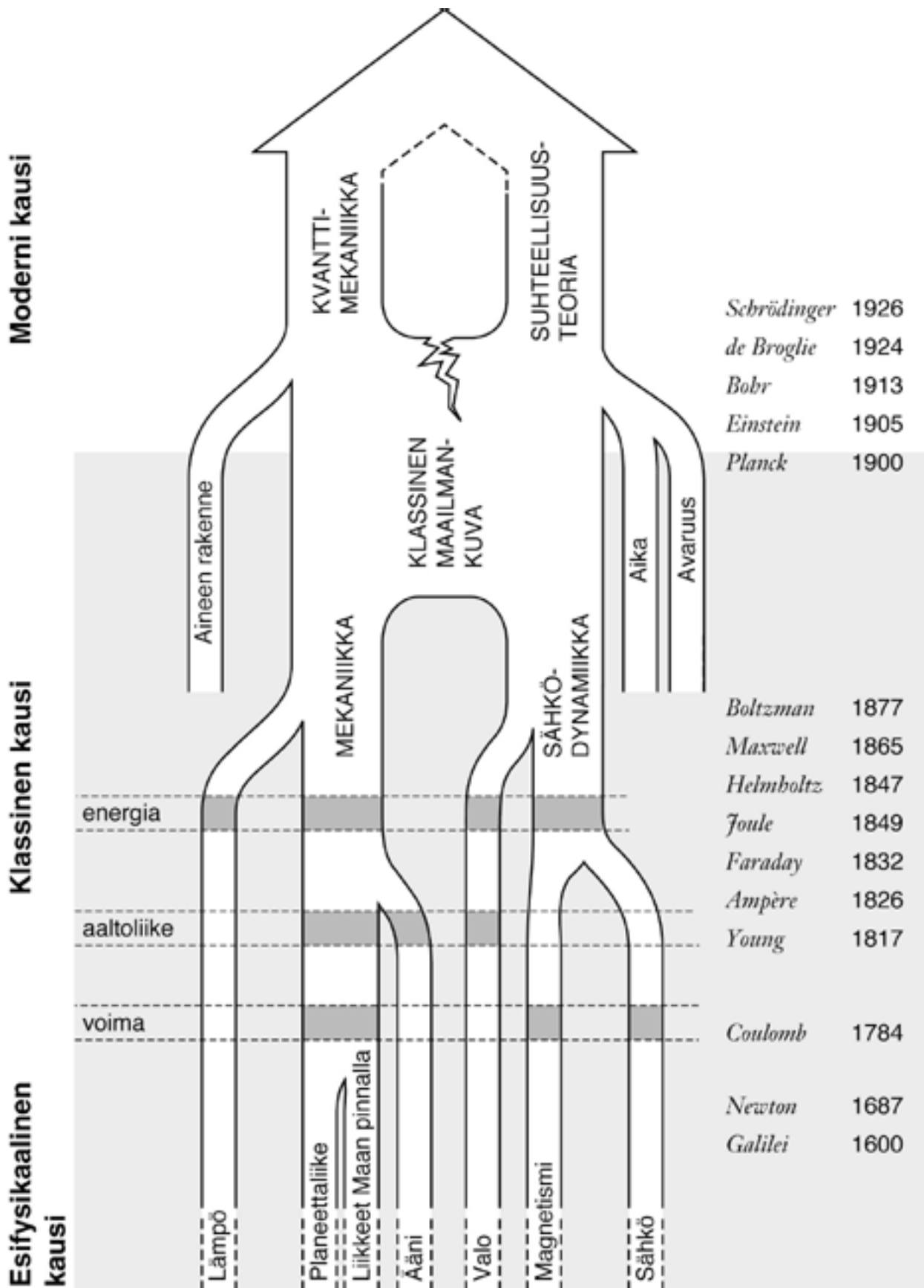


Kurkisuoniolainen fysiikan jatkumo



Physican kurssit

Pakollinen kurssi

Physica 1 Fysiikka luonnontieteenä

Syventävät kurssit

Physica 2 Lämpö

Physica 3 Aallot

Physica 4 Liikkeen lait

Physica 5 Pyöriminen ja gravitaatio

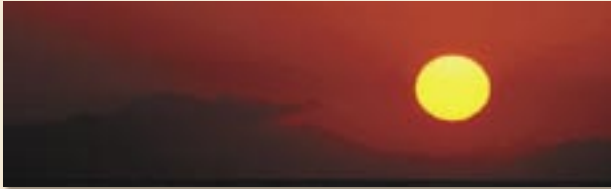
Physica 6 Sähkö

Physica 7 Sähkömagnetismi

Physica 8 Aine ja säteily

Physica 9 Kertaus

Sisällys



Energiaa on kaikkialla **6**



1 Energia ja työ **8**

1.1 Kappaleen mekaaninen energia	8
Potentiaalienergia	8
Liike-energia	10
1.2 Mekaanisen energian säilyminen	12
1.3 Työ on yksi vuorovaikutuksen ilmenemismuoto	16
Työ on energian siirtoa voimien välityksellä.....	16
Yhteenveto	20
Tehtäviä.....	21



2 Työ muuttaa mekaanista energiaa **24**

2.1 Mekaniikan energiaperiaate	24
2.2 Teho on työntekonoisuus	30
Teho	30
Teho ja vauhti	32
2.3 Kone siirtää energiaa lähteestä kohteeseen	34
Yksinkertaisia koneita.....	34
Ihmisen aineenvaihdunnan ominaisteho	37
Mekaaninen energia muuttuu lämpöenergiaksi	37
Yhteenveto	38
Tehtäviä.....	39



3 Lämpötila ja lämpö **42**

3.1 Lämpöopin käsitteitä	42
Lämpötila.....	42
Termodynaaminen systeemi.....	43
Systeemin tila ja tilanmuuttujat	45
Mikro- ja makromallit	45
Sisäenergia	46
Lämpöenergia ja lämpö.....	47
3.2 Lämmön siirtyminen	48
Lämmön johtuminen	48
Lämmön kuljetus.....	49
Lämmön säteily	51
3.3 Lämpölaajeneminen	52
Aineen lämpölaajeneminen.....	52
Pituuden lämpötilakerroin.....	53
Pinta-alan ja tilavuuden lämpötilakerroin	56
Sovelluksia.....	60
Yhteenveto	61
Tehtäviä.....	62



4 Paine **64**

4.1 Voima aiheuttaa paineen	64
Kiinteiden pintojen välinen paine.....	64
Paine nesteissä ja kaasuissa	66
Paineen mikroselitys	66
Ympäröivä paine.....	67
4.2 Aineen oma paino aiheuttaa paineen	69
Ilmanpaine	69
Hydrostaattinen paine	71
Paineen havaitseminen	74
4.3 Paineen mittaaminen ja sen tekniset sovellukset ...	75
Hydrostaattiseen paineeseen perustuvat mittarit.....	75
Muodonmuutokseen perustuvat mittarit.....	77
Sähköiset mittarit	77
Hydrauliikka	78
Pumput	81
Yhteenveto	82
Tehtäviä.....	83



5 Kaasujen tilanyhtälö 86

5.1 Kaasun paine, tilavuus ja lämpötila riippuvat toisistaan 86
 Kaasun paineen ja tilavuuden välinen riippuvuus.....88
 Kaasun paineen ja lämpötilan välinen riippuvuus.....92
 Kaasun tilavuuden ja lämpötilan välinen riippuvuus.....96

5.2 Ideaalikaasun tilanyhtälö yhdistää kaasulait..... 99

5.3 Kineettinen kaasuteoria selittää kaasulait..... 103
 Lämpöliike..... 103
 Ideaalikaasu..... 104
 Kaasulakien mikroskooppinen selitys..... 104
 Yhteenveto..... 107
 Tehtäviä..... 108



6 Lämpö ja olomuoto 112

6.1 Lämpö on siirtyvää energiaa 112
 Ominaislämpökapasiteetti..... 113
 Kappaleen lämpökapasiteetti..... 115
 Veden suuri ominaislämpökapasiteetti..... 117

6.2 Kiinteä, neste ja kaasu – aineen olomuodot..... 120
 Latenttilämpö..... 121
 Ominaissulamislämpö..... 122
 Ominaishöyrystymislämpö..... 122
 Olomuodon muutoksen mikroskooppinen malli..... 123

6.3 Faasikaaviot..... 126
 Faasikaaviot..... 126
 Höyrinpaine..... 128
 Ilmankosteus..... 131
 Yhteenveto..... 133
 Tehtäviä..... 134



7 Lämpöopin pääsäännöt 138

7.1 Lämpö ja työ muuttavat sisäenergiaa..... 138
 Laajenevan kaasun tekemä työ..... 142

7.2 Kaikkea lämpöä ei voi muuttaa työksi..... 143
 Feynmanin kumilankakone..... 144
 Lämpövoimakoneen periaate..... 144
 Lämpöopin toinen pääsääntö..... 149
 Energian huononeminen..... 149

7.3 Entropia kuvaa systeemin järjestystä..... 150
 Energian huononeminen ja entropia..... 151
 Mahdottoman prosessin mikroskooppinen selitys..... 152
 Kolmas pääsääntö..... 152
 Yhteenveto..... 153
 Tehtäviä..... 154



8 Energia ja yhteiskunta 156

8.1 Energiavarat..... 156
 Energialähteet..... 157
 Polttoaineet..... 157
 Uusiutuvat ja uusiutumattomat energialähteet..... 158
 Energiantuotannon tulevaisuus..... 158
 Voimalaitokset..... 159
 Energian siirto..... 162
 Energian käyttö..... 162

8.2 Lämpöpumppu siirtää lämpöä..... 164
 Jäähdytyskone..... 164
 Jääkaappi..... 165
 Ilmastointilaitte..... 165
 Lämpöpumppu..... 166

8.3 Lämpö ja asuminen..... 168
 Lämmön johtuminen..... 168
 Eristäminen..... 171
 Talojen lämmittäminen..... 173
 Kasvihuoneilmion voimistuminen..... 175
 Yhteenveto..... 176
 Tehtäviä..... 177

Kertaustehtäviä..... 179
 Tehtävien vastaukset..... 183
 Hakemisto..... 185
 Valokuvien lähteet..... 187

Potentiaalienergia

Kappaleen potentiaalienergia

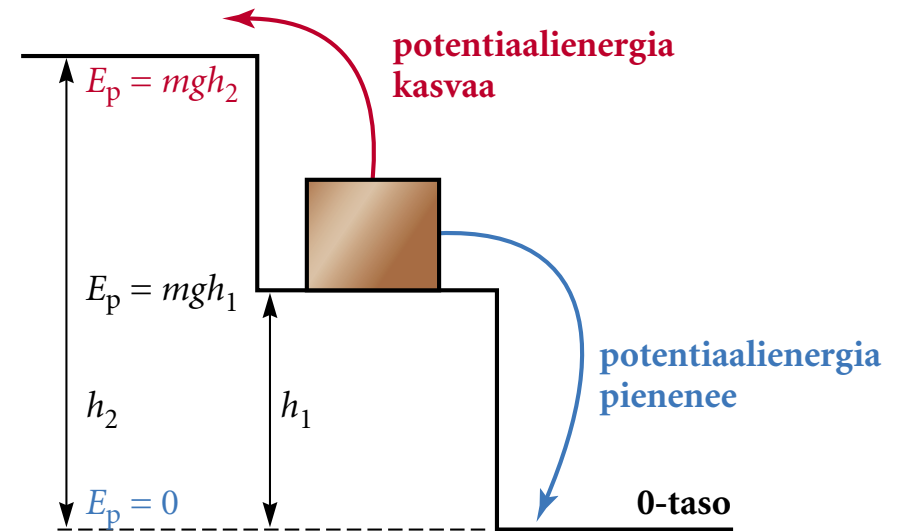
$$E_p = mgh,$$

jossa

m on kappaleen massa,

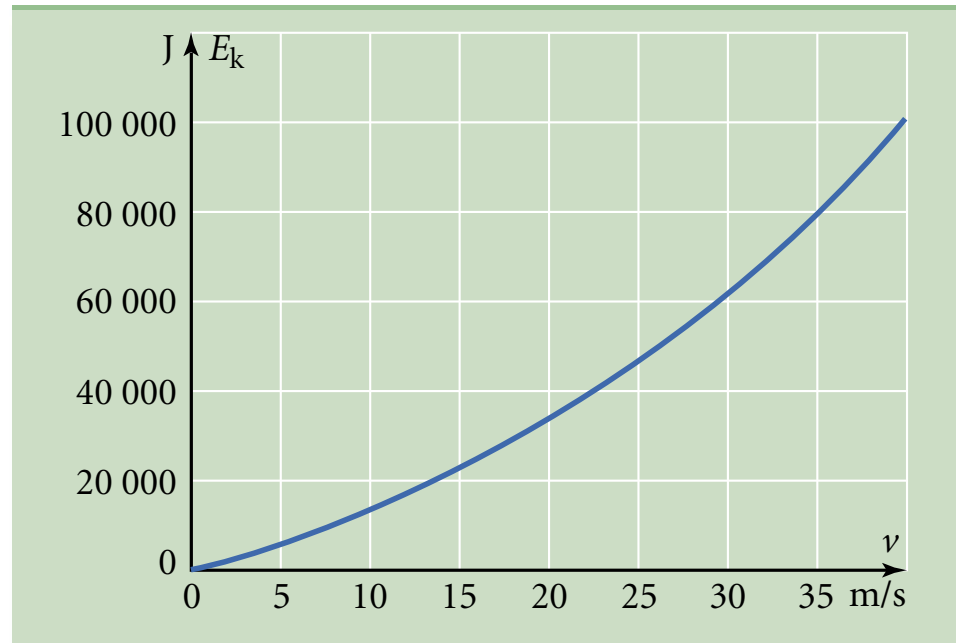
g on putoamiskiihtyvyys ja

h on kappaleen etäisyys vertailutasosta eli nolatasosta.



