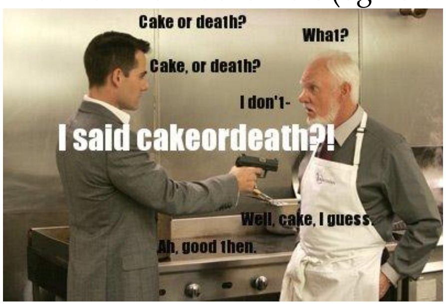
I princippet er der usikkerheder på alle fysiske målinger (dog ikke altid optællinger).

For resten, nu vi er her, så lad os lige bemærke at usikkerheden blev angivet med ét såkaldt betydende ciffer (5-tallet), hvilket altid skal være sådan. Øjemålet derimod blev angivet med to betydende cifre. ”Aha!” siger du, ”så 0 kan altså ikke være et af disse hersens betydende cifre.” Jo, det kan det bestemt. Havde $l_{øje}$ fx været 450 mm, så havde der været tre betydende cifre, hvoraf 0 altså var det ene. (Og så havde selv Sauron nok haft respekt for Bette Davis.)

Men nu kommer finten. $4{,}5\cdot 10^3$ har hvor mange betydende cifre? Tjah, man kunne jo mene at svaret måtte være fire, fordi det er det samme som 4500. Sagen er bare at verden er ond og brutal, og derfor bliver det rigtige svar at $4{,}5\cdot 10^3$ har to betydende cifre - tallene 4 og 5.

Hvis man mener man kender et måletal som fx 4500 mm så præcist, at man kun er usikker på det sidste 0, så bør man skrive hele tallet i stedet for at bruge 10’er potens.

Når man regner med usikre tal, så skal man strengt taget runde sit *endelige* resultat af, så det har samme antal betydende cifre som den værdi, der i udregningerne havde færrest. Lidt ligesom når man bager en kage og man ikke gider måle sukkeret 100% præcist af, fordi man alligevel vist nok kom til at måle mængden af mel lidt forkert (og nu *er* det altså blandet sammen med kakaoen, så det duer ikke at måle om.)



[1] Om sin kollega og ærkefjende Joan Crawford sagde hun (bl.a): ”Man skal kun sige godt om de døde. Joan Crawford er død. Godt.”

BLANDEDE GÅDER I

I1: Leila har weekend fra sit job som direktør. Som afslapning er hun sejlet ud med sin båd for at lystfiske. Krogen sætter sig fast i en spækhugger (*Orcinus orca*) med en masse på 5.000.000 g eller $5 \cdot 10^6$ g. Det kan også skrives som 5000 kg, da det dekadiske præfiks k betyder 1000.

- Hvad er massen (i kg) udtrykt med 10^3?
- Hvad bliver massen (i g) skrevet med det dekadiske præfiks M?

I2: Prinsen Gavril finder en frø på 50g og kysser den.

- Hvad er frøens masse i dg?
- Forudsat at frøen er fortryllet, vil vi så forvente, at den får en positiv eller en negativ Δm?
- Betyder det vægtforøgelse eller vægttab?

I3: Hesten Stormur er ude for at få luftet pelsen og rider 2 km fra kl. 15:00 til kl. 15:10.

- Hvad bliver Δt i minutter?
- Hvad bliver Stormurs fart i km/t?
- Hvad hvis vi bruger SI enheder (m/s)?

I4: Hvor mange sindssyge vampyrer vil du helst slås med: 10^9n, 3^2, 1E2 eller 4^k for k=1?

I5: En ridder (m=70kg) tager sin rustning på og vejer efterfølgende 85 kg.

- Hvad er hendes Δm?
- Hvad er Δm, når hun tager rustningen af? (Udgangspunktet er de 85kg med rustning.)

I6: Et bulgarsk rumskib decelererer fra 10^3 km/s til 3600 km/t.

- Hvad bliver rumskibets fart efter opbremsningen målt med SI enheder?
- Hvad er rumskibets Δv?

I7: En diktator får lavet en statue af sig selv i rent guld, med et rumfang på 0,8 m^3.

- Hvad vejer statuen?

I8: Rumvæsnet Jasper har en volumen på 0,2 m^3 og vejer normalt 60 kg. Han har dog evnen til at forvandle sine atomer til osmium.

- Hvad vejer Jasper efter en sådan forvandling?
- Hvad er hans Δm?

Eventyrlig Energi

Engang for meget længe siden var der ikke nogen, der vidste, at der var noget, der hed energi. Det er der sådan set heller ikke, men det skal ikke afholde os fra hverken at snakke om det eller regne på det. Jamen, er manden da sindssyg, oder was? Nej nej, pointen er, at energi er et såkaldt abstrakt begreb. Dvs. man kan ikke holde en mængde energi i sin hånd eller vise den frem og sige: "Se, er den ikke pæn den her energi?". Ikke desto mindre er der masser af ting, der *har* energi.

Det kan virke umuligt at gennemskue om en ting har energi - man kan jo ikke se den (energien altså). Men grundlæggende siger man at energi giver evnen til at udføre et stykke arbejde. Det kan fx betragtes som arbejde (lønnet eller ulønnet) at stå op om morgenen, at koge æg til brunch, at indtage et mindre land til frokost, samt at ringe for at invitere ET på aftensmad. Selv søvn kræver arbejde og altså energi i den fysiske forstand. Det behøver ikke engang at være et levende væsen, der udfører arbejdet - komfuret koger æggene for os og dronerne indtager landet. Alt arbejde kræver altså energi. Så medmindre man er tilfreds med at være en sten, der ligger *helt* stille, skal man derfor ud at have fat i nogle joule (J), SI-enheden for energi.

Den store hemmelighed omkring energi er, at der i et isoleret system aldrig kan opstå eller forsvinde energi. Derimod kan energi omformes fra en type til en anden. Aha! Så der er altså flere typer energi? Det er lige præcis, det der er.

Så hvilke typer energi kan vi forvente at møde ude i den store vide verden? Lad os tage det på tabelform. (Formler kan ses på næste side, og eksempler på brug følger derefter.)

Væsentlige Energiformer

Type	*Alternativt navn*
Kemisk	Forbrændingsenergi
Termisk	Indre energi
Kinetisk	Bevægelsesenergi
Potentiel	Beliggenhedsenergi

Derudover findes der elektrisk energi, kerneenergi, bindingsenergi, strålingsenergi, fotonenergi og mekanisk energi (potentiel plus kinetisk).

