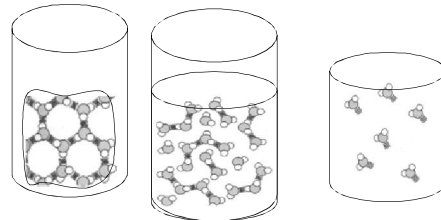


Fysiikka 2 tiivistelmä

Juhani Kaukoranta
Raahen lukio 2012

Aineen olomuodot



Kiinteä
Pitää oman muotonsa
astiassa

Neste
Saa astian muodon

Kaasu
Jos kansi, niin täyttää
koko astian
Leviää astiasta pois, jos
kansi kiinni

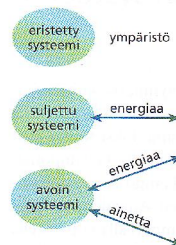
2

Lämpö

- Lämpö on **energiaa**, joka ilmenee aineen perusosasten (atomien, molekyylien, ionien) lämpöliikkeenä
- Aineen **sisäenergia** on rakenneosasten liike-energian ja potentiaalienergian summa
- Lämpöenergian yksikkö on **1 J** (= joule)
- Lämpö siirtyy lämpimämmästä kylmempään
- **Lämpötila** on on suure, joka riippuu rakenneosasten keskimääräisestä **liike-energiasta**

Nimityksiä: systeemit

Termodynaamisen systeemin perustyytit.



Eristetty: ei vaihda ympäristönsä kanssa ainetta eikä energiaa

Suljettu: Ei vaihda ainetta, vaihtaa vain energiaa ympäristönsä kanssa

Avoin: vaihtaa ainetta ja energiaa ympäristönsä kanssa

4

Lämpötila

- yksikkö °C ja K =kelvin
- 0 K = -273,15 °C
(-273,15 °C = absoluuttinen nollapiste)
- **Kelvin = Celsius + 273,15**
- 100 °C = 100 + 273,15 ≈ 373 K
- +37 °C ≈ 300 K (ihmisen normaali sisälämpö)
- -20 °C = -20 + 273,15 ≈ 253 K

5

Paine

Jos voima F vaikuttaa kohtisuoraan pintaan A, niin pintaan A kohdistuva paine p määritellään:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$\text{Paine} = \frac{\text{Voima}}{\text{Pinta-ala}}$$

Paineen SI-perusyksikkö on **1 Pascal = 1 Pa = $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$** Johdannaisyksikkö 1 bar
1 bar = 100 000 Pa
(käytännössä normaali ilmanpaine ≈ 1 bar)

Paine kaasuissa

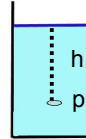
- Ilmanpaine on ilmankehän ilman painon aiheuttama paine
- **Ilmanpaine ≈ 1 bar**
(normaalipaine 1,013 bar=101,3 kPa)
- 1 bar = 100 000 Pa = 100 kPa
- Ilmanpaine laskee ylöspäin mentäessä

7

Hydrostaattinen paine

Nesteen oman painon aiheuttama paine = ρgh

p_0 = ulkoinen paine



Kokonaispaine syvyydellä h on:

$$p = p_0 + \rho gh$$

9,81 m/s²
 nesteen tiheys

Sukeltajan sääntö: Paine pinnalla 1 bar. Jokaista 10 m kohti tulee lisää 1 bar. Siten 30 metrissä on 4 bar kokonaispaine.

Esim. Kuinka suuri hydrostaattinen paine vaikuttaa sukeltajaan 3,5 metrin syvyydessä? Mikä on sukeltajaan vaikuttava kokonaispaine, jos veden pinnalla vallitsee normaali ilmanpaine (=101,3 kPa)?

$$p = p_0 + \rho gh$$

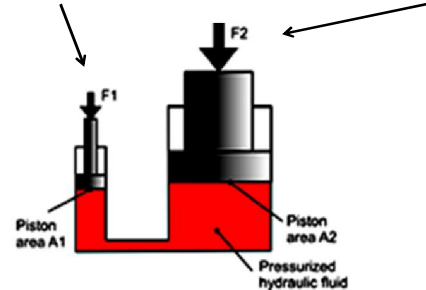
$$p = 101300 \text{ Pa} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,5 \text{ m} = 135\,635 \text{ Pa}$$

$$p \approx 136 \text{ kPa} \approx 1,36 \text{ bar}$$

(Sukeltajan päässä lasku: $p \approx 1 \text{ bar} + 0,35 \text{ bar} \approx 1,35 \text{ bar}$)