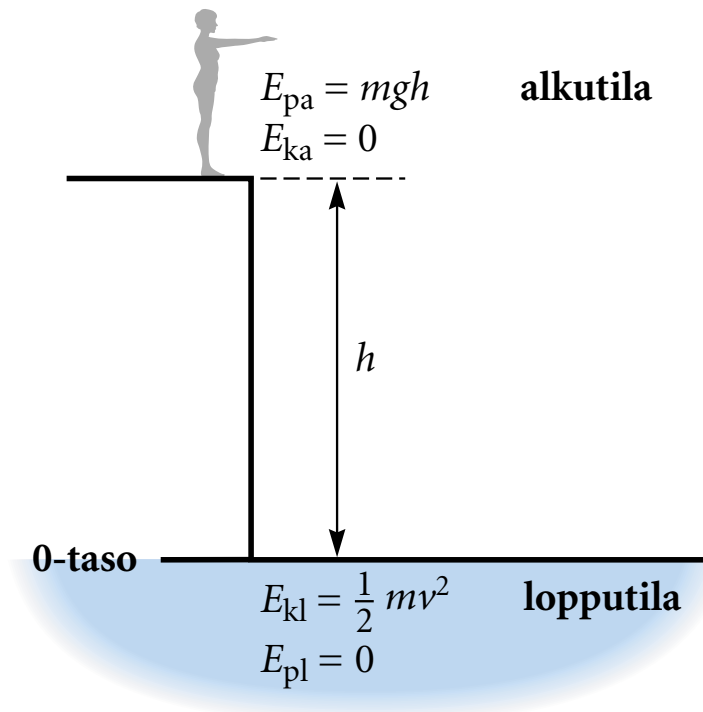
▲ Potentiaalienergia kasvaa, kun kappaletta nostetaan, ja pienenee, kun sitä lasketaan.

Liike-energian kasvu



▲ Kun kelkan nopeus kaksinkertaistuu, niin liike-energia nelinkertaistuu, koska liike-energia on verrannollinen nopeuden toiseen potenssiin.

Uimahyppääjän energia

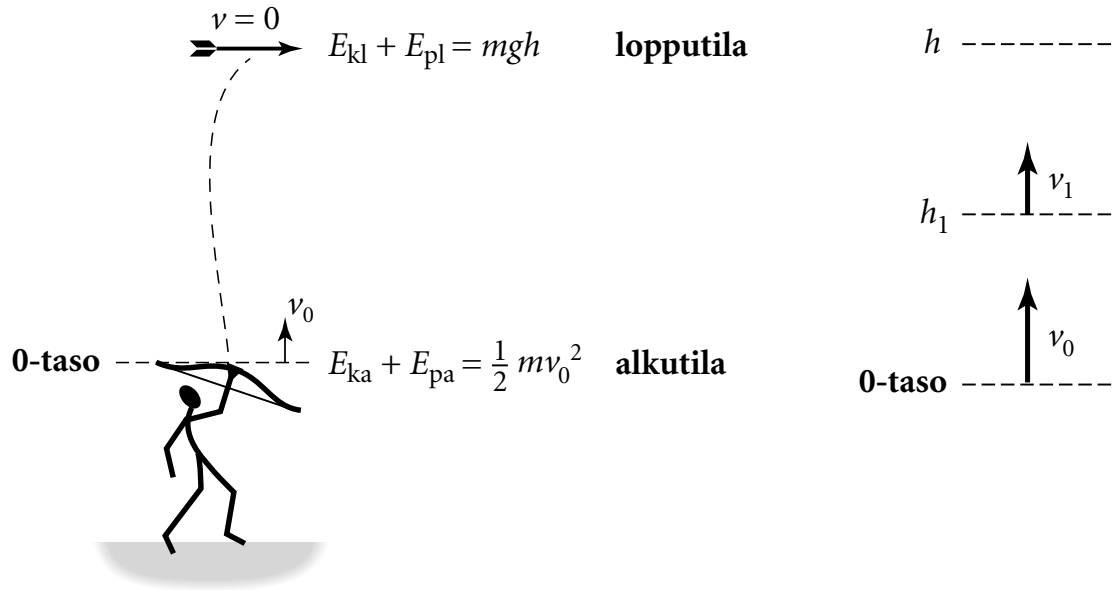


- ▲ Hypyn aikana hyppääjän potentiaalienergia pienenee ja liike-energia kasvaa. Potentiaalienergiaa merkitään alkutilassa E_{pa} ja lopputilassa E_{pl} . Liike-energiaa vastaavasti E_{ka} ja E_{kl} .

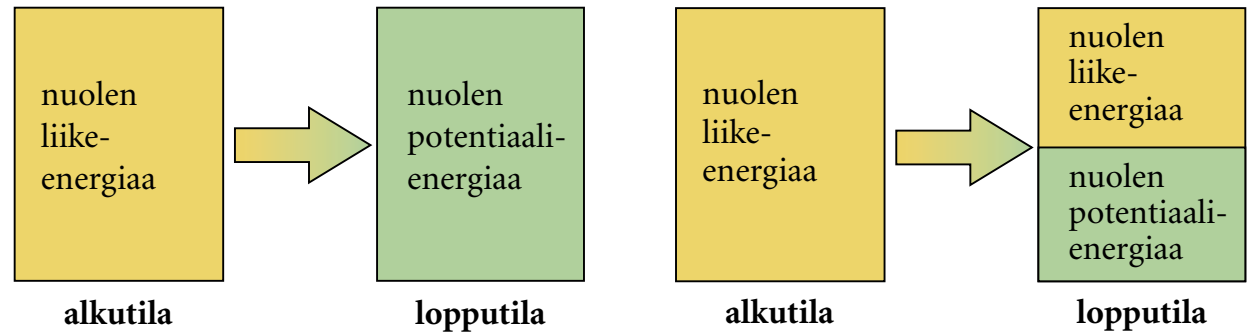
Esimerkki 2

Nuolen lähtönopeus jousesta on 21 m/s.

- a) Kuinka korkealle lähtökohdastaan suoraan ylöspäin ammuttu nuoli nousee, jos ilmanvastus on merkityksettömän pieni?
- b) Mikä nuolen nopeus on puolivälissä matkalla lakipisteeseen?



► Alussa nuolella on vain liike-energiaa ja lopussa, lentoradan korkeimmassa kohdassa hetkellisesti vain potentiaalienergiaa.



Voiman tekemä työ

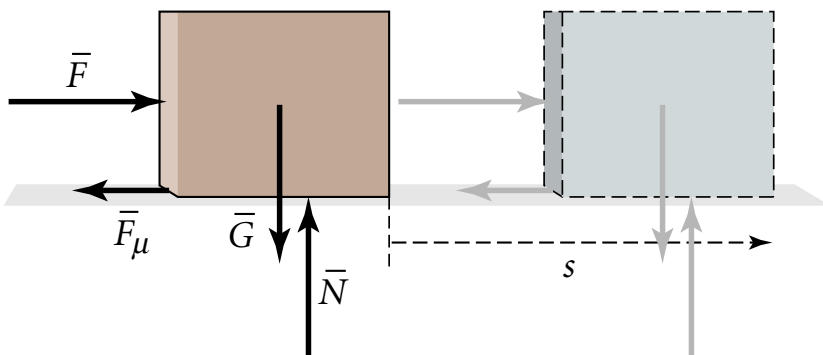
Vakiovoiman tekemä työ

$$W = F\Delta x,$$

jossa

F on kappaleeseen vaikuttava voima ja

Δx on siirtymä voiman vaikutussuunnassa.



Työn merkkisäännöt

Voiman tekemä työ on

- **positiivinen**, jos liikkeen suunta ja voima ovat samansuuntaiset

$$W = Fs,$$

- **negatiivinen**, jos liikkeen suunta ja voima ovat vastakkaisuuntaiset

$$W = -Fs,$$

- **nolla**, jos liikkeen suunta ja voima ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan

$$W = 0.$$

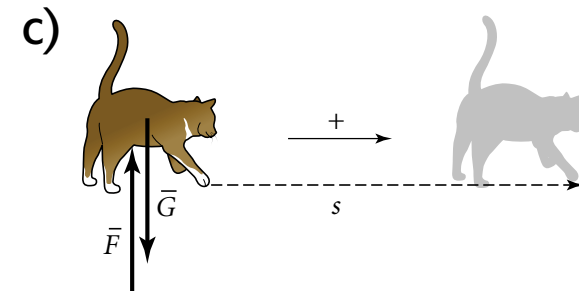
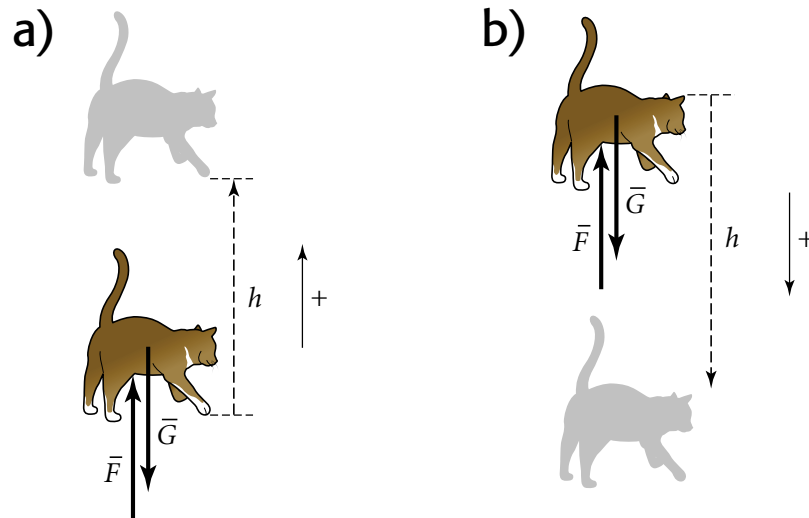
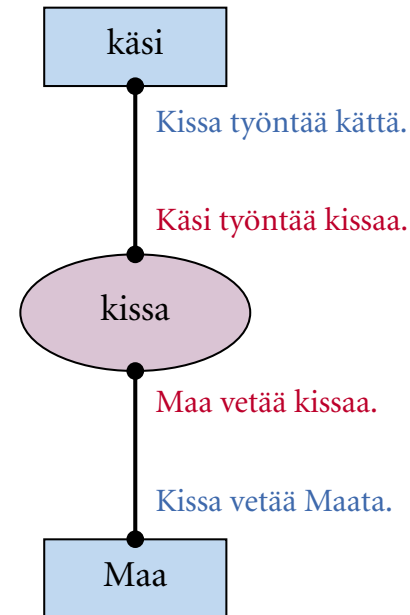
◀ Voima F tekee positiivisen työn ja kitkavoima F_μ negatiivisen työn. Siirtymä Δx on sama kuin matka s .

Esimerkki 2

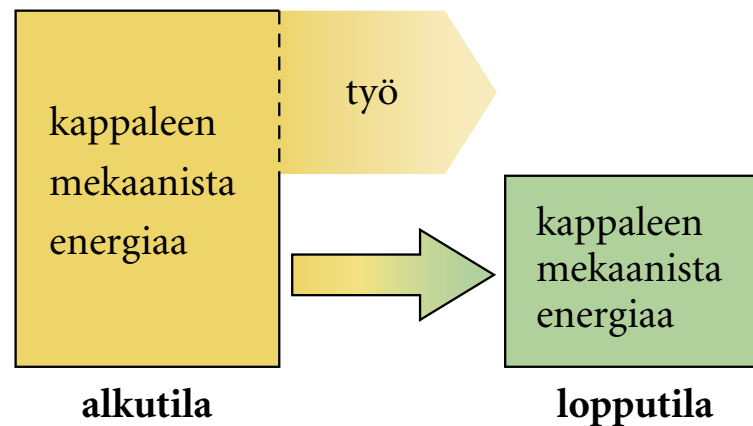
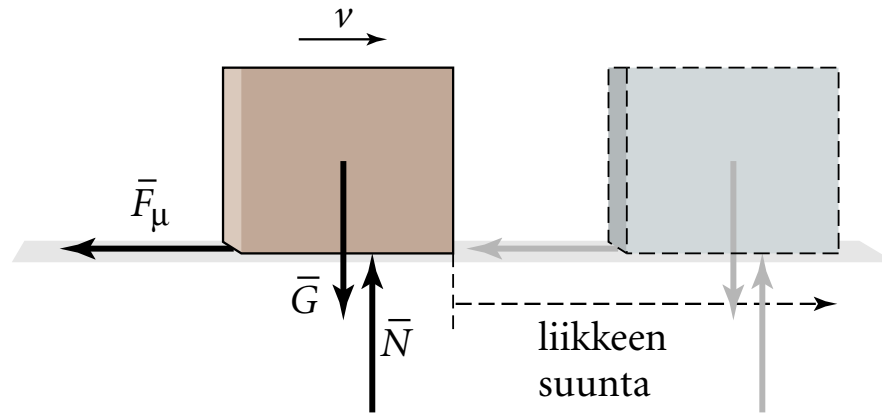
Lapsi kannattelee kissaa käsissään. Kissan massa on 3,5 kg. Kuinka suuren työn kissaa kannatteleva voima tekee, kun kissa

- nostetaan 95 cm korkealle pöydälle,
- lasketaan pöydältä lattialle,
- kannetaan sylissä 3,5 metrin matka?
- Miten kissan liike- ja potentiaalienergiat muuttuvat edellisissä kohdissa?

vuorovaikutuskaavio

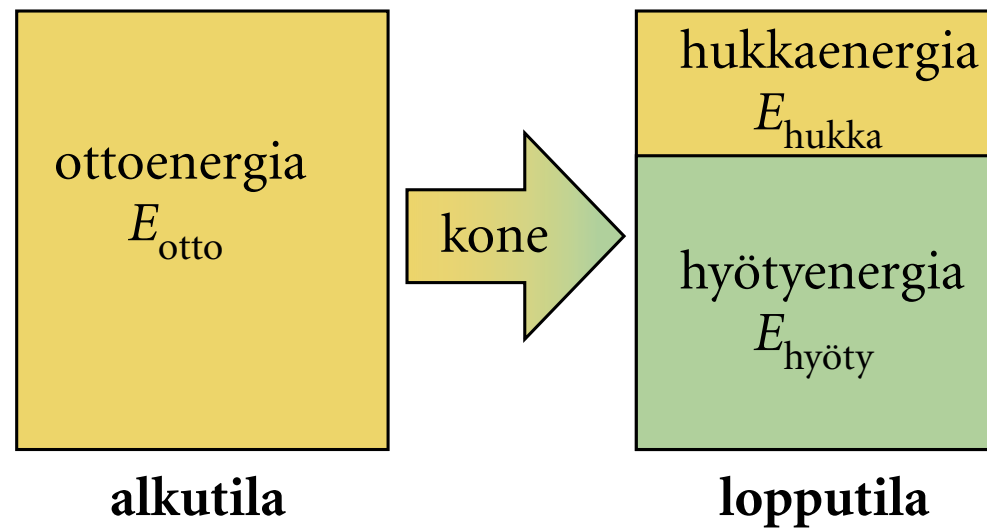


Energia- ja voimakaavio



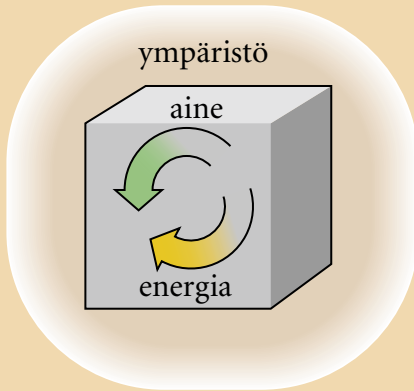
▲ Kitkattyö pienentää kappaleen mekaanista energiaa.