Vi mangler to bittesmå (næsten ikke til at få øje på) generelle pointer. For det første er det sjældent man kan udnytte al den energi man teoretisk har til rådighed. Et bål der skal brænde en heks, vil fx afgive noget af sin energi til omgivelserne i stedet for til heksen, og hvis træet ikke er knastørt går der energi til fordampning. Den procentdel af energien der rent faktisk går til det tilsigtede formål kaldes nyttevirkningen og betegnes η (eta). For det andet er det ikke lige meget, hvor hurtigt man tilfører energi, når man (fx) brænder hekse. For lidt af gangen og det tager 100 år. For meget og showet er hurtigt ovre. Begrebet kaldes effekt, angives med P og måles i watt (W = J/s). Ligesom fart (m/s) er hvor hurtigt noget bevæger sig, så er effekt hvor hurtigt energi omdannes.

Exoterm: Proces der giver et overskud af energi.
Endoterm: Proces der kræver mere energi, end den afgiver.

KOLDE PAVETÆER

En råkold decembermorgen ringer en pave efter sin tjener og beder ham bringe en heks ind fra brændeskuret. ”Helst en gammel tør én med høj brændværdi,” bemærker paven. ”Det er grumme koldt i dag.”

Brændværdi er et udtryk for hvor meget energi man kan få ud af et kg af noget igennem forbrænding, enten som i et levende væsens fordøjelse eller ved afbrænding i (fx) en pejs. De to processer er begge kemiske, men resulterer i forskellige mængder energi. En heks har altså to forskellige brændværdier. Èn der fortæller hvor meget energi man får ud af at afbrænde hende for hver kg hun vejer (kalorimetrisk brændværdi), og en anden der afslører, hvor meget energi man kan få ud af at fortære (et kg af) hende (fysiologisk brændværdi). Brændværdi angives med B og enheden er J/kg.

NB: Normalt er afbrænding af levende væsener en endoterm proces - den kræver mere energi end den afleverer. Men lige præcis hekse er kendte for at være lavet af træ (hvorfor man kan afgøre om nogen er heks ved at smide dem i en dam og se om de flyder). Derfor antager vi at hekseafbrænding er en exoterm proces.

Og hvor meget energi får vores pave så ud af at tænde op i sin pejs med en heks? Hvis vi forudsætter at heksen er rigtig gammel og tør (en såkaldt pulverheks), så har hun nok ca. samme brændværdi som en almindelig brændeknude, hvilket vil sige at B=15 MJ/kg. Formlen vi skal bruger hedder E=B·m, og antager vi at heksen vejer 60 kg, så fås:

$$E = 15\,\frac{MJ}{kg} \cdot 60\,kg = 900\,MJ$$

Det burde være rigeligt til at holde pavens tæer varme til langt ud på aftenen.

Kalorimetriske Brændværdier

Brændsel	*B (MJ/kg)*	*Brændsel*	*B (MJ/kg)*
Benzin	47	**Naturgas**	54
Brint	141,9	**Stenkul**	29,3
Diesel	45	**Træ, tørt**	15
Ethanol	29,7	**Tørv, tørt**	15

HANS OG GRETE

Paven i foregående afsnit valgte forståeligt nok at brænde heksen frem for at æde hende. Det er som bekendt også normalt hekse der spiser folk. Allerhelst små fuldfede godter, der har forvildet sig ud i den store mørke skov. Men i disse tider tænker selv hekse på vægten, og da børn sjældent render rundt med en fødevaredeklaration i nakken, kan det være praktisk med en energitabel og tal på hvor meget energi man skal indtage om dagen. Kvinder har typisk behov for 8000 kJ og mænd 10.000 kJ.

Ved let aktivitet (gang, cykling) omsætter man energi med en effekt på 300W. Moderat aktivitet (jogging, hurtig cykling) svarer til 600W, og hård fysisk aktivitet (løb) ligger omkring 900W. Den laveste effekt man som menneske kan have er 1,11 W/kg for kvinder og 1,25 W/kg for mænd. Det kaldes hvilestofskiftet, og gælder muligvis også for hekse.

Fysiologiske Brændværdier

Fødevare	*B (kJ/g)*	*Fødevare*	*B (kJ/g)*
Alkohol	29	**Protein**	17
Fedt	37	**Sukker**	17
Fiber	7	**Sukkeralkohol**	10

Kaffe, mobiler og randomness

En god troldkvinde og en knap så god troldmand er midt i en dyst (over noget ballade med en offentliggjort video). Midt i det hele ringer troldmandens mobil, og han er så ubehøvlet, at han afbryder dysten for at besvare opkaldet.

I de 200 sekunder samtalen varer, bruger hans telefon 1000 J elektrisk energi. Dermed siger definitionen af effekt at mobilen har:

$$P = \frac{1000J}{200s} = 5W$$

Batteriet skal altså levere 5 J hvert sekund for at holde samtalen kørende.

Det er troldkvinden rimelig ligeglad med. Hun bekymrer sig mere om at give troldmanden en lærestreg, så i samme øjeblik han trykker på "afslut opkald", zapper hun ham med en velplaceret lynkile. For at fejre sin sejr (og for at få lidt varme tilbage i kroppen) køber hun en stor caffè latte.

Men hvad har det med nyttevirkning at gøre? Ikke en døjt. Det skulle da lige være at man kunne komme med en betragtning om at da vandet til kaffen blev kogt, var der nok noget af den tilførte energi der gik til andre formål, fx opvarmning af metalkedelen, som vi kan antage vandet befandt sig i. Man kunne så forestille sig at nogen kom og fortalte os (som instruktivt eksempel) at der blev brugt 400 kJ i alt, men at 25% var blevet spildt, dvs. der havde været en nyttevirkning (η) på 75%. For at finde mængden af energi, der rent faktisk havde varmet vandet op, ville man så skulle tage definitionen af nyttevirkning og omskrive den:

$$\eta = \frac{E_{nytte}}{E_{max}} \quad \leftrightarrow \quad E_{nytte} = \eta \cdot E_{max}$$

Derfra ville det bare være at sætte værdier ind:

$$E_{nytte} = 0{,}75 \cdot 400kJ = 300kJ$$

På den måde ville man kunne se at der ud af de 400 kJ kun var gået 300 kJ til kaffen.

Personligt foretrækker jeg varm kakao…

(Nedenstående boks er med fuldt overlæg blevet efterladt tom...)

Ugler kan være ret intense

Nogle gange er det bare ikke godt nok at bruge begrebet energi eller for den sags skyld effekt. Vi kan have brug for en rumlig dimension, for at beskrive et fysisk fænomen, der omhandler energi. Til det formål har vi intensitet.