Hydraulinen nosturi:

Pienellä voimalla nostetaan suuri kuorma



Paine nesteessä sama:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Verenpaine mmHg ja kPa

Verenpaine ilmoitetaan yleensä elehopeamillimetriä esimerkiksi 120/80 mmHg

Elohopean tiheys $\rho = 13540 \text{ kg/m}^3$
 patsaan korkeus $h = 120 \text{ mm} = 0,120 \text{ m}$

$$p = \rho gh = 13540 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,120 \text{ m} = 15,9 \text{ kPa}$$

ENERGIA ja ENERGIARATKAISUT

Energia =

"Kykyä tehdä työtä"



("Käyttövoimaa")



("Saa pyörät pyörimään")



("Kykyä lämmittää")

Energian lajeja

- Liike-energia
- Kappaleiden potentiaalienergia
- Lämpöenergia
- Säteilyenergia
- Kemiallinen energia
- Ydinenergia

MEKAANINEN ENERGIA

koostuu

- Potentiaalienergiasta
- Liike-energiasta

POTENTIAALIENERGIA

se on kappaleeseen **varastoitunutta** kykyä tehdä työtä.

- jännitetty jousi
- ylös nostettu paalujuntta
- ylös pumpattu vesi

Energia E

- Energia on kykyä tehdä työtä
- Energia on varastoitunutta työkykyä
- yksikkö 1 J (joule)
- 1 kJ = 1 000 J
- 1 MJ (megajoule) = 1 000 kJ = 1 000 000 J
- vanha yksikkö: 1 kcal (kilokalori)
- 1 kcal = 4,2 kJ

esim. jäätelötuutissa 206 kcal/100 g on yhtä kuin 860 kJ/100 g

16

Energiamuotoja

- lämpöenergia
- kemiallinen energia
- sähköenergia
- liike-energia (kineettinen energia)
- asemaenergia (potentiaalienergia)
- ydinenergia
- säteilyenergia

17

Esimerkkejä

- Paristossa on **kemiallista** energiaa, joka vapautuu
- muuttuu **sähköenergiaksi**
- Bensiinissä on kemiallista energiaa
- Lämpö on **lämpöenergiaa**
- Liikuvassa kappaleessa on **liike-energiaa**
- Valossa, mikroaalloissa on **säteilyenergiaa**
- Korkealla sijaitsevalla kappaleella on **asemaenergiaa**

18

Energian häviämättömyyden laki

Energiaa ei voi luoda tyhjästä eikä hävittää olemattomiin.

Energiaa voidaan muuttaa toiseen energiamuotoon.

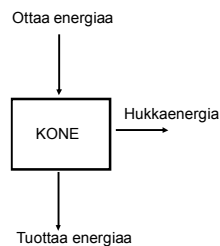
19

Hyötysuhde= kuinka suuri osa käytetystä tai kulutetusta energiasta saadaan muutetuksi hyödyksi

$$\text{hyötysuhde} = \frac{\text{laitteen tuottama hyötyenergia}}{\text{laitteen kuluttama kokonaisenergia}}$$

Bensiinimoottori muuttaa 35 % bensiinin energiaksi liike-energiaksi
 Dieselmoottori muuttaa 40 % polttoaineen energiaksi liike-energiaksi
 Sähkämoottori muuttaa 90 % ottamasta sähköenergiasta liike-energiaksi
 LED-lamppu muuttaa 40 % sähköenergiaksi valoenergiaksi (säteilyksi)

Hyötysuhde



$$\text{Hyötysuhde} = \frac{\text{Tuotettu energia}}{\text{Otettu energia}}$$

$$\eta = \frac{E_{\text{tuotto}}}{E_{\text{otto}}} = \frac{W_{\text{tuotto}}}{W_{\text{otto}}} = \frac{P_{\text{tuotto}} \cdot t}{P_{\text{otto}} \cdot t} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}}$$