Koneen energiakaavio



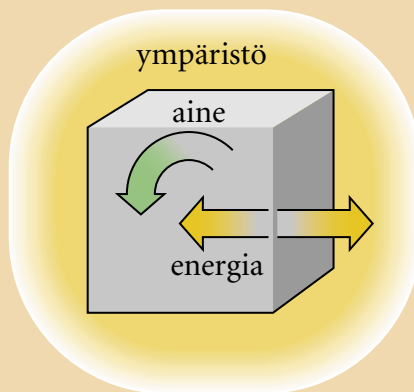
Eristetty, suljettu ja avoin systeemi

Eristetty systeemi



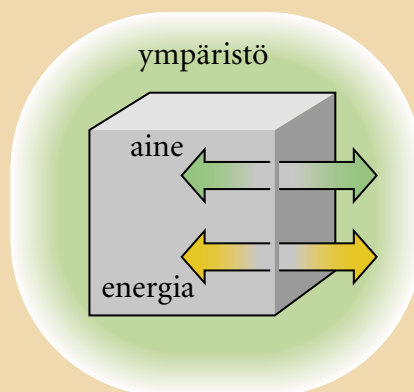
Termodynaaminen systeemi on **eristetty**, jos se ei ole lainkaan vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa.

Suljettu systeemi



Termodynaaminen systeemi on **suljettu**, jos se vaihtaa ympäristönsä kanssa energiaa mutta ei ainetta.

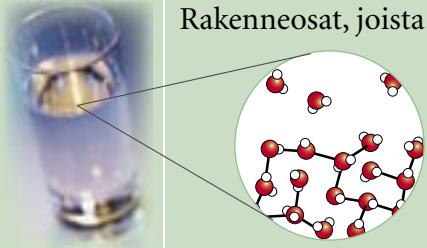
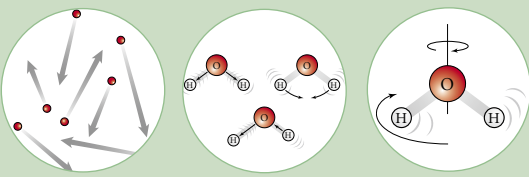
Avoin systeemi



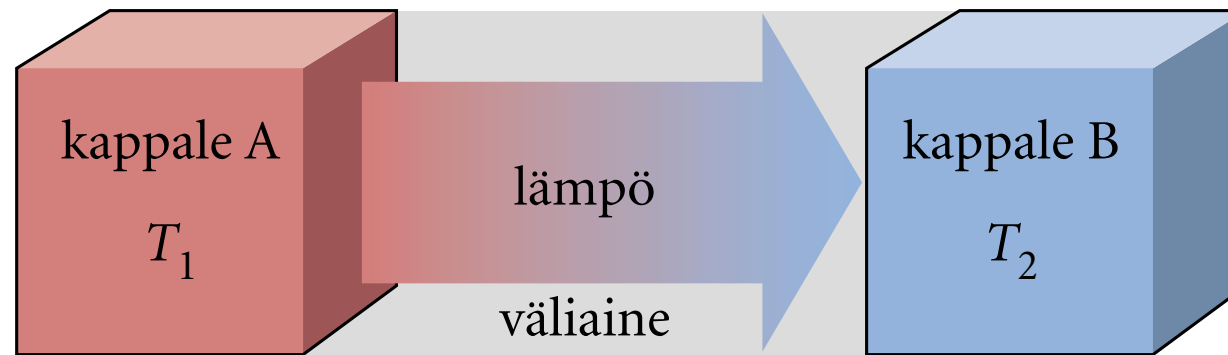
Systeemi on **avoin**, jos sekä aineen että energian vaihto ympäristön kanssa on mahdollista.



Mikro- ja makrotaso

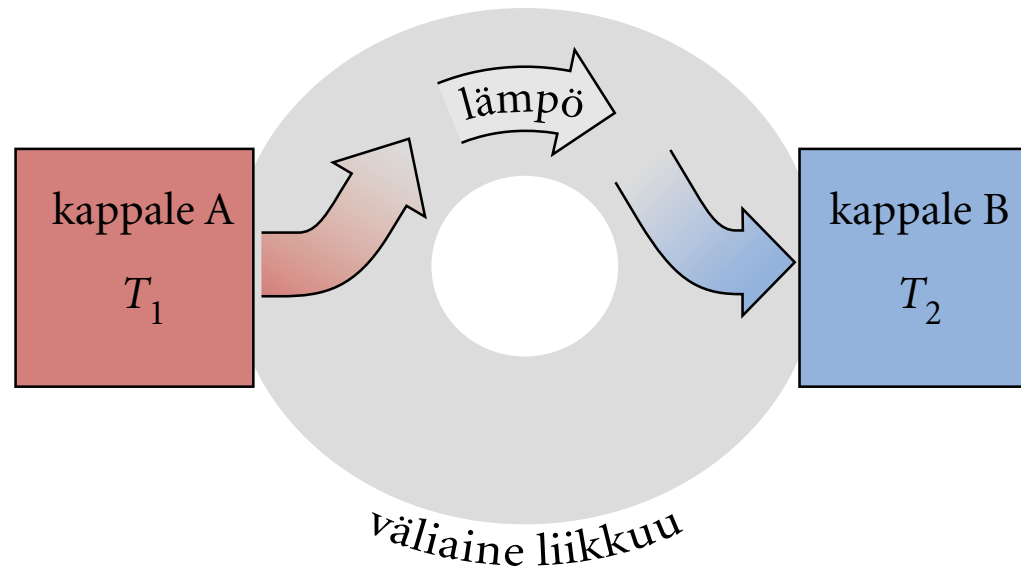
	makrotaso	mikrotaso
tarkastelun kohde	tutkittava aine tai systeemi kokonaisuutena 	Rakenneosat, joista aine koostuu.
tilaa kuvaavat suureet	paine lämpötila ainemäärä tilavuus	Liike-energiat: etenevien, värähtelevien ja pyörivien rakenneosien energiat  Potentiaalienergiat: aineen rakenneosien sisäiset ja rakenneosien väliset energiat
sisäenergia	Sisäenergia riippuu paineesta, tilavuudesta ja lämpötilasta.	Sisäenergia on rakenneosien kaikkien energioiden summa.
lämpöenergia		Lämpöenergia on liike-energioiden osuus sisäenergiasta.
lämpö	Lämpö on siirtyvää energiaa.	Lämpö on siirtyvää energiaa.

Lämmön johtuminen



- ▲ Lämpö tarvitsee väliaineen, jotta se voi siirtyä johtumalla systeemiin.

Lämmön kuljetus



- ▲ Lämpö sitoutuu aineeseen ja kulkeutuu sen mukana pitkiäkin matkoja.

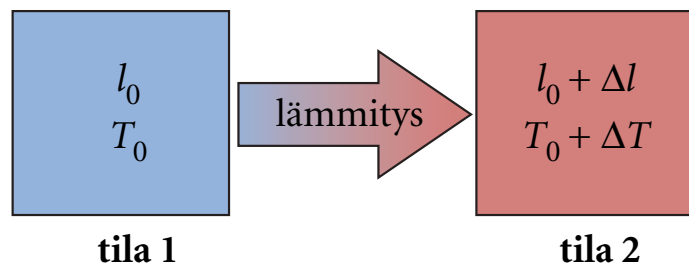
Lämpötilan muutoksesta johtuva pituuden muutos

Lämpötilan muutoksesta johtuva pituuden muutos

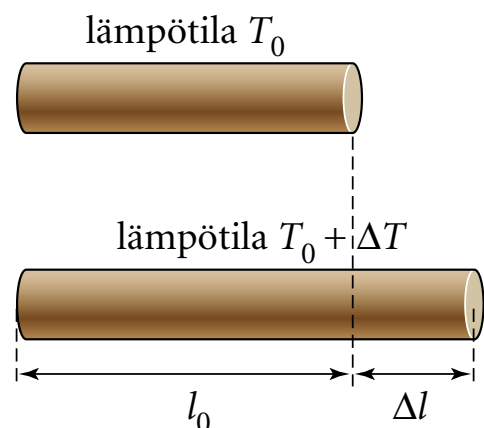
$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T,$$

jossa

α on pituuden lämpötilakerroin,
 l_0 on alkuperäinen pituus ja
 ΔT on lämpötilamuutos.



► Metallitankojen tapauksessa lämpötilan lisäys kasvattaa tangon pituutta, ja vastaavasti jäähdyttäminen lyhentää tankoa.



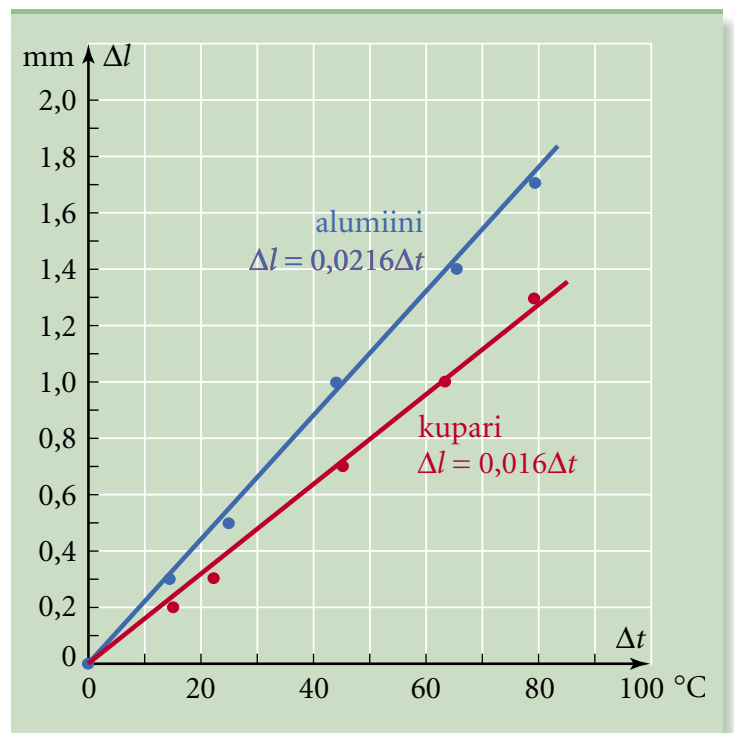
Esimerkki 1

Opiskelijat mittasivat lämpötilan vaikutusta metalliputken pituuteen. Tutkimus tehtiin kahdella eri metallista valmistetulla putkella joiden pituus aluksi oli 950 mm. Tulokset taulukoitiin ja niistä piirrettiin kuvaaja taulukkolaskentaohjelman avulla.

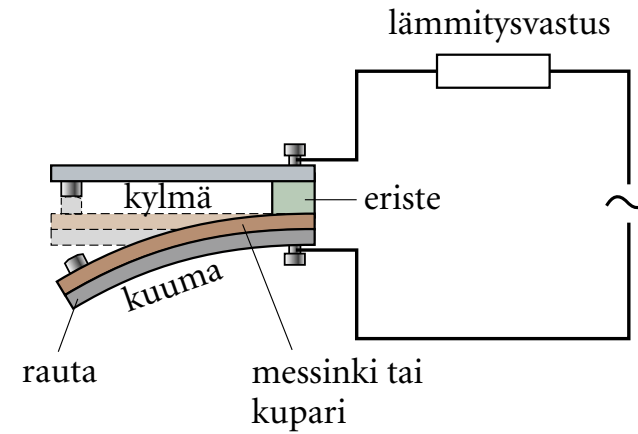
- a) Mitä kuvaajasta huomataan?
- b) Määritä mittaustulosten avulla kuparin pituuden lämpötilakertoimen arvo.

lämpötila t (°C)	lämpötilan muutos Δt (°C)	Al pituuden muutos Δl (mm)
21,0	0	0
35,0	14,0	0,3
45,4	24,4	0,5
64,8	43,8	1,0
86,2	65,2	1,4
100,0	79,0	1,7

lämpötila t (°C)	lämpötilan muutos Δt (°C)	Cu pituuden muutos Δl (mm)
21,0	0	0
34,2	14,2	0,2
42,9	21,9	0,3
66,1	45,1	0,7
83,8	62,8	1,0
100,0	79,0	1,3



Kaksoismetalliliuska



Pinta-alan ja tilavuuden lämpölaajeneminen

Pinta-alan lämpölaajeneminen

Pinta-alan lämpölaajeneminen

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T,$$

jossa

A_0 on alkuperäinen pinta-ala,

β on pinta-alan lämpötilakerroin ja

Δt on lämpötilan muutos.