Intensitet er mængden af energi, der passerer gennem et areal hvert sekund. Eftersom energi per sekund er det samme som effekt, bliver definitionen af intensitet:

$$I = \frac{P}{A}$$

Et lækkert lille eksempel kunne være en dødsstråle fra en superskurks dommedagsvåben. Vi kigger bare på en lille prototype, så der bliver kun pumpet 50J ud hvert sekund, dvs. effekten er 50W. Der hvor strålen forlader snuden af våbenet er dens areal 0,01m^2. Så bliver intensiteten:

$$I = \frac{50W}{0{,}01m^2} = 5000\, {}^{W}\!/_{m^2}$$

Ih, hvor rart! Ingen nye mærkelige enheder…

Dødsstrålen spredes lidt, så går man 100 meter væk fra prototypen, er arealet af strålen blevet 0,02 m^2. Dermed er intensiteten faldet til:

$$I = \frac{50W}{0{,}02m^2} = 2500\, {}^{W}\!/_{m^2}$$

Det betyder at strålen er farligere, jo tættere man befinder sig på dommedagsvåbenet.

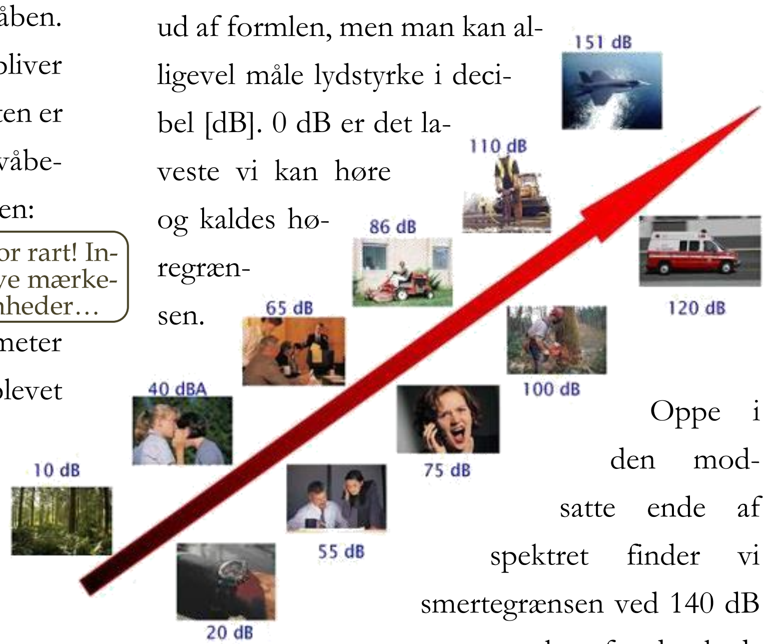
...og lave høje uhyggelige lyde

Præcis hvor voldsom meget larm ugler (*strigiformes*) laver kan muligvis diskuteres. Men som fysikere foretrækker vi nu engang at måle det i stedet, og intensitet er glimrende til det formål. Der er dog liiiige en lillebitte detalje. Fordi vi mennesker er super duper egocentriske, har vi valgt at definere lydstyrke ud fra vores egen hørelse, eller mere præcist ud fra den laveste intensitet vi kan høre, som kaldes I_0 ("i-nul") og er lig med 10^{-12} W/m^2. Nu kan vi sige, at hvis man oplever en lyd med intensiteten I, så bliver lydstyrken:

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Som det ses er lydstyrke logaritmisk. En logaritme er en funktion, der kan beskrives som følgende spørgsmål: "Hvor mange gange skal man gange 10 med sig selv, for at få det der tal der står i parentesen?" (Kaldes også 10-tals logaritmen.) Svaret på spørgsmålet er funktionens resultat, som så skal ganges med 10 for at få L.

Strengt taget kommer der ikke nogen enhed ud af formlen, men man kan alligevel måle lydstyrke i decibel [dB]. 0 dB er det laveste vi kan høre og kaldes høregrænsen.



Oppe i den modsatte ende af spektret finder vi smertegrænsen ved 140 dB - prøv at gætte hvorfor den hedder det.

STOFSKIFTE

BMR

- Udregn først jeres eget hvilestofskifte - Basic Metabolic Rate (BMR) - ud fra denne formel:

  BMR = $4{,}18 \cdot (10 \cdot m + 6{,}25 \cdot h - 5 \cdot a + s)$ kJ/døgn,

  hvor massen ***m*** er i kg, højden ***h*** i cm og alderen ***a*** i år. ***s*** er +5 for mænd og -161 for kvinder. NB: Tallene der står foran variablerne er konstanter, I ikke skal ændre på. De 4,18 er en faktor der gør at vi får svaret i kJ i stedet for kCal.

  BMR =

- Udregn nu jeres egentlige energibehov (i kJ/døgn) ved at gange en PAL-værdi på jeres BMR. Vurdér selv hvilken PAL-værdi der passer for dig med hjælp fra nedenstående skema.

  BMR · PAL =

PAL-værdier (Physical Activity Level) - Ganges på BMR for at få reelle energibehov i kj/døgn	
Aktivitetsniveau	*PAL-værdi*
I rullestol eller sengeliggende	1,2
Stillesiddende arbejde og ringe fysisk aktivitet	1,4 - 1,5
Stillesiddende arbejde og lidt fysisk aktivitet	1,7
Hovedsageligt stående arbejde	1,9
Hårdt kropsarbejde eller meget høj fritidsaktivitet	2,0-2,4
Hård fysisk aktivitet 30-60 min. 5 gange om ugen i fritiden	+0,3 (Lægges til én af de ovenstående værdier. Vurdér hvor stor/lille bonus I selv har.)

- Find nu brændværdien for en fødevare og udregn hvor stor en masse du kan spise af det i løbet af en dag. *Hint: Her skal du bruge formlen for kemisk energi $E = B \cdot m$, hvor E er dit daglige energibehov, B er brændværdien og m er massen af det du skal spise. Du skal altså isolere m.*

  m =

Fødevare	**B i J/kg**	**Fødevare**	**B i J/kg**
Chokoladeskildpadder	19.200	Rugbrød	9010
Broccoli	1100	Franskbrød	10.190
Guldhorn (is)	12.790	Lasagne	7660
Monster Energy	2010	Lakridskugler	17.960
Pære	2048	Nutella	22.520
Flæskesvær	27.900	Peanuts	26.880
Mørbradbøffer	4240	Citronmåne	15.850

✦✦✦ RUMBILLET ✦✦✦

Nederst på siden finder du din billet, som skal vises inden afgang. Udfyld venligst den manglende information, og vis dokumentet ved skranken for at få udfyldt og valideret billetten. Du skal betale et gebyr for validering plus et eventuelt ekstra beløb hvis du ønsker forplejning under vejs. Tillægsprisen er 20.000 kr per kg. Vand er inkluderet i billettens grundpris!