Työ

$$W = F \cdot s$$

W = Työ
 F = Voima
 s = Δx = matka tai siirtymä

- Yksikkö [F]·[s] = Nm = J (Joule)
- Voima tekee työtä **siirtäessään** kappaletta
- **Nostotyö = painovoima · pystysuora nostomatk**
- **m·g·h**

Esim. a) 7,2 kg painava matkalaukku nostetaan 70 cm korkealle pöydälle. Kuinka suuri työ tehdään?
 b) Samaa laukku vedetään 32 newtonin voimalla 85 metrin matka parkkipaikalta hotellille. Laske työ.
 c) Kuinka suuria liikevastukset ovat vedon aikana, jos laukun liike on tasaista (=vakionopeus)?

Teho kuvaa työntekovauhtia

- Kuinka nopeasti voima tekee työn. (työntekovauhti)

$$P = \frac{W}{t}$$

P = Teho
 W = Työ (tai energia)
 t = aika

- Yksikkö: J/s = W (watti)
- Työ/energia lasketaan usein tehon avulla.
 - Työn/energian yksikkö J = Ws on pieni →
 - Yleisesti käytetään yksikköä kWh.

Mekaaninen energia

= **Potentiaalienergia + Liike-energia**

1. Potentiaalienergia

- Energiaa, jota kappaleella on sijaintinsa perusteella.
- Esim. Nostettaessa laukku pöydälle, tehty työ varastoituu laukun potentiaalienergiaksi.

$$E_p = mgh \quad \text{Yksikkö: J}$$

Mekaaninen energia

2. Liike-energia

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Yksikkö} = \text{J}$$

Esim. Kuinka paljon on liike-energiaa 1500 kg painavalla autolla, joka liikkuu nopeudella 80 km/h? Kuinka monella prosentilla liike-energia suurenee, jos auton nopeus kasvaa 20 km/h? Kuinka korkealle auto pitäisi nostaa, jotta sillä olisi vastaava määrä potentiaalienergiaa?

Sisäenergia

- Kun kappale pudotetaan, osa sen potentiaalienergiasta muuttuu liike-energiaksi ja osa kappaleen sisäiseksi energiaksi, joka havaitaan mm. kappaleen lämpenemisestä.
- Systemin sisäinen energia on rakenneosasten lämpöliikkeen ja rakenneosasten välisiin **vuorovaikutuksiin** liittyvien potentiaalienergioiden **summa**.
- Systemin sisäenergiaa ei voida määrittää, mutta termodynaamisten systeemien sisäenergioiden muutokset voidaan.

Ravinnosta saatava energia

- Energiaravintoaineet
 - rasvat 38 kJ/g (*ravintosuositus alle 30 %*)
 - hiilihydraatit 17 kJ/g (*ravintosuositus 55-60 %*)
 - valkuaisaineet (proteiinit) 17 kJ/g (*ravintosuositus 10-15 %*)

Ravinnon energia peräisin auringosta.
(katso kuva sivulla 25)

27

Energiankulutus hapen avulla

Yksi litra happea (NTP) polttaessaan eri ravintoaineita tuottaa noin 20 kJ energiaa

$$\text{Happiekvivalentti} = 20 \frac{\text{kJ}}{\text{l}}$$

Mittaamalla elimistön (tai elimen) hapenkulutus, saadaan epäsuorasti tieto energiankulutuksesta tai energiantuotosta

Lämmön siirtyminen

- Lämpöopin toinen pääsääntö:
 - Lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan, kunnes lämpötilaeroa ei enää ole.
 - sovellus: lämpö- ja kylmähauteet
- Siirtotavat:
 - Johtuminen
 - Kuljetus
 - Säteily

29

Johtuminen

- Lämpö on rakenneosasten liike-energiaa
- Lämmittäminen lisää liikettä
- Lämpö johtuu **väliainetta pitkin** siten, että rakenneosaset (atomit, molekyylit, ionit) **tönivät toisiaan**