Tilavuuden lämpölaajeneminen

Tilavuuden lämpölaajeneminen

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta t,$$

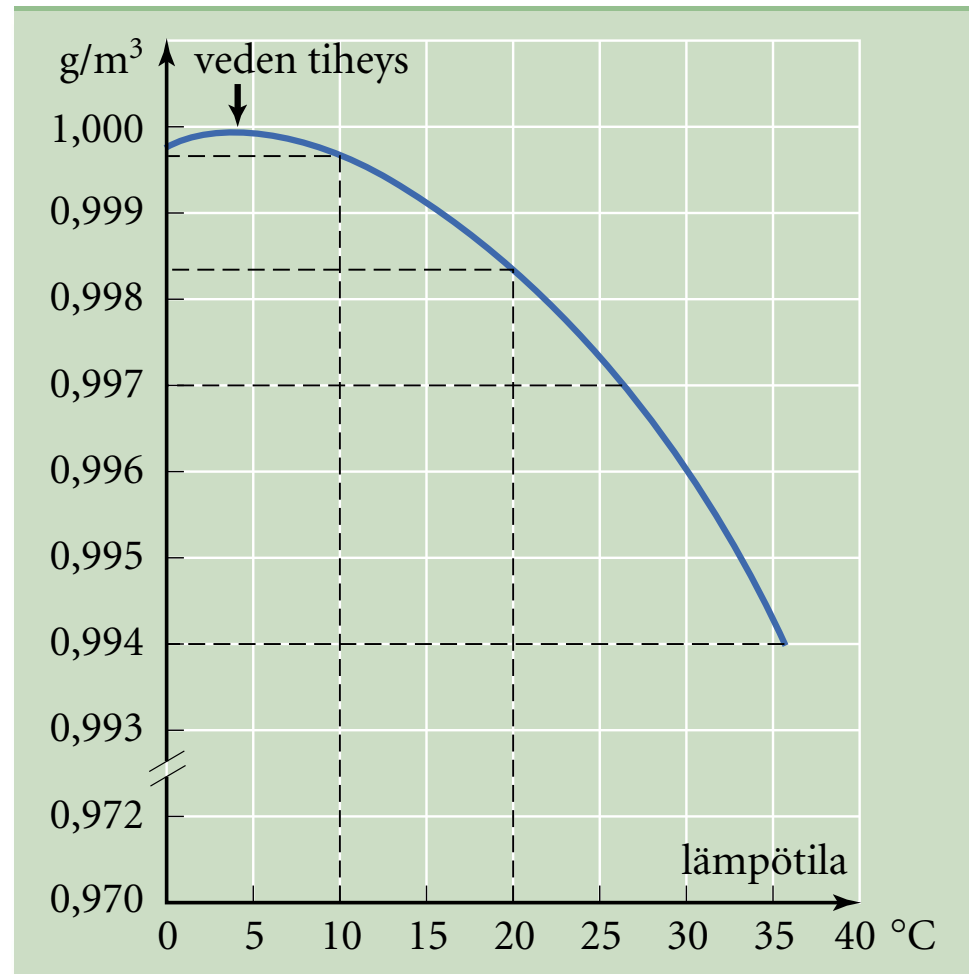
jossa

V_0 on alkuperäinen tilavuus,

γ on tilavuuden lämpötilakerroin ja

Δt on lämpötilan muutos.

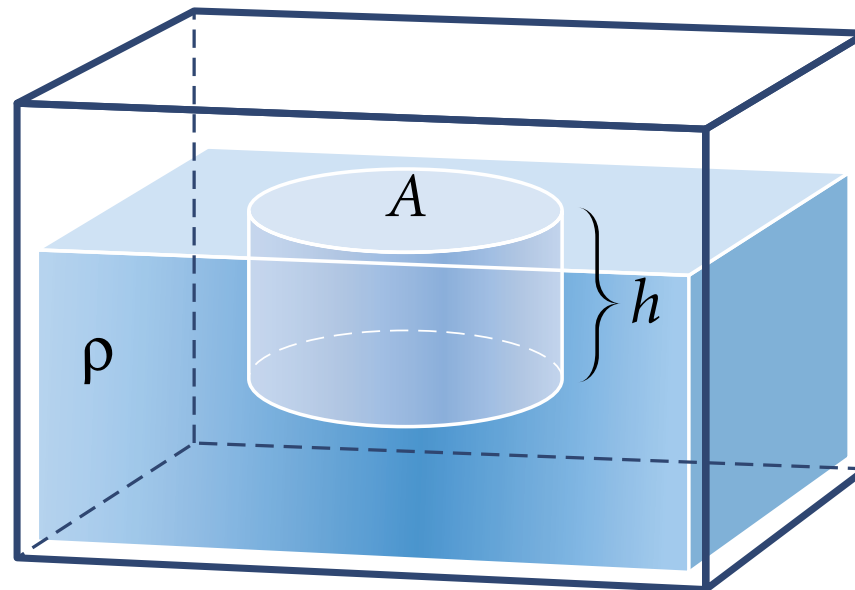
Veden tiheys eri lämpötiloissa



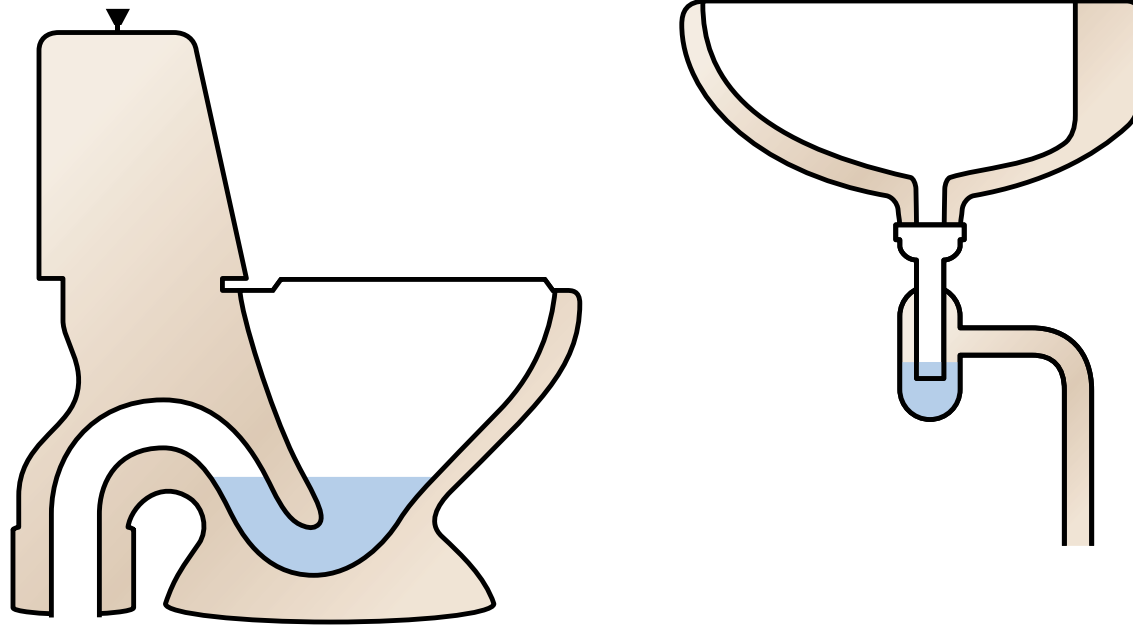
Paineen muita yksiköitä

ilmakehä	(atm)	1 atm	101 325 Pa
baari	(bar)	1 bar	100 000 Pa
elohopea- millimetri	(mmHg)	760 mmHg	1 atm

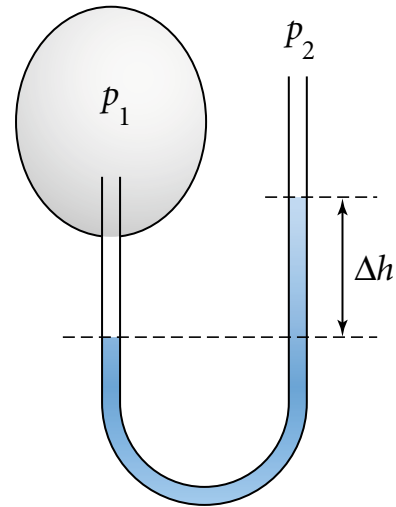
Hydrostaattisen paineen johtaminen



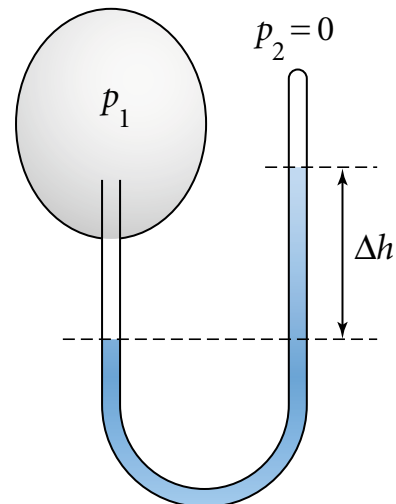
Hajulukko



U-putkimanometrit

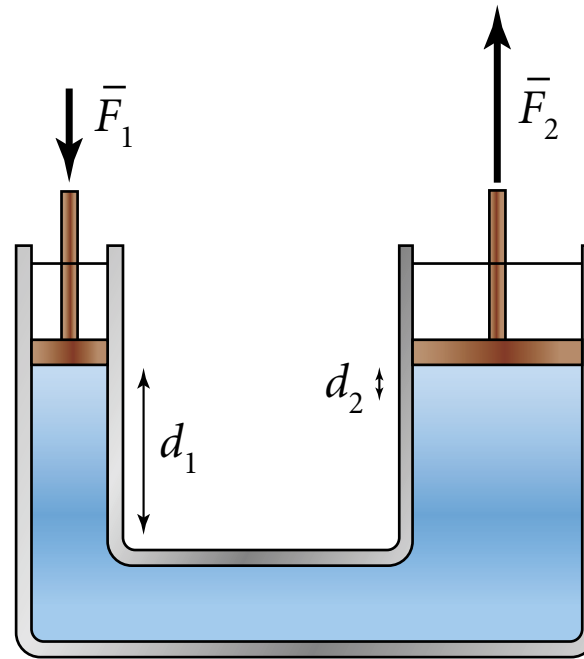


◀ Avoin U-putkimanometri.



◀ Suljettu U-putkimanometri.

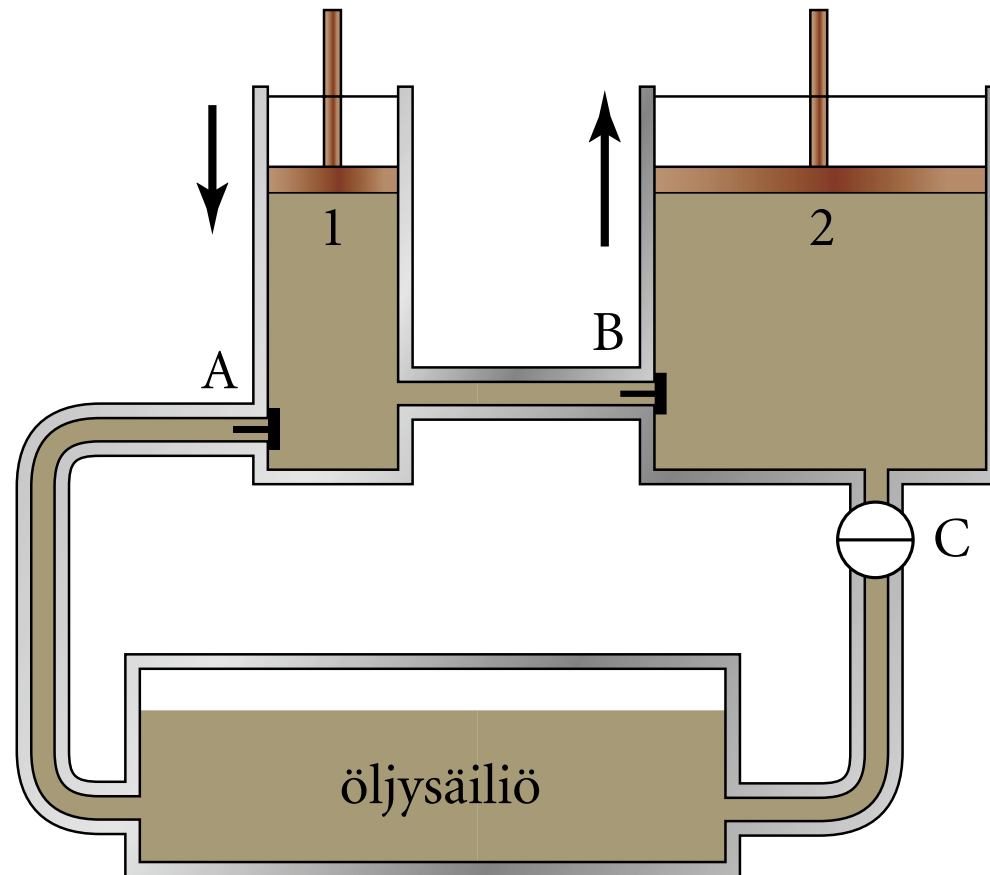
Hydrauliikan periaate



- ▲ Jos hydraulisessa laitteessa männät eivät ole yhtä suuret, suurempaan mäntään kohdistuva voima on suurempi kuin voima, jolla pientä mäntää painetaan. Suurempi mäntä liikkuu lyhyemmän matkan kuin pieni mäntä.

Esimerkki 2

Kuvassa on esitetty hallitunkin eli käsikäyttöisen hydraulisen nosturin periaate.

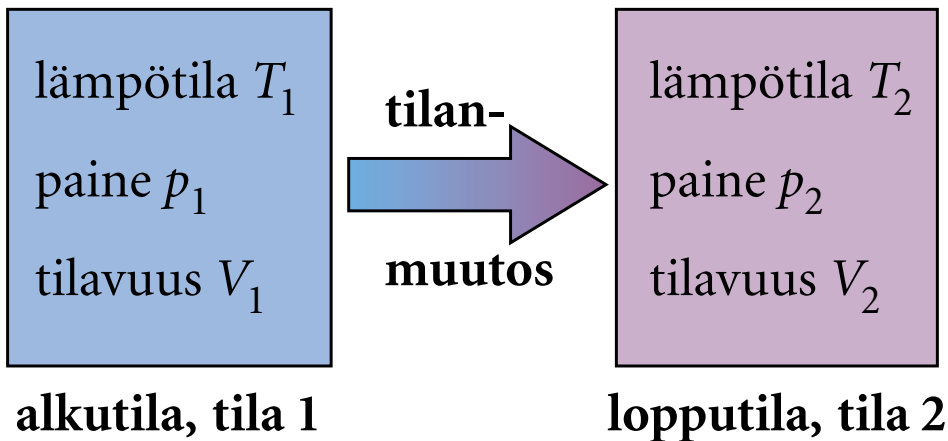


Kaasun tilanmuuttajat

Kaasun tilanmuuttajat

Kaasun tilanmuuttajat suljetussa systeemissä ovat

- tilavuus V
 - paine p
 - absoluuttinen lämpötila T .
- Kaksi niistä määrää kolmannen.