DESTINATION:

____

MASSE AF DAGLIG FORPLEJNING:

_______________ kg

REJSETID:

_______________ dage

MASSE AF FORPLEJNING TIL HELE TUREN:

_______________ kg

ENERGIBEHOV PER DAG:

_______________ kJ

TILLÆGSPRIS:

_______________ kr

BOARDING PASS

Passenger Citizen Code:

Date: **Departs:**

From:

Denmark, Earth

Departure Point:

Carrier: **Flight:** **Class:** **Seat:**

XTRM M

Validation Code

Ticket is subject to all rules and regulations as imposed by the Confederate States of Earth.

AFFYRING

FØR VI LETTER
1) Hvor mange kJ svarer 2 MJ til?

2) Hvor mange kJ svarer 6 GJ til?

3) Hvor mange MJ svarer 17 GJ til?

SPACEX'S FALCON 9 RAKET
Brændværdien af RP-1 raketbrændstof med flydende O_2:
B = 9,58 MJ/kg
(Værdien er forholdsvis lav, fordi man skal slæbe oxygen med, i stedet for bare at få den fra atmosfæren.)

a) Falcon 9 bruger 1450 kg brændstof per sek. ved max belastning. Hvor meget energi udløser det?

b) Hvor længe (dage/år) kan en gennemsnitlig person leve af en sådan energimængde?

c) En typisk familie bruger omkring 80.000 MJ om året på el og varme. Hvor længe kan de klare sig for den samme energimængde?

d) I alt indeholder (de to trin af) en Falcon 9 raket 518500 kg brændstof. Hvor meget energi giver det?

e) Samme spørgsmål som b) med energien fra d).

f) Samme spørgsmål som c) med energien fra d).

Ekstra
g) Chokolade indeholder omkring 23000 kJ/kg. Hvor meget skal du spise for at opnå de udregnede energimængder?

DANS OG KEMISK ENERGI

- a) Et stort æble vejer 150 g og indeholder 2,2 kJ/g. Hvor meget kemisk energi er der i det?

- b) En chokoladeskildpadde vejer 28 g og har 19,2 kJ/g. Hvor meget E_{kem} er der i padden?

- c) Når vi omsætter kemisk energi fra vores muskler til bevægelsesenergi, har vi en nyttevirkning på ca. 25%. Hvor mange af æblets og skildpaddens joule kan vi rent faktisk udnytte?

- d) Man har en effekt på ca. 350 W, når man danser. Hvor længe kan man danse, hvis man bruger al den udnyttede energi fra henholdsvis et æble og en skildpadde til at danse?

- e) Ekstra: Opstil et udtryk, der kan udregne tiden ud fra brændværdien, masse, nyttevirkningen og effekten. Altså en formel, der kan få os fra b til d med én udregning.

RUMREJSEN: ENERGI FRA SOLEN

Et rumskib udstyret med solceller har ikke brug for at medbringe så meget brændstof til el og varme.

NB: 1 AE = 150 mio. km = 150 GM = $150 \cdot 10^9$ m.

<u>Solcellernes Nyttevirkning</u>

Ved Jorden, i en afstand på 1 AE fra Solen, er der en Intensitet på 1362 W/m². Når vi lægger Jorden bag os udnytter solcellerne 544,8 W/m².

- ♥ Hvad er Solcellernes nyttevirkning?

<u>Coming Up On Mars</u>

Intensiteten af sollyset aftager som kvadratet på afstanden ifølge $I = P / (4 \cdot \pi \cdot r^2)$, hvor r måles i m, og Solens totale effekt er $3{,}83 \cdot 10^{26}$ W.

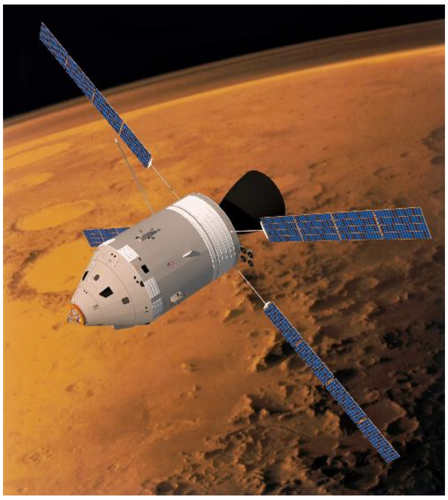
- ♥ Hvad er intensiteten af sollyset, hvis vi er 1,5 AE fra Solen (ved Mars)?

- ♥ Hvor meget af Solens intensitet bliver udnyttet herude? *Hint: η er uændret.*

- ♥ Hvilken effekt leverer solcellerne herude, hvis de har et overfladeareal på 50 m²?

- Hvor meget energi (i GJ) kan solcellerne samle til os på en dag herude?

- Hvor lang tid kan en bærbar være tændt, hvis den har en effekt på 100 W, og vi bruger al energien fra solcellerne på den?



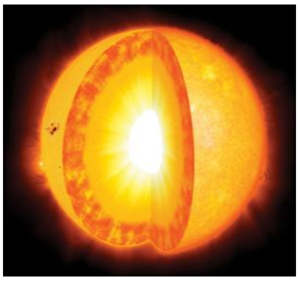
Ekstra

- Hvor langt skal vi ud før Sollysets intensitet er faldet til 50 W/m^2?

- Hvor langt skal vi ud før solcellerne kun leverer 10 MJ om dagen?

Solen har en volumen på $1{,}41 \cdot 10^{18}$ km^3 og en masse på $1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg. I kernen af Solen, de inderste 20% af dens radius, ligger 34% af Solens masse.

- Hvad er Solens (gennemsnitlige) densitet i kg/m^3 og i g/cm^3?



- Hvad er kernens (gennemsnitlige) densitet i kg/m^3 og i g/cm^3?

FINSK RÅBEKOR

Højtråbende

I et finsk råbekor er intensiteten høj, og en af råberne kommer op på $I = 10^{-2}$ W/m^2.

- Hvilken lydstyrke svarer det til?

Til sammenligning har almindelig tale typisk en intensitet omkring 10^{-7} W/m^2.

- Hvilken lydstyrke svarer det til?

Insiterende Intensitet

I en bestemt råbepassage varierer en råber sin lydstyrke op og ned mellem 85 dB og 95 dB.

- Hvad er den laveste intensitet af råbene?

- Hvad er den højeste intensitet af råbene?

Energisk Optræden

En trommehinde har et overfladeareal på ca. 55 mm^2.

- Hvor mange m^2 svarer det til?

En person blandt publikum oplever en lydstyrke der er faldet til 83 dB.