Hyviä lämmönjohteita metallit
Hyviä lämmöneristeitä ilma ja puu

30

Kuljetus

- Lämpö siirtyy **väliaineen mukana** lämpimän aineen liikuessa.
 - esim. Golf-virta, keskuslämmitys, verenkierto
 - Kun veri lämmittää kehoa, sen oma lämpötila laskee → kehon lämpötila on erilainen eri kohdissa esim. raajat 25 °C
 - Aivot, sisäelimet, valtimoveri säädeltä

31

Säteily

- **Ei tarvitse väliainetta**
- Jokainen aine, esine tai kappale lähettää lämpö- eli **infrapunasäteilyä**.
- Infrapunasäteily on näkyvää valoa pitempiaaltoista **sähkömagneettista säteilyä**.
 - esim. lämpölamppu

32

Pinnan vaikutus säteilyyn

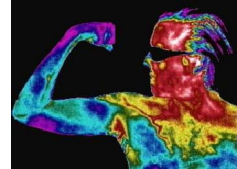
- Mitä tummempi ja karheampi pinta, sitä enempi se säteilee lämpösäteilyä.
- Samoin tumma ja karhea pinta imee eli absorboi enempi lämpöä kuin vaalea ja sileä pinta.
 - esim. termospullon hopeoitu sisäpinta heijastaa lämpösäteilyä takaisin

33

Infrapunakuvaus

• Ihminen lähettää infrapunasäteilyä

- infrapunakuvaus:
 - käytetään kadonneen etsimisessä
 - kasvainten ja tulehdusten paikantaminen
 - rakennusten lämpövuotojen löytäminen
 - pimeällä kuvaus
- Kuvissa lämmin punainen, kylmä sininen



34

Lämpölaajeneminen

Kun lämpötila kasvaa, rakenneosasten lämpöliike kiihtyy. Tällöin osasten välimatka kasvaa. Aine siis laajenee. Aineen jäähtyessä osasten liike heikkenee ja osaset tulevat lähemmäksi toisiaan

Pituuden lämpölaajeneminen:

pituuden muutos lämpötilan muutos

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \text{eli} \quad \Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

alkuperäinen pituus pituuden lämpötilakerroin (taulukosta)

35

Pinta-alan ja tilavuuden laajeneminen

$$A = A_0(1 + \beta \cdot \Delta t) \quad , \text{ jossa } \beta = 2\alpha$$

$$V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta t) \quad , \text{ jossa kiinteille aineille } \gamma = 3\alpha$$

Levyssä oleva tyhjä aukko laajenee samalla tavalla kuin se olisi umpinainen

36

Tehtävä 3-14: Kallen auton teräksinen polttoainesäiliö tankattiin aamulla aivan täyteen. Täytön jälkeen bensaa oli 45,3 litraa. Tankin ja bensiinin lämpötila oli aamulla +15 °C ja iltapäivällä +35 °C, Kuinka paljon bensiini valui maahan, kun autolla ei ajettu lainkaan?
 Bensiinin tilavuuden lämpötilakerroin $= 9,5 \cdot 10^{-4} 1/K$

3-14. Lasketaan bensiinin ja polttoainesäiliön uudet tilavuudet. Koska säiliö on terästä, tilavuuden lämpötilakerroin on $\gamma_v = 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} 1/K$. Bensiinin tilavuuden lämpötilakerroin on $9,5 \cdot 10^{-4} 1/K$. Uudet tilavuudet ovat

$$\text{benssiini: } V_1 = V_0(1 + \gamma_v \Delta T) = 45,3 \text{ dm}^3(1 + 9,5 \cdot 10^{-4} 1/K \cdot 20 \text{ K}) = 46,16 \text{ dm}^3.$$

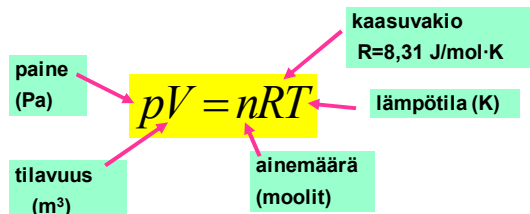
$$\text{säiliö: } V_2 = V_0(1 + \gamma_v \Delta T) = 45,3 \text{ dm}^3(1 + 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} 1/K \cdot 20 \text{ K}) = 45,33 \text{ dm}^3.$$

$$\text{Bensiiniä valui maahan } V_1 - V_2 = 46,16 \text{ dm}^3 - 45,33 \text{ dm}^3 = 0,83 \text{ dm}^3 = 0,83 \text{ l}.$$