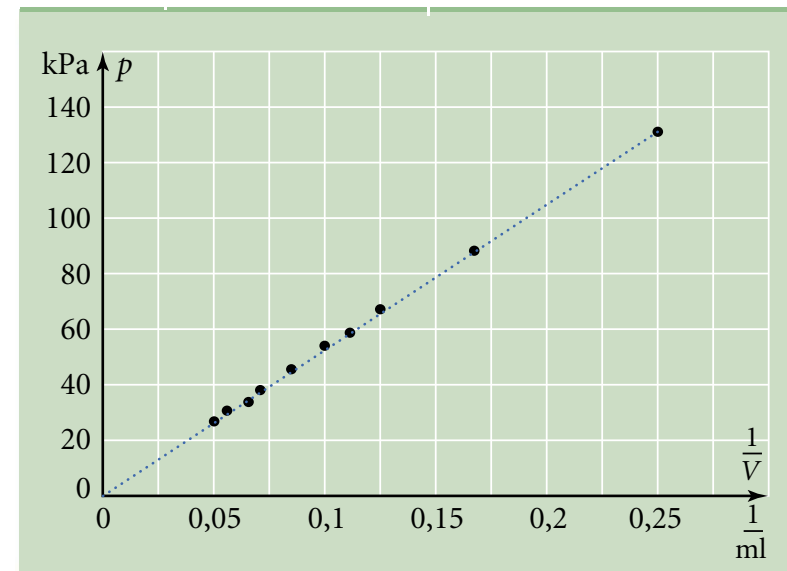
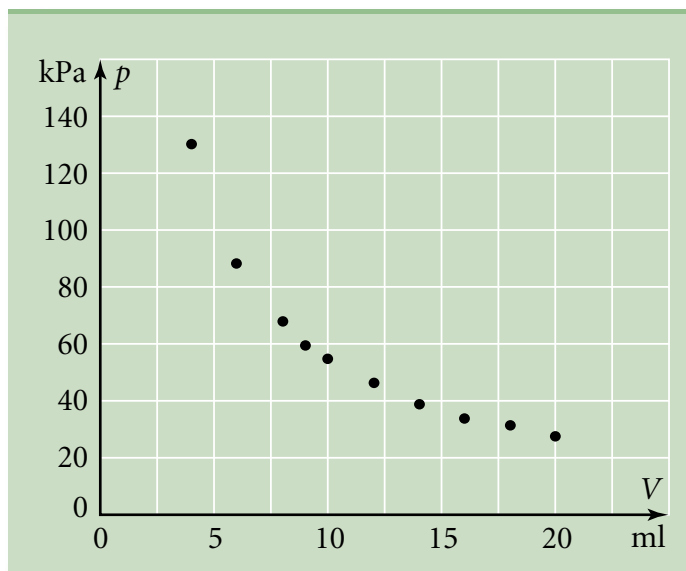
Kaasun paineen riippuvuus tilavuudesta ja tilavuuden käänteisarvosta

Kaasun paineen riippuvuus tilavuudesta.

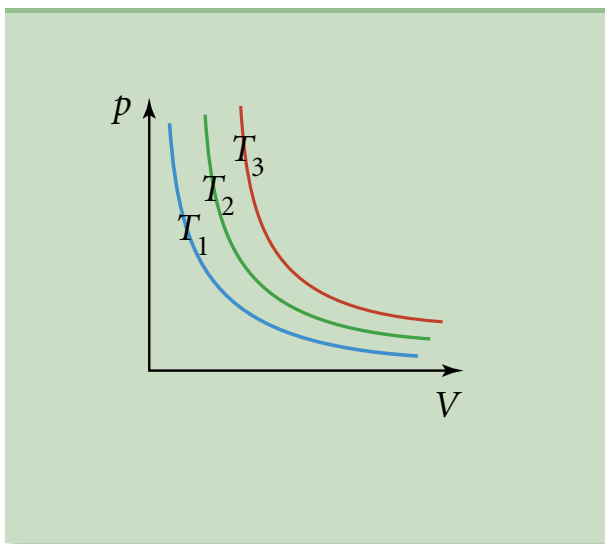
tilavuus (ml)	paine (kPa)	tilavuus (ml)	paine (kPa)
4	130,4	12	45,2
6	87,3	14	39,1
8	67,5	16	34,3
9	59,4	18	31,1
10	54,1	20	27,4

Kaasun paineen riippuvuus tilavuuden käänteisarvoista.

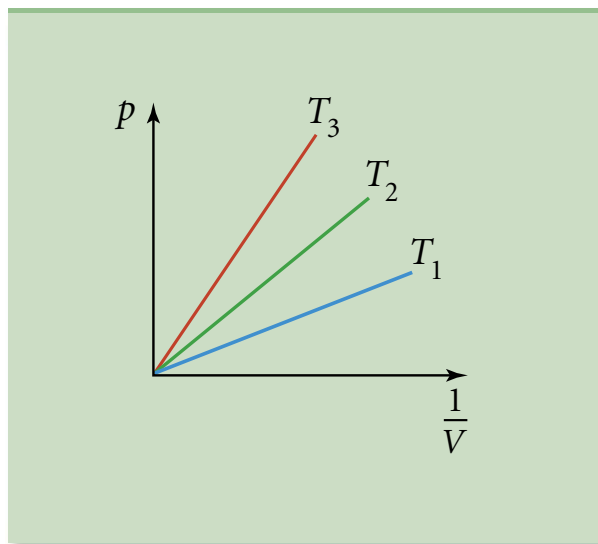
$\frac{1}{V}$ ($\frac{1}{ml}$)	paine (kPa)	$\frac{1}{V}$ ($\frac{1}{ml}$)	paine (kPa)
0,25	130,2	0,083	45,2
0,167	87,3	0,071	39,1
0,125	67,5	0,066	34,3
0,111	59,4	0,056	31,1
0,100	54,1	0,050	27,4



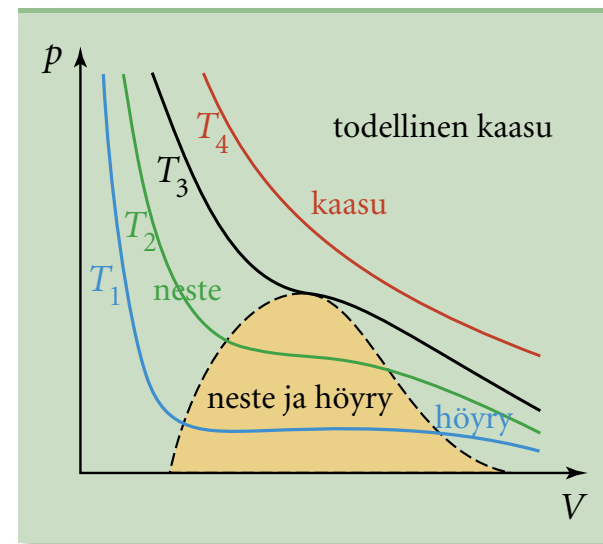
Ideaalikaasun isotermejä eri koordinaatistoissa



Ideaalikaasun isotermejä eri lämpötiloissa ($T_1 < T_2 < T_3$) Vp -koordinaatistossa.

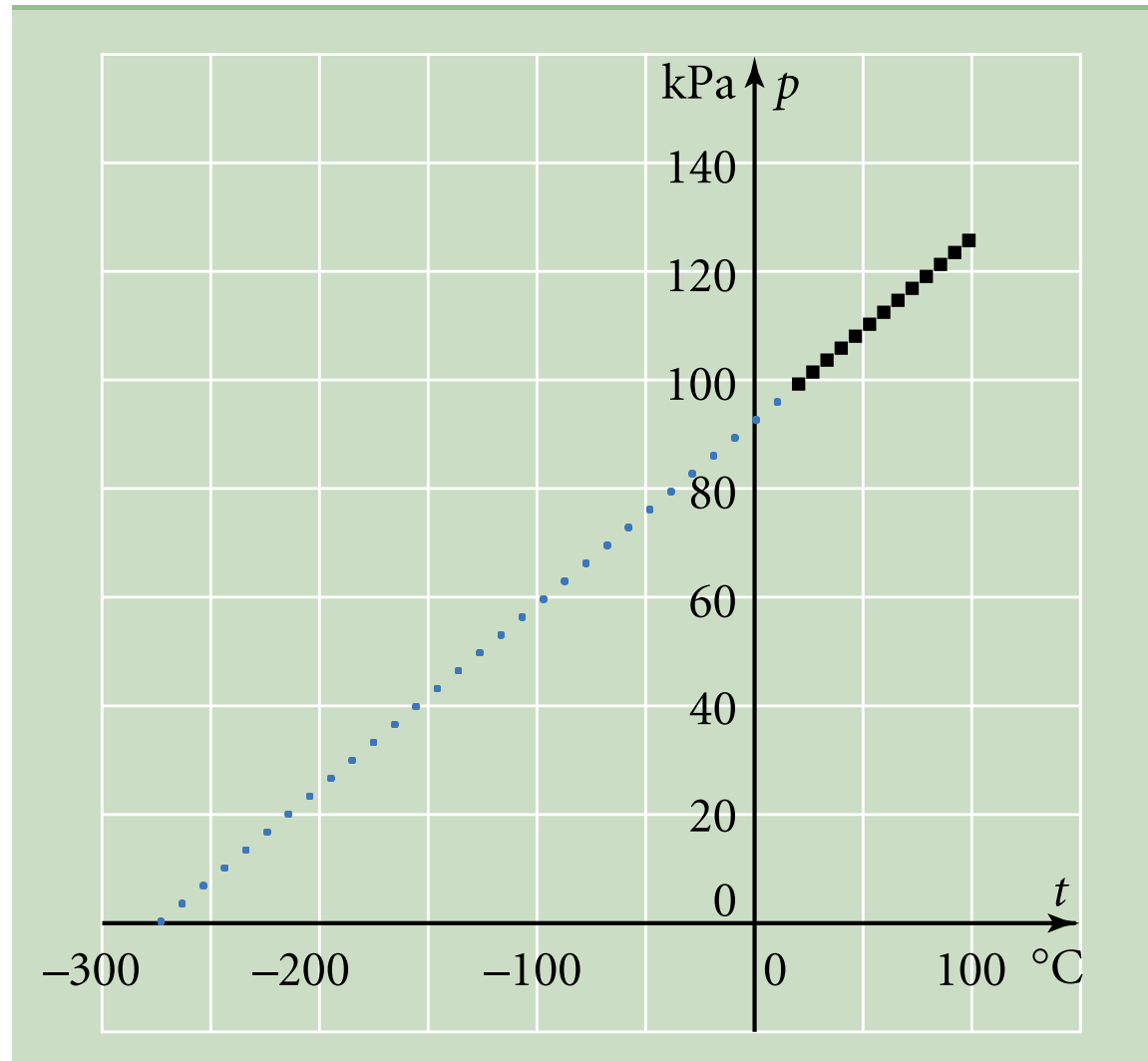


Samat isotermit $\frac{1}{V}p$ -koordinaatistossa. Suorat ovat sitä jyrkempiä, mitä korkeammassa lämpötilassa Boylen koe on tehty.

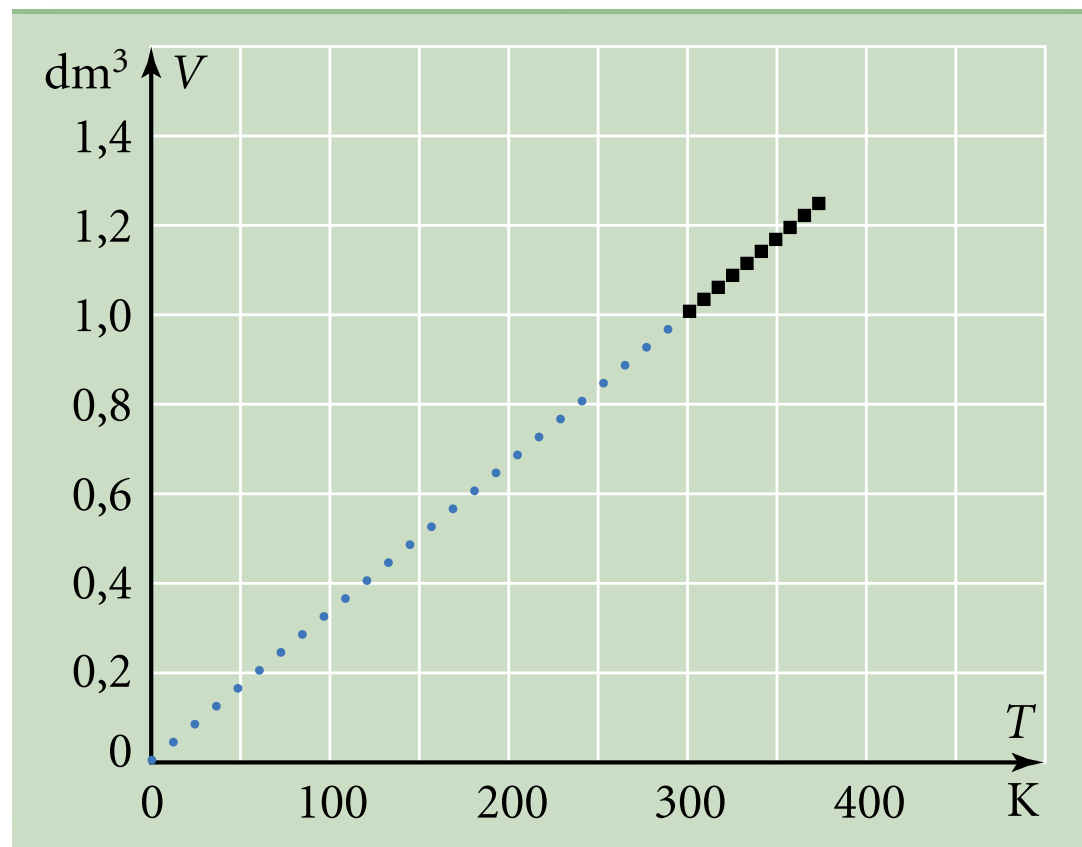


Isotermistä T_4 havaitaan, että lämpötilan ollessa riittävän korkea todellinen kaasu noudattaa Boylen lain mukaista ideaalikaasun käyttäytymistä. Matalammassa lämpötilassa todellinen kaasu nesteytyy ja lopulta jähmettyy eikä noudata enää Boylen lakia.