- Hvilken intensitet svarer det til?

- Hvilken effekt udsættes personens trommehinde for?

- Hvor meget energi rammer personens trommehinde i løbet af 5 sekunder?

DEN KOLDE SKULDER

Troldkarle og troldkarlinder overalt er svært begejstrede for en helt bestemt formel, nemlig den der beskriver opvarmning og afkøling af et stof. Den ser således ud: E=m·c·ΔT, og energiformen vi her har med at gøre er termisk energi. ΔT er en temperaturtilvækst, hvilket giver meget god mening, når det nu handler om opvarmning (positiv ΔT) og afkøling (negativ ΔT). Massen af det stof hvis temperatur ændrer sig er som sædvanlig udtrykt med m. Det egentlig nye her er c, der kaldes den specifikke varmekapacitet, og som er et tal der udtrykker hvor let eller svært det er at ændre temperaturen af (et kg af) et givent stof. Det viser sig fx at vand er sværere at varme op end jern, men til gengæld holder vand også bedre på varmen. Værdier for c kan findes i følgende tabel.

Specifikke Varmekapaciteter

Stof	$c\ (\frac{J}{kg \cdot K})$	*Stof*	$c\ (\frac{J}{kg \cdot K})$
Brint	14300	**Jern**	450
Damp	2080	**Jord**	800
Ethanol	2440	**Luft**	1012
Granit	790	**Menneske**	~3470
Guld	129	**Træ**	~1700
Is	2050	**Vand**	4180

Og hvorfor er det så lige, at magikere synes det er så fedt at vide? Det skyldes at trolddom som alt andet kræver energi, og den skal komme et sted fra. Et af de store magiske tricks er at kunne ”suge” energi ud af varme ting. Det er selvfølgelig ikke hver dag man lige render rundt med et transportabelt bål, så troldmænd må som regel nøjes med noget lettere tilgængeligt. Èn ting de altid har med, er sig selv, og da menneskekroppen har et højt indhold af vand, er den et glimrende energireservoir.

Lad os se på en troldkvinde, der har i sinde at svitse øjenbrynene på en flabet elev. Der står i hendes databog, at det kræver en energimængde på 20 kJ. Den energi har hun tænkt sig at tage fra varmen i sin venstre arm, der vejer ca. 3 kg. Spørgsmålet er så hvor meget temperaturen i hendes arm falder?

Da hun er interesseret i en temperaturændring skal hun bruge formlen:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Hun isolerer ΔT, da det er den størrelse hun skal finde. Det gøres ved at dividere med m·c på begge sider af lighedstegnet:

$$\frac{E}{m \cdot c} = \Delta T$$

Hun kan nu sætte de værdier hun kender ind:

$$\Delta T = \frac{-20000\,J}{3\,kg \cdot 3470\,\frac{J}{kg \cdot K}} = -1{,}92\,K$$

Troldkvindens arm bliver altså ca. 2 kelvin koldere, hvilket ikke er farligt. (Da det er en temperatur*tilvækst*, er -2K det samme som -2°C.)

AT OPTØ EN MAMMUT

Efter 35 års søgen har en biolog fundet en 10.000 år gammel nedfrosset mammut (*mammuthus primigenius*) i tundraens permafrost. Mundvandet står ham om kæberne, og han kan næsten ikke vente med at sætte tænderne i en saftig mammutbøf.

Først skal dyret naturligvis tøs op, hvilket kræver energi, så frem kommer primussen. De færreste vil blive chokeret over at mammuttens temperatur skal hæves til 0°C for at den kan tø op, og det kan man selvfølgelig regne på hvis man har lyst (og kender mammutens varmekapacitet). Men hvad de færreste ved er, at når først kødet har ramt frysepunktet, så stopper temperaturen med at stige i et stykke tid. Der sker nemlig det, at den energi, den (antagelig) gamle biologs gasblus tilfører, begynder at gå til at bryde kemiske bindinger i det frosne mammutkød, og det er dét, der får kødet til at tø op, ikke temperaturstigningen! Fænomenet kaldes en faseovergang, og dækker over en forvandling af stof, fx fra is til vand.

Grundlæggende kan stof befinde sig i én af tre faser (eller former), fast, flydende og gas. Det afgørende er hvor tæt stoffets molekyler er bundet. I fast form er de kemiske bindinger stærkest, hvorimod gaspartikler slet ikke er bundet sammen. At bryde en binding og dermed skabe en overgang fra én fase til en anden, kræver energi. Modsat afgiver et stof energi, når det skaber bindinger. Der skal altså bruges energi på at forvandle is til vand (*quelle surprise*). Men det betyder også, at der kommer energi ud af at fryse vand til is. Mængden af energi afhænger af stoffets smelte-/størkningsvarme, L_s, eller af dets fordampnings/fortætningsvarme, L_f. (Gæt hvornår man bruger hvilken…) Under ét kaldes L'erne for overgangsvarme. Fint nok, men hvad betyder det alt sammen? Jo, kig fx i tabellen for smeltevarme, på næste side. Her kan vi se at der ud for H_2O står 334kJ/kg. Det betyder ganske simpelt at der kræves 334kJ for at smelte et kg is. Og det betyder dermed også at der frigives 334kJ når et kg vand størkner (fryser) til is.

Hvis altså vores sultne biolog har tænkt sig at tø en stor mammut-luns op, og vi forudsætter at 500g af den bøf består af frosset H_2O, ja så kræver det:

$$E = 334\frac{kJ}{kg} \cdot 0{,}5kg = 167kJ$$

Bemærk at det kun er den energi der skal bruges til selve faseovergangen. Først skulle kødets temperatur hæves til 0°C (hvilket kræver energi), og derudover skal det jo nok også varmes lidt mere (kræver også energi), da de færreste biologer bryder sig om rå bøffer.

Forbudt, forbudt, forbudt! Det er hvad det er at tro, at en faseovergang kræver en temperaturtilvækst.

Ovenover har vi i al hemmelighed benyttet den formel, der hedder $E=L_s \cdot m$. Havde der været tale om at vi skulle fordampe (eller fortætte) noget stof, så havde vi brugt $E=L_f \cdot m$, der naturligvis fungerer på nøjagtig samme måde.