37

Kaasujen yleinen tilanyhtälö ("ideaalikaasut")

Jos kaasun tiheys on alhainen, paine matala, lämpötila melko korkea, kaasu käyttäytyy lähes ideaalikaasun tavoin. Ideaalikaasua hallitsee yhtälö



Kaasujen tilanyhtälön käyttö

Sama kaasumäärä
 puristuu, laajenee, lämpenee, jäähtyy

$$\frac{pV}{T} = nR = \text{vakio}$$

Alussa 1 Lopussa 2

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Eri määrät kaasua
 Toisin sanoen moolien määrä muuttuu kaasun poistuessaa tai lisääntyessä

Kaasuera 1:

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1$$

Kaasuera 2

$$p_2 V_2 = n_2 R T_2$$

Erikoistapaukset : joku tekijä vakio

Kaasujen yleinen tilanyhtälö (sama kaasumäärä):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Isokoorinen ($V_1=V_2$):
 (tilavuus pysyy vakiona)

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Isoterminen muutos ($T_1=T_2$):
 (lämpötila pysyy vakiona)

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Isobaarinen muutos ($p_1=p_2$):
 (paine pysyy vakiona)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Hengität talvella -23,0 celsiusasteista kuivaa ilmaa, joka lämpimää isobaarisesti (paine pysyy vakiona) lämpötilaan 37 °C. Kuinka monta prosenttia ilman tilavuus kasvaa? (vesihöyryä ei oteta huomioon)

$$\text{Ulkoima : } T_1 = (273,15 - 23) \text{ K} = 250,15 \text{ K}$$

$$\text{Keuhkoissa : } T_2 = (273,15 + 37) \text{ K} = 310,15 \text{ K}$$

$$\text{paine ulkona ja keuhkoissa sama: } p_1 = p_2 = p$$

$$\frac{p V_1}{T_1} = \frac{p V_2}{T_2} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{310,15 \text{ K}}{250,15 \text{ K}} \approx 1,24$$

V: Ilman tilavuus kasvaa 24 %

Moolit, massa, tiheys ja tilavuus

Moolit n:
 (ainemäärä)

$$n = \frac{m}{M}$$

m = kaasun massa
M = kaasun moolimassa

Tiheys ρ

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

V = kaasun tilavuus

Moolimassa M saadaan kaasumolekyylin rakennekaavasta. Esimerkiksi vesihöyryn H_2O moolimassa on $(2 + 16) \text{ g/mol} = 18 \text{ g/mol}$
 Hapen 32 g/mol .

Tilavuudet saadaan kaasujen tilanyhtälöstä

Nimityksiä

Mooli on ainemäärän n yksikkö. Yhdessä moolissa ainetta on Avogadron luvun $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ määrä ainesosasia (samanlaista atomia, ionia tai molekyyliä)

Moolimassa M on yhden moolin massa yksiköissä g/mol. Saadaan molekyylin kaavasta. CO_2 $M=44$ g/mol

Moolitilavuus $V_m = 22,41$ dm³/mol on yhden kaasumoolin tilavuus normaaliosuhteissa NTP

Esimerkkejä

- Pullossa 1000 g puhdasta happea 200 bar paineessa 20 °C lämpötilassa.
- Kuinka monta moolia siinä on happea?
 - Kuinka suuri on pullon tilavuus?
 - Kuinka suuri on kyseisen happimäärän tilavuus kun normaalipaineisena 101,3 kPa ja 20 °C?
 - Kuinka kauan happimäärä riittää kun potilas hengittää sitä 20 °C lämpötilassa 7,0 litraa minuutissa paineistamattomassa tilassa.

V: a) 31 mol b) 3,8 litraa c) 750 litraa d) 1 h 50 min

Nimityksiä

NTP = Normal Temperature and Pressure
 $T = 273,15$ K $p = 101\,325$ Pa = 1,01325 bar
 Yhden moolin tilavuus on noin 22,414 litraa

STPD = Standard Temperature and Pressure, Dry
 $T = 273,15$ K $p = 101\,325$ Pa kuiva kaasu.
 Käytetään, kun halutaan laskea kaasun massa.
 Tällöin **22,414 litraa on yhden moolin tilavuus.**

BTPS = Body Temperature and Pressure, Saturated
 $T = 310,15$ K, vallitseva paine, kylläinen vesihöyry
 Esimerkiksi keuhkoissa vallitseva tilanne.