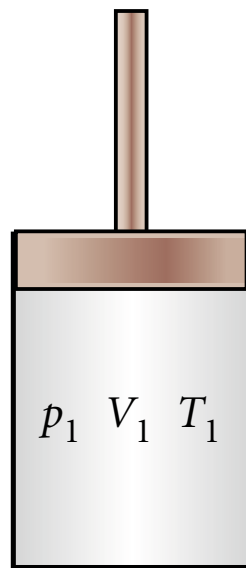
Kaasun paineen riippuvuus lämpötilasta



Kaasun tilavuuden riippuvuus lämpötilasta



Kaasun tilanmuutos vaiheittain

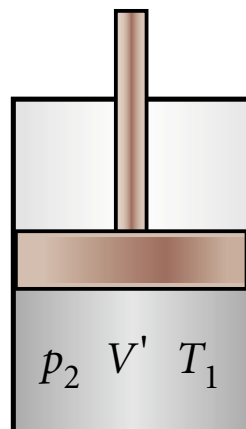


alkutila

paine p_1
tilavuus V_1
lämpötila T_1

1. vaihe

isoterminen
tilanmuutos

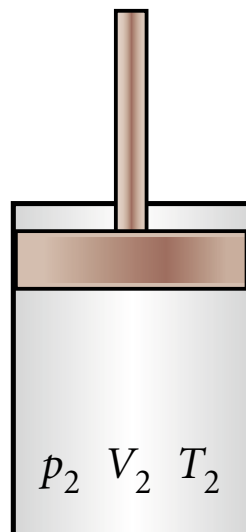


välitila

paine p_2
tilavuus V'
lämpötila T_1

2. vaihe

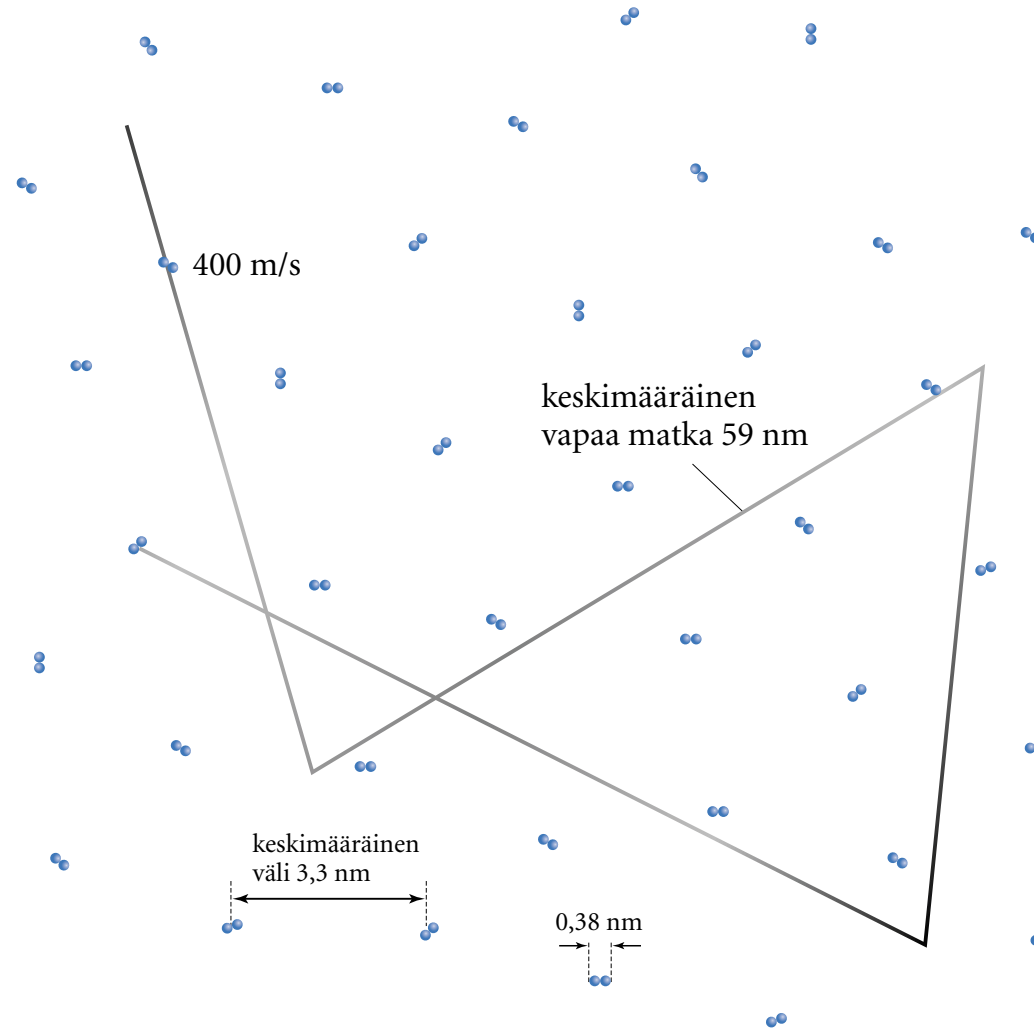
isobaarinen
tilanmuutos



lopputila

paine p_2
tilavuus V_2
lämpötila T_2

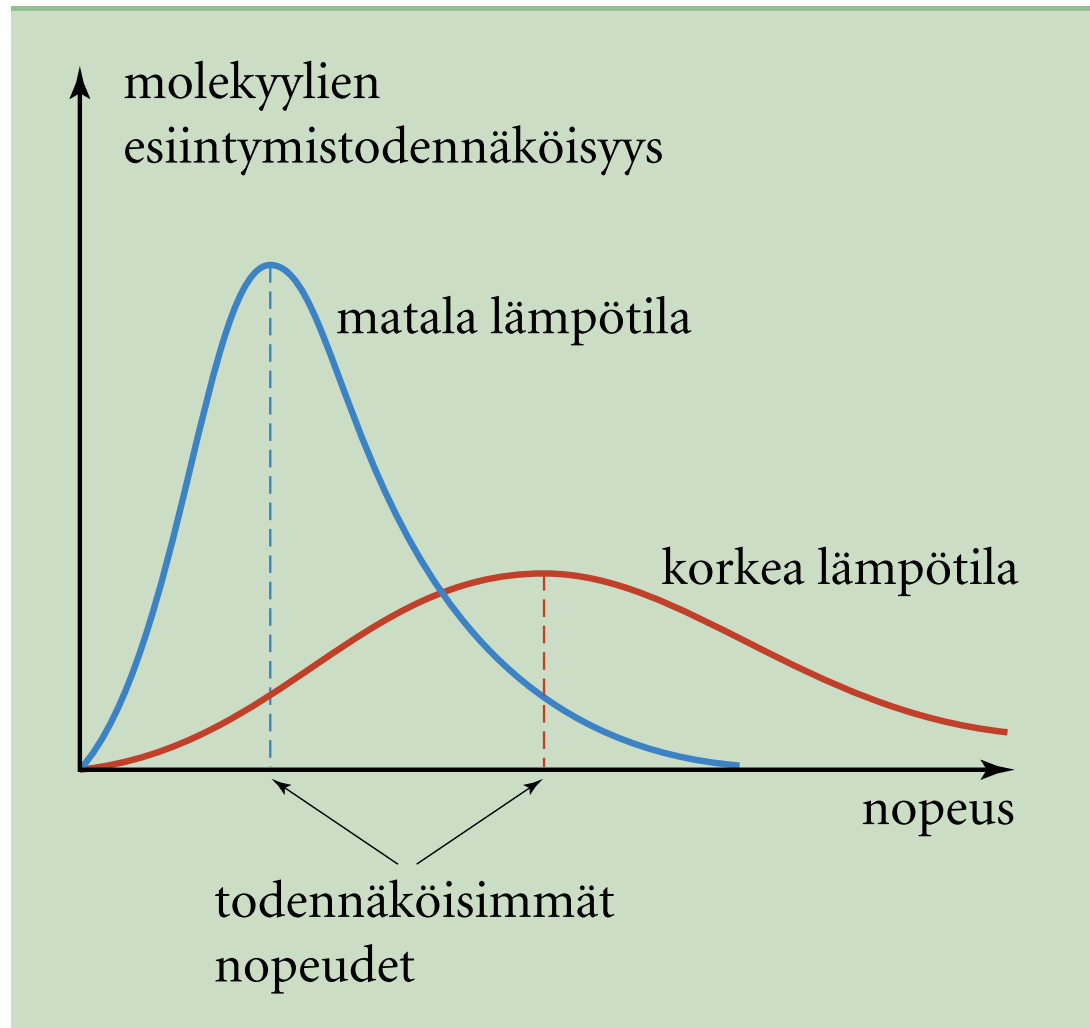
Typpikaasua normaalitilassa



Ideaalikaasun perusoletukset

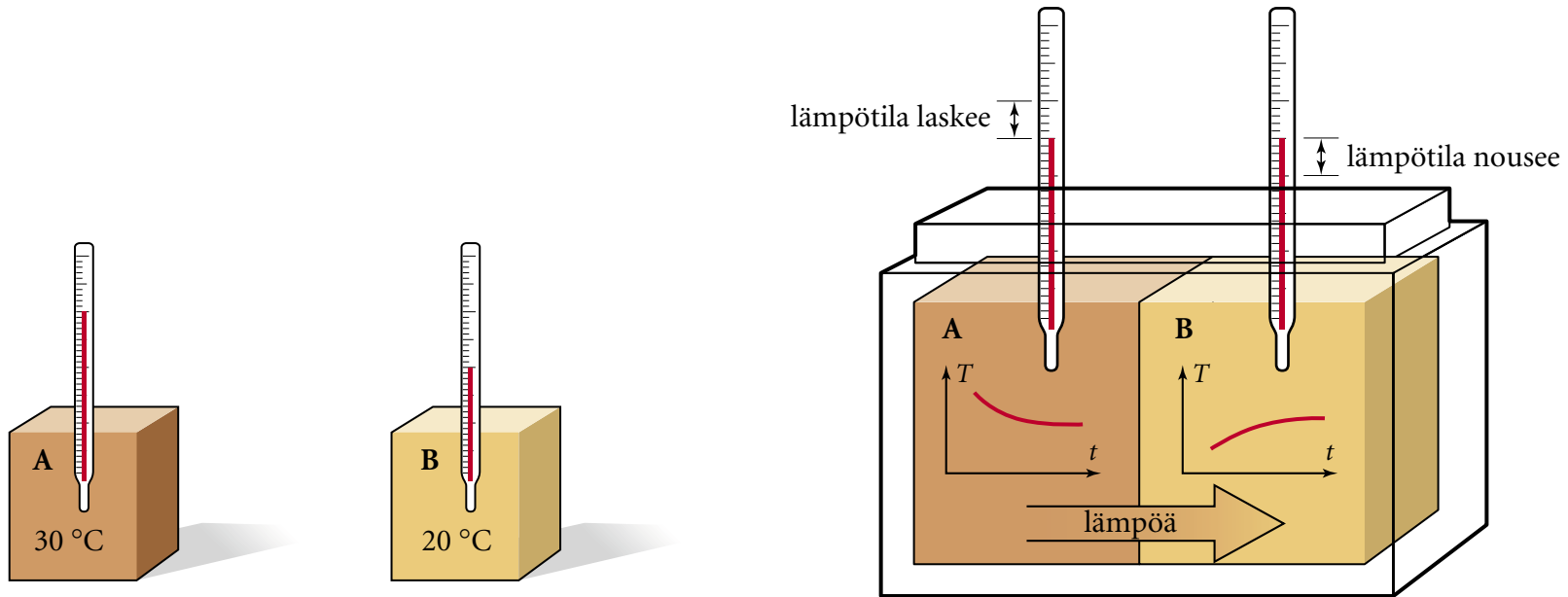
Ideaalikaasumallin perusoletukset	Todellisen kaasun ero ideaalikaasuun
1. Kaasu koostuu molekyyleistä, jotka ovat pistemäisiä. Niiden tilavuus on nolla.	Kaasun rakenneosilla on pieni, äärellinen tilavuus. Monet kaasut ovat seoksia.
2. Molekyylit ovat jatkuvassa satunnaisessa liikkeessä, joka on nopeaa ja suoraviivaista.	Kaasussa voi olla lämpöliikkeen ohella myös virtauksia. Kaasun rakenneosien liikeradat ovat likimain suoraviivaisia törmäysten välillä.
3. Molekyylit törmäilevät toisiinsa ja astian seinämiin. Liikeradoista tulee törmäysten vuoksi murtoviivoja.	
4. Törmäysten lisäksi molekyyleillä ei ole muita vuorovaikutuksia.	Kaasun rakenneosien välillä on törmäyksissä sähköisiä vuorovaikutuksia ja niihin kohdistuu painovoima. Sähköiset vuorovaikutukset vaikuttavat myös törmäysten välillä.
5. Törmäykset ovat täysin kimmoisia.	Kaasun rakenneosien väliset törmäykset eivät välttämättä ole täysin kimmoisia. Molekyyli ei ole pistemäinen, joten se voi törmäyksessä pyöriä tai värähdellä.