Smeltevarme

Stof	*L_s (kJ/kg)*	*Smeltepunkt (°C)*
Bly	24,5	327
CO_2	184	-78
Ethanol	108,99	-114
Guld	63,7	1064
H_2O	334	0
Jern	247	1538
Nitrogen	25,7	-210

Fordampningsvarme

Stof	*L_f (kJ/kg)*	*Kogepunkt (°C)*
Bly	871	1749
CO_2	574	-57
Ethanol	841	78
Guld	2856	1645
H_2O	2257	100
Jern	6090	2862
Nitrogen	200	-196

SKUDT UD I RUMMET

Det er så sikkert som lyssværd i Star Wars, at man på et eller andet tidspunkt bliver udsat for det tomme rums barskhed, uanset hvor tryg og sikker man føler sig i sit rumskib. I hvert fald på film. I denne opgave lader vi som om, du ikke har noget til at isolere dig fra det tomme rum. Vi antager desuden, at du ikke mister energi af andre årsager end udstråling og heller ikke får tilført energi. Hvis du ikke ved, hvad du vejer, kan du lege at din masse er 70 kg.

<u>Ekstrem Afkøling</u>

1) Man udstråler normalt med omkring 900 W.

- Udregn hvor meget energi du skal miste for at din temperatur når ned på 30 °C (fra 37 °C)?
- Hvor lang tid tager det for din temperatur at nå ned på 30 °C (fra 37 °C).

2) Nu går det langsommere. Effekten falder til 800 W.

- Udregn hvor meget energi du skal miste for at din temperatur når ned på 20 °C (fra 30 °C)?
- Hvor lang tid tager det for din temperatur at nå ned på 20 °C (fra 30 °C).

3) Effekten er nu faldet til ca. 700 W.

- Overvej hvor meget energi du skal miste for at din temperatur når ned på 10 °C (fra 20 °C)?
- Hvor lang tid tager det for din temperatur at nå ned på 10 °C (fra 20 °C).

4) I det sidste temperaturinterval vi kigger på er effekten ca. 600 W.

- Overvej hvor meget energi du skal miste for at din temperatur når ned på 0 °C (fra 10 °C)?
- Hvor lang tid tager det for din temperatur at nå ned på 0 °C (fra 10 °C).

5) Hvor lang tid tager det i alt, før du når ned på frysepunktet i det tomme rum? (OBS: Rumturisten er ikke frosset til is endnu. Der skal mistes lidt mere energi, for at få lavet faseovergangen.)

SNEMÆND

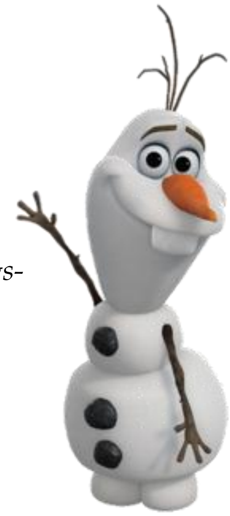
I det følgende antager vi at sne har samme smeltevarme, L, og specifik varmekapacitet, c, som is, dvs. henholdsvis L=334 kJ/kg og c=2050 J/(kg ·°C). Formlen for smeltning/frysning er E=L · Δm.

<u>Hr. Snuske</u>
Hr. Snuske er en snemand, der har kendt bedre dage.

- ♥ Hvor meget energi skal der til for at smelte Hr. Snuske, hvis han vejer 10 kg (og hans temperatur er 0°C)?

- ♥ Er smeltevandets temperatur også 0°C, efter isen er smeltet, eller er det blevet varmet op af selve smeltningen?

<u>Olaf</u>
Olaf er en snemand, der elsker varme knus. Men hvor fatalt er et varmt knus egentlig for ham? Vi vurderer, at der under et 3 sekunder langt knus overføres energi med en effekt på 2000 W (W=J/s) fra den krammede til Olaf.



- ♥ Hvor meget energi overføres der i alt?

- ♥ Hvor meget stiger Olafs temperatur, hvis energien fordeles i det yderste lag af hans krop, som vi siger vejer 2 kg? (*Tip: Her skal du bruge opvarmningsformlen.*)

- ♥ Olafs temperatur starter på -5°C og Er han I fare for at smelte?

Nu krammer Olaf en skoleklasse på 30 personer (i 3 sek. hver).

- ♥ Udregn hvor meget energi, der bliver overført til Olaf.

- ♥ Udregn hvor meget energi, der skal tilføres for at få de 2 kg sne op på smeltepunktet ved 0°C, når hans temperatur starter på -5°C.

- Hvor meget energi er der til overs?

- Hvor mange kg sne kan den overskydende energi smelte? (*Tip: nu skal du isolere massen, m, i smeltningsformlen*.)

- Har Olaf nu et problem?

Elsa

Elsa er ikke en snemand, men hun kan fryse en mand til is, hvis han pisser på hendes sukkermad, og på den måde lave en slags snemand.

- Hvor meget energi skal der frigives, hvis hun vil afkøle en person der vejer 65 kg, ned til 0°C fra 37°C? (*Brug den specifikke varmekapacitet for et menneske.*)

- Hvor meget energi skal der frigives, hvis hun vil lave en faseovergang, så personen fryser til is? Vi antager at 70% af personens masse er H_20 (ignorér resten af massen).

- Hvor meget energi skal der frigives, hvis hun vil fryse personen yderligere ned til -5°C?

- Hvor meget energi skal Elsa i alt suge ud af sit offer?

Dragens Morgenbad

At være drage er sjovt, men det kan også være ret hårdt en gang imellem. Du står op klokken 5.30, for at tjekke at dit guldbjerg ikke er blevet stjålet af tyve i nattens mulm og mørke. (Hvis det er sket, skal du efter dem, inden de er for langt væk.) Herefter skal du have varmet morgenbadet op. Som drage kræver det en ganske stor volumen af vand. Vi snakker i omegnen af 50 m^3, hvilket svarer til 50 ton.* Vandet starter med en temperatur på 20 ºC og skal op på det dobbelte. Det kræver en energimængde på ca. 4 GJ.**

Da ikke engang drager (så vidt vides) kan få energi til at opstå ud af ingenting, må de 4 GJ jo komme et sted fra. De der kan deres kryptozoologi ved, at drager godt kan lide prinsesser. Spørgsmålet er så hvor mange prinsesser du som drage må spise for at få energi nok til at varme vand til dit morgenbad. For at svare på det, er vi nødt til at vide, hvor mange joule en gennemsnitsprinsesse indeholder. Antager vi en kropsvægt på 60 kg, får vi en værdi i omegnen af ½ GJ.† Vi kan dermed se at der skal fortæres 8 prinsesser. ††

Dragens Udregninger

***Masse af vand til bad:**

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

$$\rho = 1000\ \frac{kg}{m^3}, V = 50m^3$$

$$m = 50m^3 \cdot 1000\frac{kg}{m^3} = 50.000kg$$

****Energi til opvarmning af badevand:**

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$m = 5 \cdot 10^4 kg, c = 4186\frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\Delta T = 40°C - 20°C = 20K$$

$$E = 5 \cdot 10^4 kg \cdot 4186\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 20K$$

$$E = 4{,}186 \cdot 10^9 J \approx 4 \cdot 10^9 J$$

†Energi i en gennemsnitsprinsesse:

(16% fedt, 16% protein + 1% sukker)

$$E = B_f m_f + B_{ps} m_{ps}$$

$$E = (37 \cdot 0{,}16 + 17 \cdot 0{,}17)\frac{kJ}{g} \cdot 6 \cdot 10^4 g$$

$$E = 528{,}6 \cdot 10^3 kJ \approx 0{,}5 \cdot 10^9 J$$

††Antal prinsesser til konsumering:

Total energimængde: $E_{tot} = 4{,}186 \cdot 10^9 J$

Energi per prinsesse: $E_p = 0{,}5286 \cdot 10^9 J$

Antal prinsesser: $\#_p = \frac{E_{tot}}{E_p}$

$$\#_p = \frac{4{,}186 \cdot 10^9 J}{0{,}5286 \cdot 10^9 J} = 7{,}919 \approx 8$$

Hertil kommer at drager skal bruge energi til alt muligt andet. Man kan tillade sig at formode at de supplerer med rigelige mængder af modige riddere, der forsøger at stoppe dem fra at mæske sig i prinsesser. Det betyder at de ikke behøver flyve helt så meget rundt for at skaffe føde, og at der rent faktisk kan opretholdes en stabil bestand af prinsesser.

DRAGER & PRINSESSER

RESEARCH

Den første (og den anden) del klares i de store grupper.

- Genopfrisk hvad de forskellige variable i definitionen af densitet, $\rho = m/V$, dækker over.
- Genopfrisk hvad de forskellige variable i opvarmning/afkølingsformlen, $E = m \cdot c \cdot \Delta T$, dækker over.
- Find ud af hvad $E = B \cdot m$ har med noget som helst at gøre? Hvad betyder de tre variable?
- Undersøg (teoretisk) om I kan få $235 \cdot 10^6$ J ud af at afbrænde 5 kg benzin. Når I kan det, er I klar til at gå videre. :)

DRAGENS MORGENBAD

Læs sidste side om dragens morgenbad.

- Gennemgå de fire dele af Dragens Udregninger og sørg for, at I alle forstår, hvad der sker.
- Vær specielt sikre på at I forstår hvad B_f og B_{ps} står for, samt hvad tallene i udregningen af energien i en gennemsnitsprinsesse dækker over.

KONKURRENCE

Følgende konkurrence tager udgangspunkt i Dragens Morgenbad. Udfordr hinanden to-og-to inden for jeres gruppe, og skift konkurrent efter hver udfordring. Følg trinene nedenfor et for et:

1) To og to: Byg hver jeres prinsesse ved at ændre på fedt-, protein- og sukkerprocenterne samt hendes masse.
2) Lad derefter den anden udregne, hvor mange af dine prinsesser der skal til for at en drage kan få varmet vand til sit morgenbad.
3) Man må starte med at kigge én gang i Fysisk FTW. Hver gang man kigger i Fysik FTW giver det et strafpoint.
4) Ret hinandens udregninger og giv et strafpoint for hver fejl. (Aftal på forhånd, om enhedsfejl tæller med).
5) Den der har færrest strafpoint til sidst vinder.
6) Skift modstander og start forfra.

Ha! Det er da for nemt Giv mig nogle flere udfordringer.

Ok! Hvad hvis dragens η er 60% og den kan lide at bade i kviksølv? *Tip:* c_{Hg} = 139 J/(kg·K)

Beregninger

FYRRETRÆSKROKODILLER

Ud over at Wulff & Morgenthaler sutter til botanik, så er deres herpetologi øjensynlig heller ikke for god. Men med tanke på en så bizar og stupid skabning som trækænguruen (eksempelvis *dendrolagus bennettianus*) kunne man jo fristes til at overveje muligheden for at trækrokokodiller ligeledes kunne have en vis eksistensberettigelse.

Antaget at en flok krokodiller skulle få lyst til at prøve kræfter med evolutionen, må den første og største bekymring gå på reptilsk nedfald. For at belyse dette emne fra et fysisk synspunkt, vil vi kigge på energiforholdene for disse tænkte træboende krybdyr.

Vi starter med at gøre os det klart, at der er energi i en bevægelse. Tvivler man på rigtigheden af dette, kan man stille sig under en faldende krokodille og konstatere at der overføres en ikke helt uvæsentlig mængde energi ved sammenstødet mellem reptil og kranie. Har man mulighed for det, vil det være ganske instruktivt at blive ramt af krokodiller af varierende størrelse. Her vil man hurtigt opdage, at det er ganske afgørende om man rammes af en voksen én på 700 kg eller en nyudklækket unge på 200 gram. Opbyggede man på denne måde et statistisk grundlag, der var stort nok, ville man opdage at energimængden i en faldende krokodilles bevægelse var defineret ud fra dens masse og fart:

$$E_{kin} = ½ \cdot m \cdot v^2$$

Denne energi kaldes logisk nok for bevægelsesenergi. Det er dog lidt for nemt, så vi bruger i stedet ordet kinetisk energi, der betyder præcis det samme, men er bedre til at forvirre fjenden med. Formlen gælder for alle objekter (uanset om de er krokodilleformede eller ej) og for alle typer bevægleser (fald, løb, flyvning, etc.). Den vakse læser vil nu indvende et "Jamen, hør hov!". Der var jo noget med en grundregel, der sagde at energi ikke blot kan opstå ud af det blå. Og da en krokodille der klamrer sig til en gren tydeligvis ikke har nogen fart, kan den jo heller ikke have nogen kinetisk energi. Så hvor kommer faldende krokodillers energi fra? Eller rettere, hvad var energien inden den blev til kinetisk energi? Svaret er: potentiel energi, også kaldet beliggenhedsenergi.

Jo højere en krokodille befinder sig over jorden, desto mere potentiel energi har den. Samtidig har tunge krokodiller mere energi end lette. Det kan udtrykkes med formlen:

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

Her står m som sædvanlig for masse, h betyder højde og g kaldes tyngdeaccelerationen og er et udtryk for hvor stærkt tyngdekraften påvirker en krokodille (eller noget andet med masse) på et givent sted. I Danmark sættes g typisk til 9,82 m/s^2.