Tehtävä 4-10. lasipullossa olevan ilman lämpötila on 25 °C ja paine 102,1 kPa. Pullo suljetaan tiivillä korkilla. Pallo laitetaan pakastimeen, jossa lämpötila on -18 °C. kuinka suuri voima pullon korkkiin kohdistuu, kun korkin pinta-ala on 4,3 cm²? (lasipullon tilavuuden muutosta ei oteta huomioon)

4-10. Koska pullon tilavuus ei muutu, pullossa olevalle ilmalle on voimassa yhtälö

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ josta pullossa olevan ilman paine on}$$

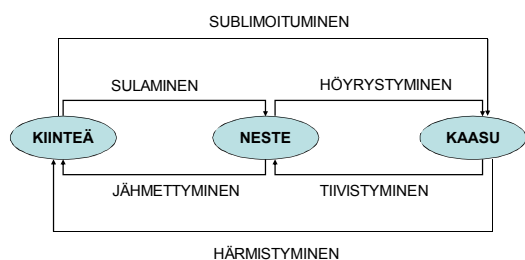
$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{102,1 \text{ kPa} \cdot 255,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \approx 87,375 \text{ kPa}.$$

Korkkiin kohdistuva voima on ulkoisen ilmanpaineen korkkiin kohdistaman voiman F_1 ja pullon sisällä olevasta paineesta aiheutuvan voiman F_2 erotus:

$$F = F_1 - F_2 = p_1 A - p_2 A = (p_1 - p_2) A = (101,3 \text{ kPa} - 87,375 \text{ kPa}) \cdot 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 6,0 \text{ N}.$$

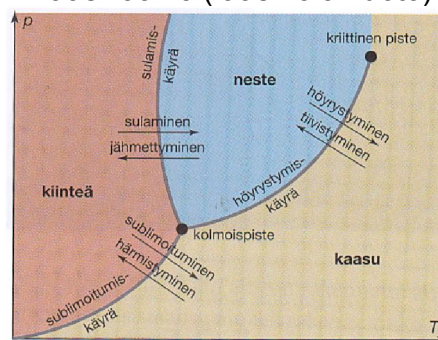
Voiman suunta on pullon päin.

Olomuodon muutokset



47

Faasikaavio (faasi=olomuoto)



kriittistä lämpötilaa korkeammissa lämpötiloissa kaasua ei enää voi nesteyttää

48

Ilman absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

Absoluuttinen kosteus ilmoittaa ilman vesihöyryn tiheyden, siis kuinka monta grammaa vesihöyryä on kuutiometrissä ilmaa.

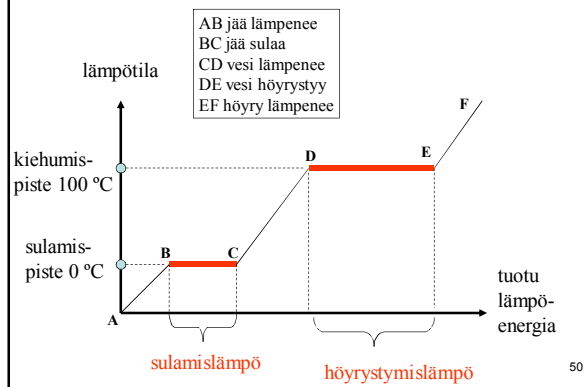
$$\rho_h = \frac{m}{V}$$

Taulukoista löytyy ilman sisältämän maksimaalisen kosteuden. Se riippuu lämpötilasta. Esim +37 °C:ssa ilmassa voi olla enintään 44 g/m³ vesihöyryä.