Kaasumolekyylin tyypillinen nopeusjakauma



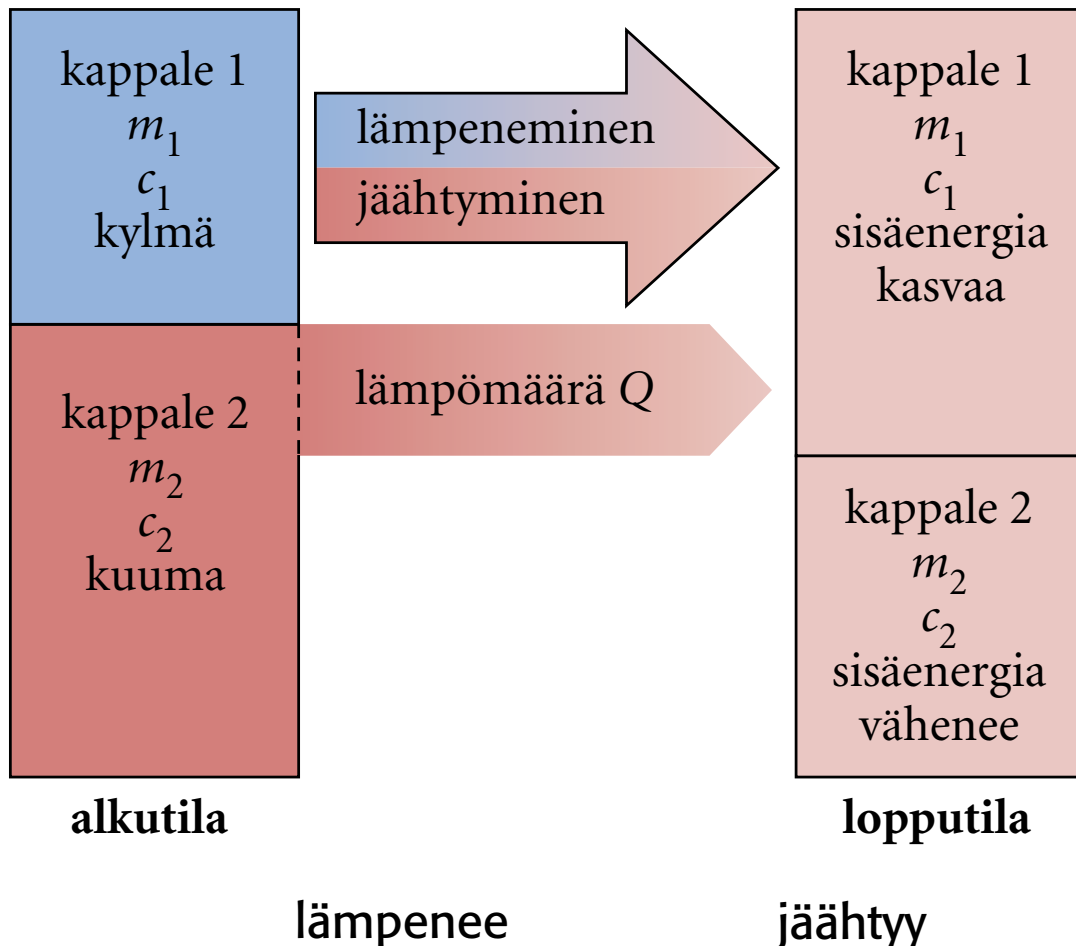
◀ Kuvassa on esitetty kaasumolekyylien tyypillinen nopeusjakauma matalassa ja korkeassa lämpötilassa. Esimerkiksi typpi-molekyylin todennäköisin nopeus on huoneenlämpötilassa noin 390 m/s ja noin 1 000 kelvinissä 710 m/s.

Erilämpöisten kappaleiden yhdistäminen



▲ Kun erilämpöiset kappaleet A ja B yhdistetään, lämpötilat tasoittuvat.

Energiakaavio

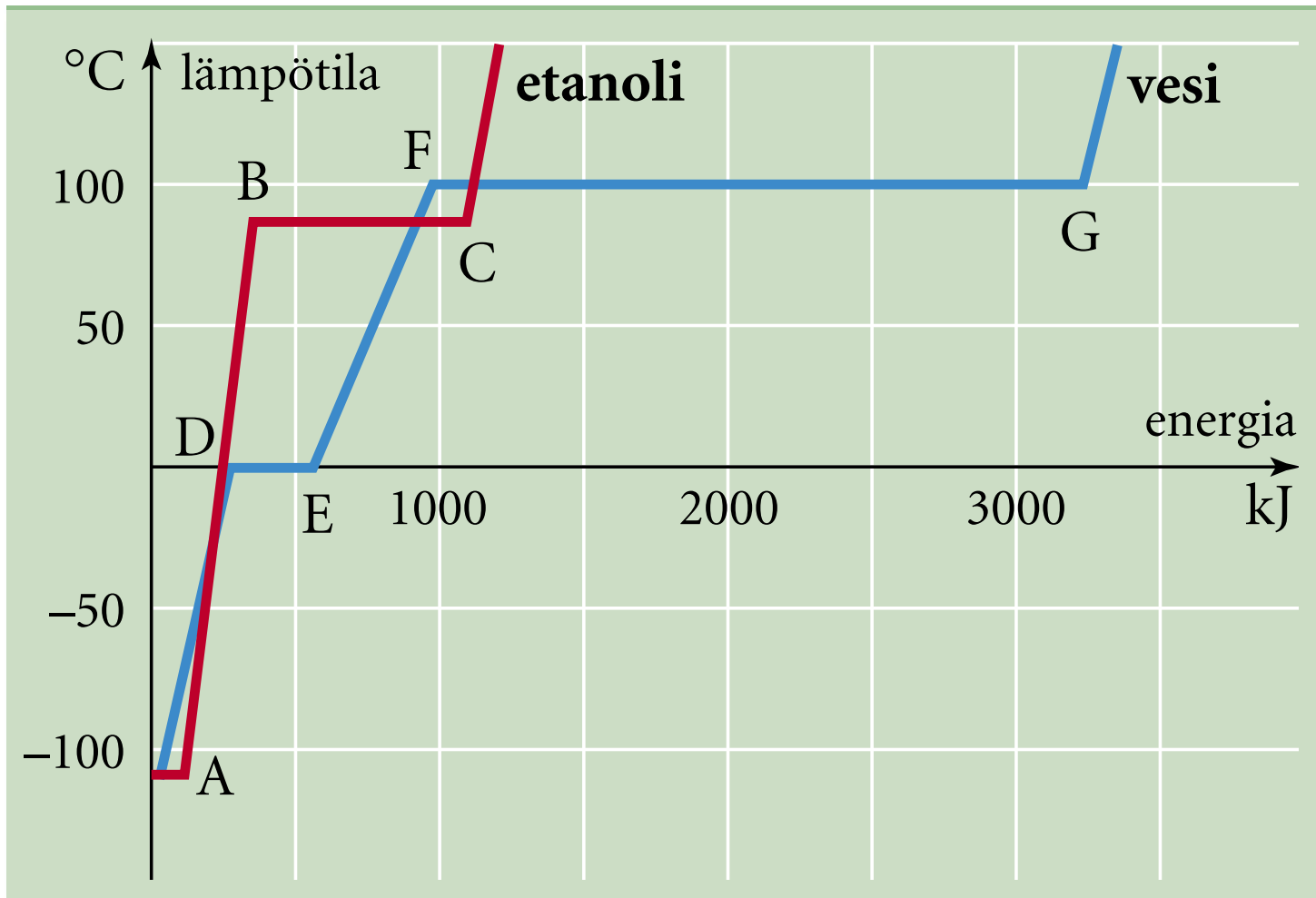


$$\Delta t_1 = \frac{Q}{c_1 m_1}$$

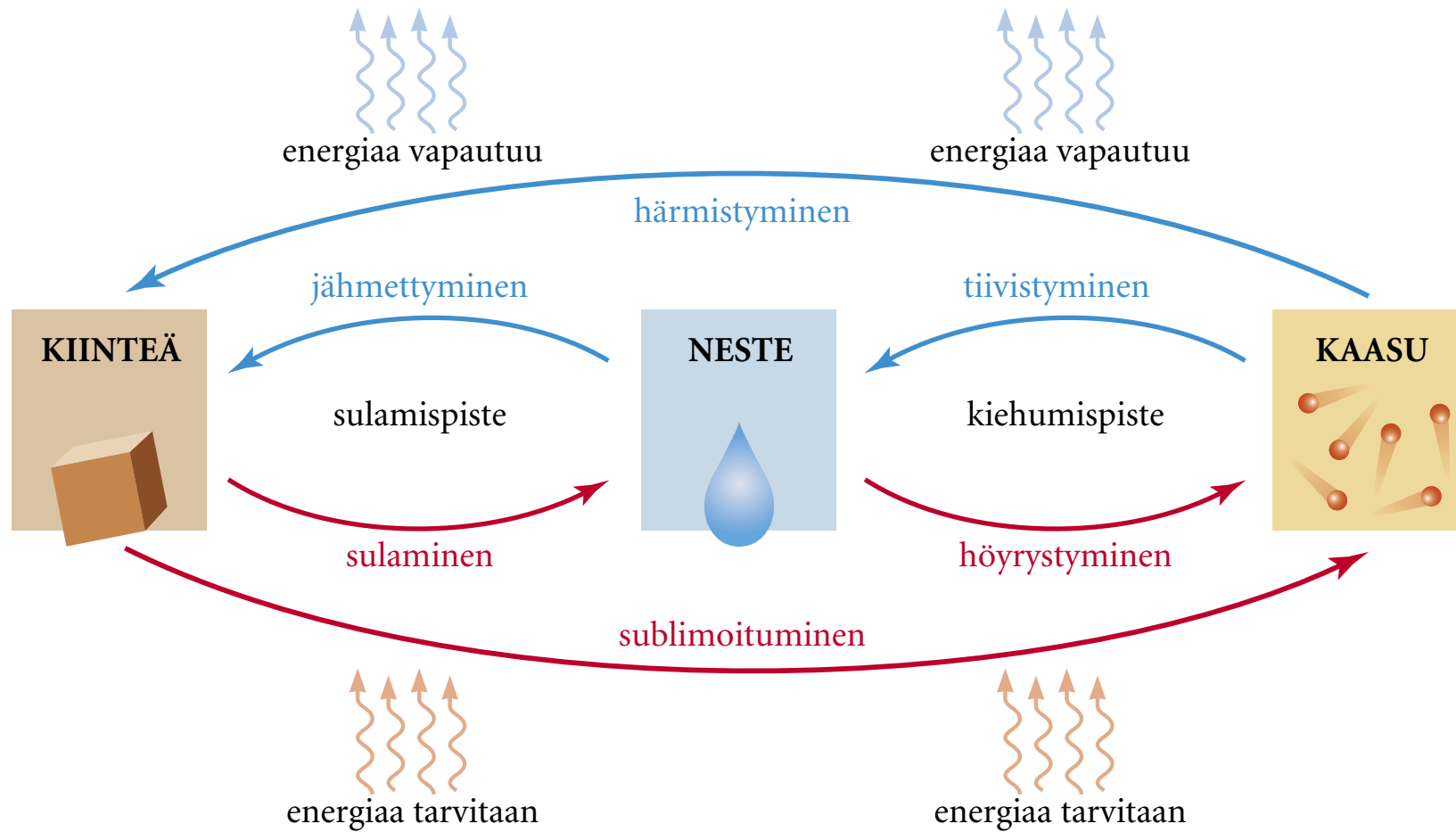
$$\Delta t_2 = \frac{Q}{c_2 m_2}$$

▲ Lämmitessään kappale 1 vastaanottaa energiaa ja jäähtymisessään kappale 2 luovuttaa energiaa toiselle kappaleelle. Systemistä toiseen siirtyviä energiamääriä kutsutaan lämpömääriksi. Lämpötilan muutoksen yhteydessä kappaleiden sisäenergiat muuttuvat niiden aineille ominaisella tavalla. Sisäenergian muutokset ovat yhtä suuret.

Etanoli ja vesi

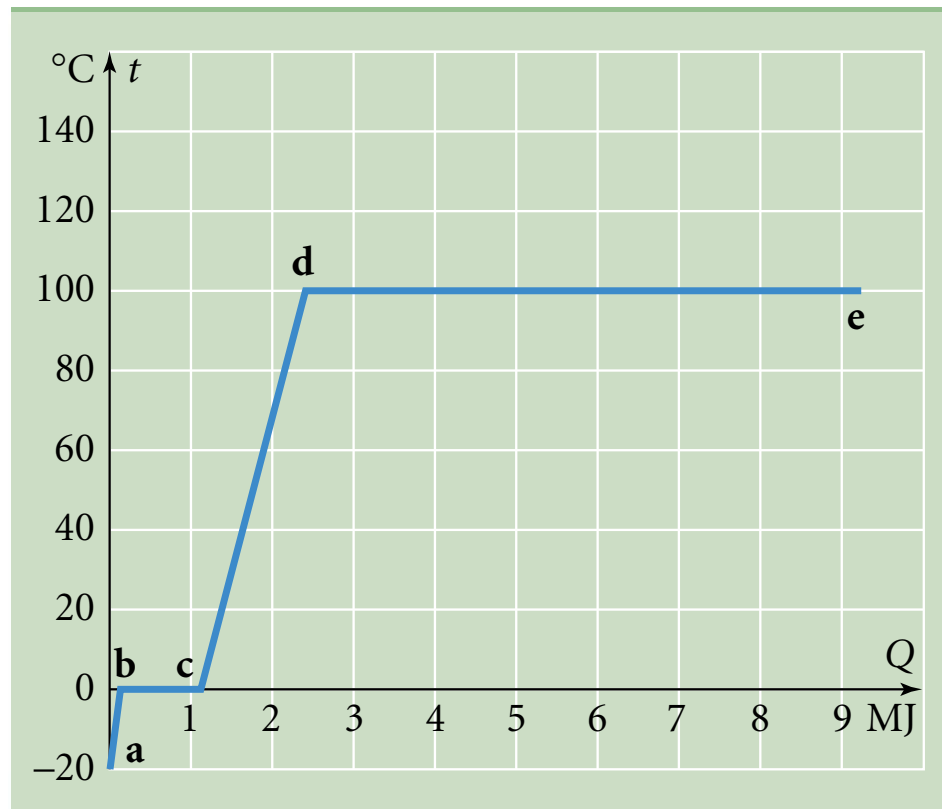


Olomuodot



Esimerkki 2

Jääkappaleen massa on $3,0 \text{ kg}$ ja alkulämpötila $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Jäätä lämmitetään ja sen lämpötila muuttuu alla olevan diagrammin mukaan. Selitä, mitä eri vaiheissa tapahtuu, ja laske kussakin vaiheessa tarvittava energiamäärä.