Fint nok, men hvad kan det altsammen bruges til? Tjoh, tager man fx en krokodille på 500 kg og placerer den 10 meter oppe i et træ, så vil den have en potentiel energi på:

$$E_{pot} = 500\,kg \cdot 9{,}82\,\frac{m}{s^2} \cdot 10\,m = 49100\,J$$

Skulle krokodillen pludselig miste grebet, vil de (ca.) 49 kJ potentiel energi gradvist omdannes til kinetisk energi (og dermed fart) efterhånden som dyret nærmer sig skovbunden. Halvvejs nede vil E_{kin} fx være halvdelen af 49100 J, altså 24550 J. I det øjeblik krokodillen rammer jorden er al den potentielle energi blevet omdannet til kinetisk energi, og hvis vi er en smule snedige, kan vi udregne dens fart i nedslagsøjeblikket. Vi isolerer først farten i formlen for E_{kin}:

$$v^2 = \frac{2 \cdot E_{kin}}{m} \quad \leftrightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m}}$$

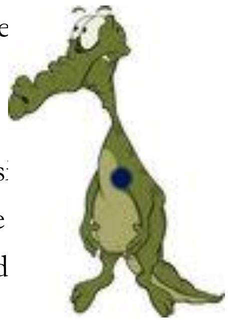
Som nævnt har vores hypotetiske reptil en kinetisk energi på 49100 J, hvilket sættes ind sammen med massen (der stadig er 500 kg):

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 49100\,J}{500\,kg}} \approx 14\,\frac{m}{s}$$

Krokodillen rammer altså jorden med en fart på 14 meter i sekundet (svarer nogenlunde til 50 km/t), og en del smerte til følge.

I eksemplet har vi gladelig ignoreret at der er noget der hedder luftmodstand, som sænker krokodillens fart en smule (ved at reducere dens bevægelsesenergi). Derudover skal man være opmærksom på, at højden blev målt fra jordens overflade, hvilket er ganske rimeligt, men ikke nødvendigt! Det er nemlig sådan med potentiel energi, at man selv kan vælge nulpunktet, altså det sted hvor højden er 0 m og E_{pot} derfor 0 J.

Forresten kunne man godt forestille sig at nogle folk ville spørge om præcis hvilken del af krokodillen man måler højden op til. Hænger den fx lodret kan der være en ganske stor afstand fra haletip til snudespids (op til 6 m eller mere). Og der er immervæk en stor energiforskel fra 4 til 10 meter. Svaret er at man skal finde krokodillens massemidtpunkt. De er så at sige centrum for krokodillen, og der hvor dens masse ville være hvis man forestillede s kræet var et punkt uden størrelse udstrækning (men vejede d samme).

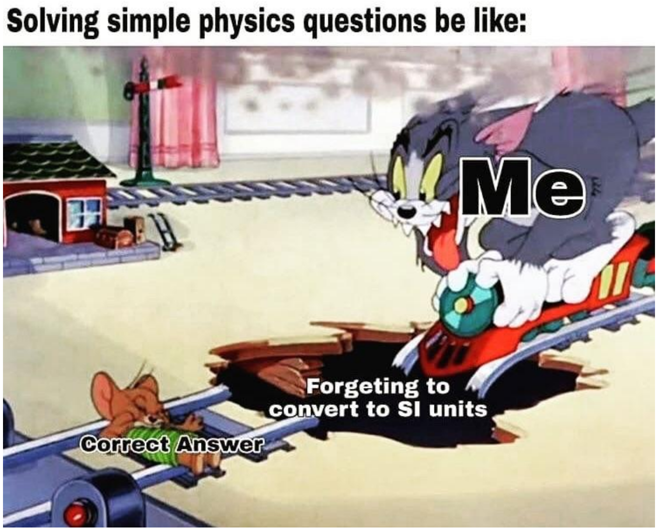


Den blå plet er et (ikke synderligt præcist) forsøg på at angive krokodillens massemidtpunkt. Forestiller man sig at krokodillen havde en haleprotese lavet af guld (højere densitet), og i øvrigt havde samme form og størrelse, så ville den blå prik rykke nedad.

Sidst skal det bemærkes at vi i udregningerne for den faldende krokodille i al hemmelighed brugte begrebet mekanisk energi, der blot er E_{kin} og E_{pot} lagt sammen. Hemmeligheden er at den mekaniske energi er bevaret (for et isoleret system), hvilket vil sige at når den potentielle energi falder, stiger den kinetiske energi og vice versa.

Blandede Gåder II

E1: Finnen Ville på 75 kg går fra en sauna ned i et koldt vandkar, der er på frysepunktet. Efter en smule plasken skynder han sig tilbage til saunaen. Vandet (m=300 kg) er nu på 0,1 °C.



- Har Ville afgivet energi til vandet eller omvendt?
- Hvor meget stiger vandets temperatur?
- Hvor stor energiudveksling har der været mellem Ville og vandet?
- Hvor meget er Villes temperatur faldet?

E2: Yvonne er 43 år og går til ninja. Under sidste weekends træning, skulle hun hoppe ned fra et 2 meter højt cykelskur - lydløst. Yvonne vejer 65 kg.

- Hvor ville det være smart at sætte nulpunktet for Yvonnes potentielle energi?
- Hvad var Yvonnes potentielle energi oppe på cykelskuret?
- Hvor meget var den faldet til da hun var halvvejs nede?
- Hvad var den idet hun ramte jorden?

E3: En drage spyr ild på en ridder. Den tilfører ham 30MJ på 3 sekunder.

- ♥ Hvad er dragens effekt?

E4: I fire timer sniger ninjaen Yvonne sig hen over hustagene en måneløs nat. Ved at opbygge en uovertruffen muskelkontrol har hun fået sin effekt ned på 150 W.

- ♥ Hvor mange sekunder sniger hun sig rundt?

- ♥ Hvor meget energi bruger hun på snigeri den nat?

E5: En strålekanon der bruges i en interstellar krig kan affyre en ødelæggende puls der indeholder $2 \cdot 10^7$ J. Det kræver dog at den trækker 30 MJ fra en energikilde.

- ♥ Hvad er kanonens nyttevirkning (η)?

E6: Robotten Alfred har en nyttevirkning på 85% og bruger et batteri der leverer 1000 W.

- ♥ Hvor mange joule kan Alfred udføre arbejde for hvert sekund?

E7: En krokodille falder ud af et 20 m højt træ. Vi ved ikke hvor meget krokodillen vejer.

- ♥ Hvad gælder der for krokodillens kinetiske energi i splitsekundet inden den rammer jorden?

- ♥ Hvor høj fart rammer krokodillen jorden med?

- ♥ Ville det betyde noget for farten hvis vi fik krokodillens masse at vide?


STEP FORTH AND STATE YOUR CRIME, EVILDOER...
I DON'T PUT UNITS IN MY CALCULATIONS.
WE WILL TAKE OUR SWEET TIME WITH THIS ONE!