Suhteellinen kosteus ilmoittaa, kuinka monta % ilmassa on vesihöyryä maksiarvosta kyseisessä lämpötilassa

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h_{\max}}(T)} = \frac{\text{vesihöyryn tiheys}}{\text{vesihöyryn maksimitiheys}}$$

Jään muuttuminen höyryksi



Ominaislämpökapasiteetti c

- Eri aineet tarvitsevat eri määrän lämpöä lämmitäkseen
 - Ominaislämpökapasiteetti c** ilmoittaa, kuinka monta kilojoulea kilogramma ainetta tarvitsee lämmitäkseen yhden asteen
 - esim. vesi 4,19 kJ/kg °C
- Siis 4,19 kilojoulea yhtä kilogrammaa kohti, jotta lämpötila nousisi yhden asteen.

m kilon lämmitys Δt asteella vaatii energiaa Q:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

Aineen sulaminen:

Ominaisulamislämpö s = energiamäärä jouleina, joka tarvitaan sulattamaan 1 kg ainetta

Esim. veden ominaisulamislämpö on 333 kJ/kg
 Siis jääkilon sulatus vaatii 333 kJ energiaa

$$\text{Energia } Q = s \cdot m$$

Aineen höyrystäminen (kiehutus):

Ominaishöyrystyslämpö r = energiamäärä (J), joka tarvitaan höyrystämään 1 kg ainetta

Esim. veden ominaishöyrystyslämpö 2260 kJ/kg
 Sis vesilitran kiehutus kuiviin vaatii 2260 kJ energiaa

$$\text{Energia } Q = r \cdot m$$

Lämpö

Lämpömäärä
 (=lämmittämiseen tarvittava energia tai jäähtymisestä vapautuva energia):

$$Q = C\Delta T = c_p m \Delta T$$

lämpökapasiteetti
 ominaislämpökapasiteetti
 massa

Lämpökapasiteetti C kertoo, kuinka paljon kappaleen lämmittämiseen kuluu energiaa tai kuinka paljon kappale voi luovuttaa energiaa, kun sen lämpötila muuttuu astemäärän

Sulamisen (tai jäähtymisen):

$$Q = sm$$

massa [kg]
 ominaisulamislämpö [J/kg]

Haihtuminen, höyrystyminen (haihtunut energia):

$$Q = rm$$

massa [kg]
 ominaishöyrystyslämpö [J/kg]

Lämpöopin ”pääsäännöt”

Kappaleen sisäenergia U on rakenneosasten liike-energian (lämpöliike) ja potentiaali-energian summa (vuorovaikutusvoimat)

- Pääsääntö:** Sisäenergian muutos on systeemiin lämpönä siirtyneen energian Q ja systeemiin tehdyn työn W summa
 $\Delta U = Q + W$
 (oikeastaan energian säilymlaki)

- Pääsääntö:** Lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan (lämpö virtaa itsestään kuumemmasta kylmempään) (epäjärjestys eli entropia pyrkii kasvamaan itsestään)

Kaasun laajentuessa tekemä työ

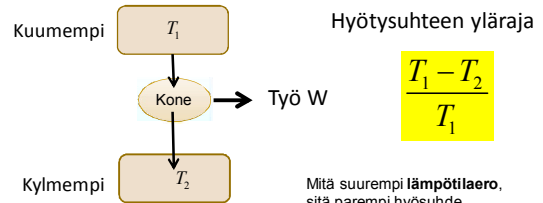
Kun kaasu laajenee paineen pysyessä vakiona, se tekee työtä:

$$W = p \cdot \Delta V = \text{paine} \cdot \text{tilavuuden muutos}$$

Esim. kaasu laajenee 4,0 bar ulkoista painetta vastaan laajentaen tilavuuttaan $0,50 \text{ m}^3 \rightarrow 2,0 \text{ m}^3$.

$$W = p \cdot \Delta V = 400000 \text{ Pa} \cdot 1,5 \text{ m}^3 = 600\,000 \text{ J} = 600 \text{ kJ}$$

Lämpövoimakone muuttaa lämpöenergiaa työksi



Mitä suurempi lämpötilaero, sitä parempi hyötösuhde.

Jos ei ole lämpötilaeroja, lämpöä ei voi muuttaa työksi

Jääkaappi ja lämpöpumppu.

Siirtää lämpöä kylmemmästä kuumempaan ja tarvitsee siihen **ulkoista työtä**