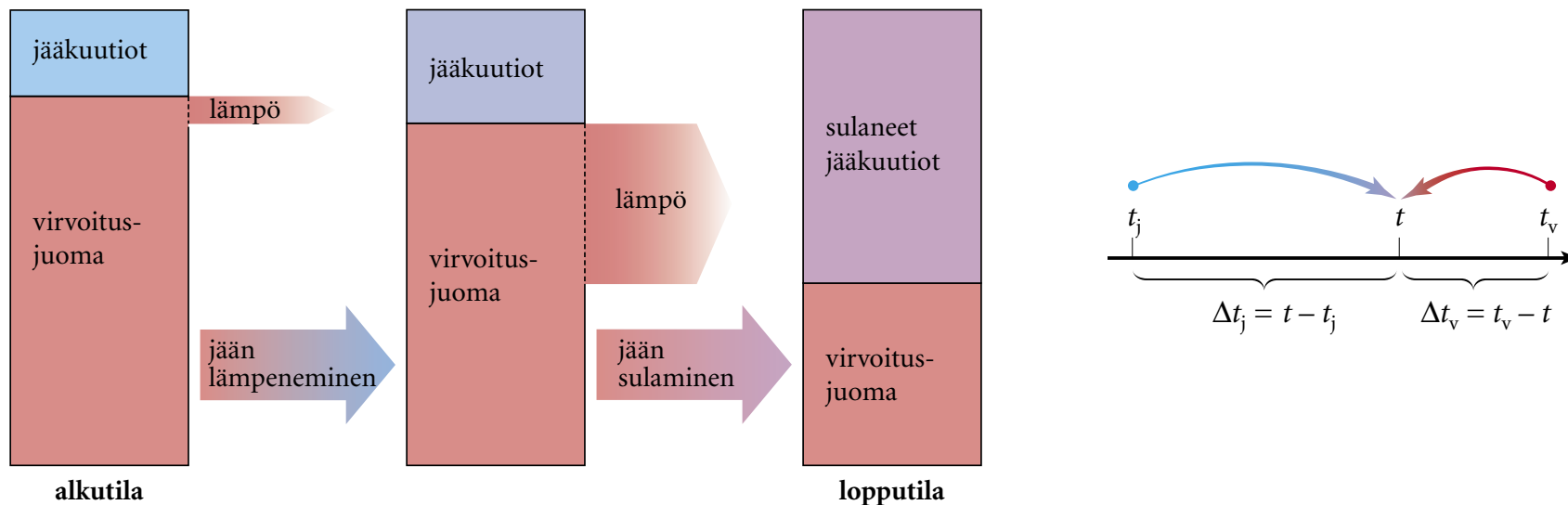


Esimerkki 3

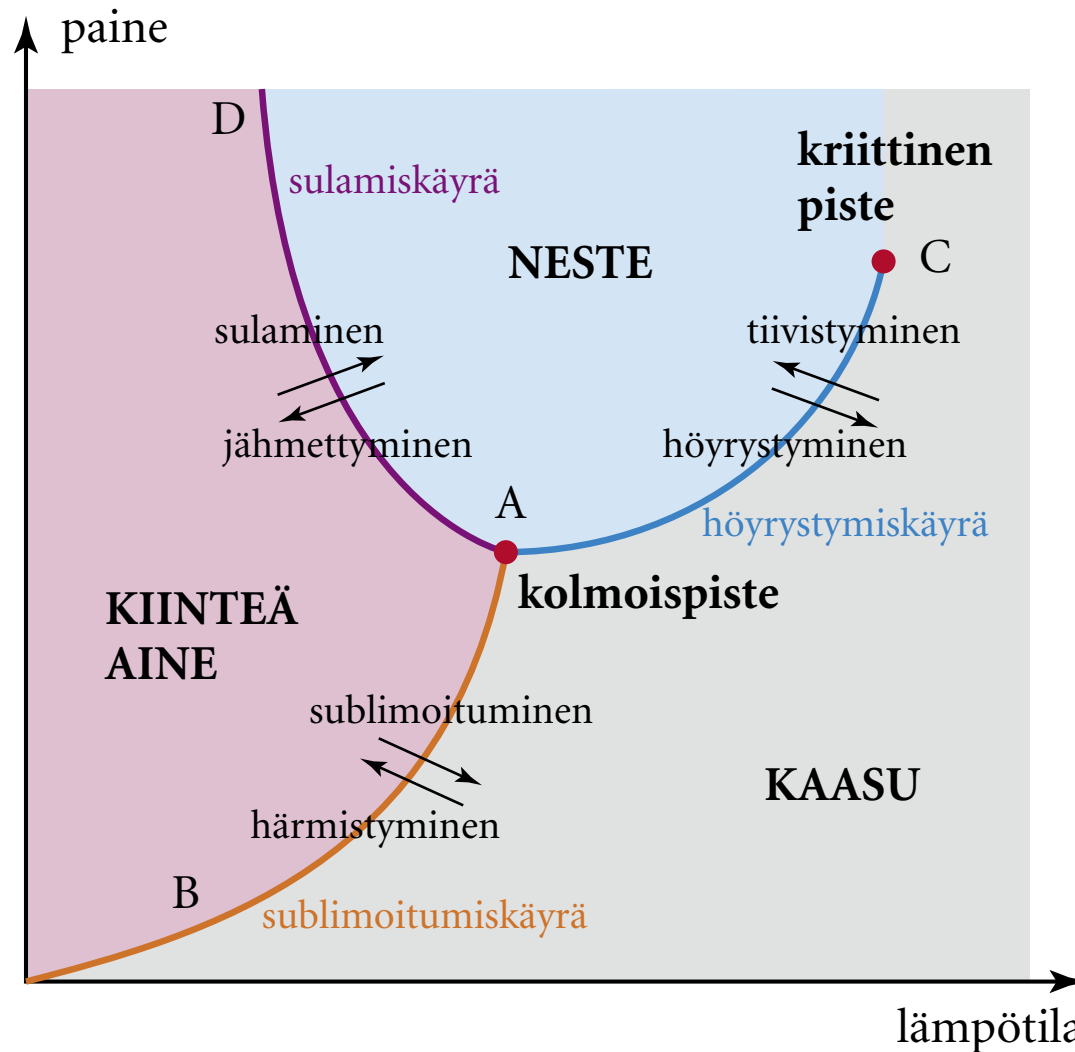
Oppilas jäähdytti virvoitusjuomaa sekoittamalla siihen jääkuutioita.

- a) Laadi prosessista energiakaavio.
- b) Kuinka paljon jäätä tulee lisätä, jos oletetaan, että kaikki jää sulaa ja seoksen loppulämpötila on $0\text{ }^\circ\text{C}$? Virvoitusjuoman massa on 250 g , alkulämpötila $25\text{ }^\circ\text{C}$, ja jään alkulämpötila on $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

Systemi voidaan olettaa eristetyksi.



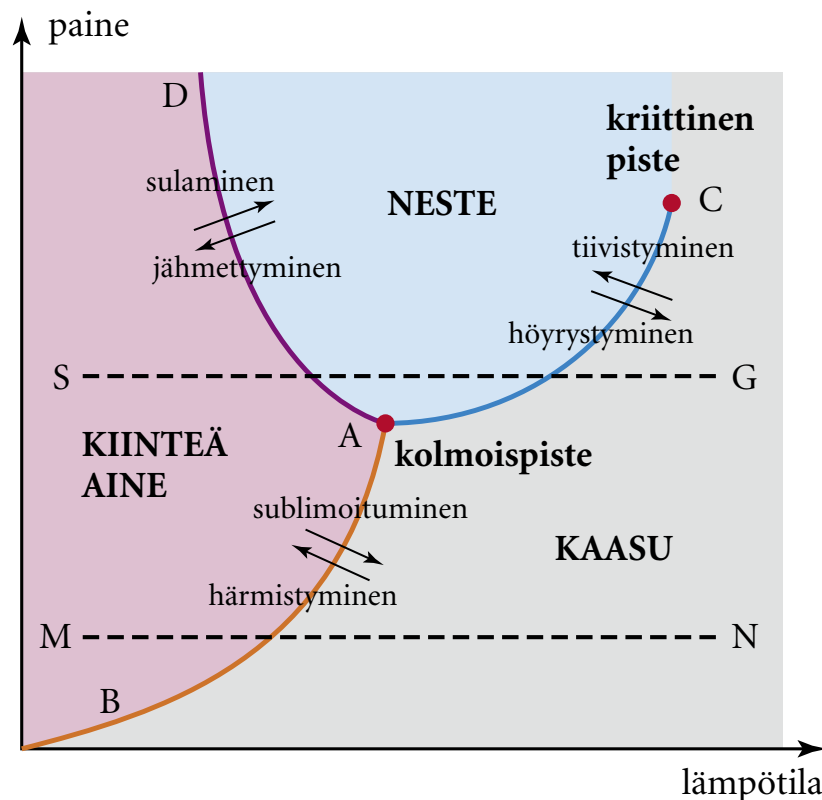
Sulamis-, sublimoitumis-, ja höyrystymiskäyrät



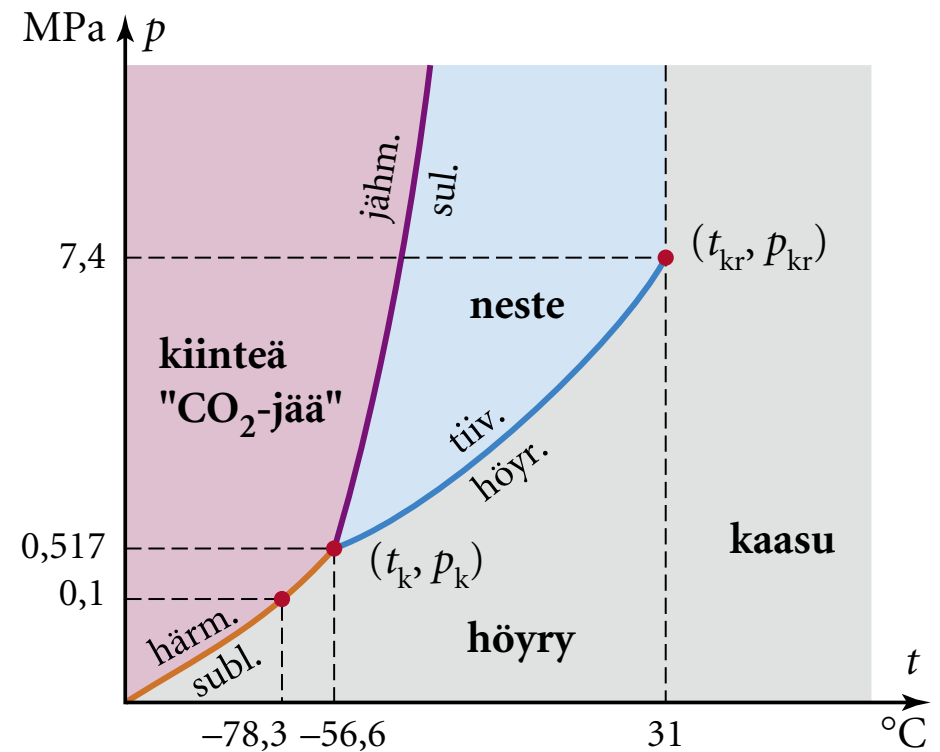
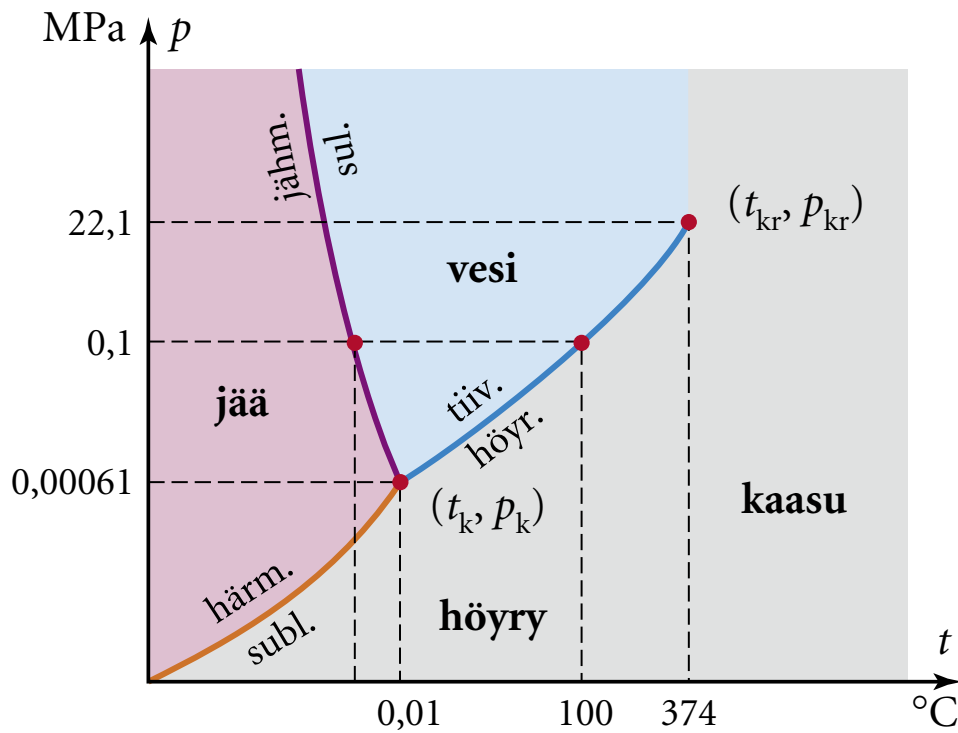
Esimerkki 1

Tarkastellaan vakiopaineessa olevaa ainetta, jota lämmitetään. Kuvaile, mitä aineelle tapahtuu faasidiagrammissa

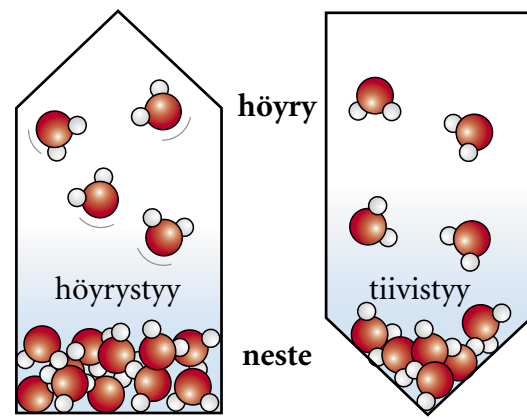
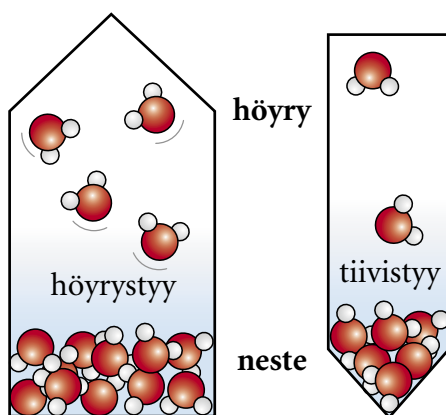
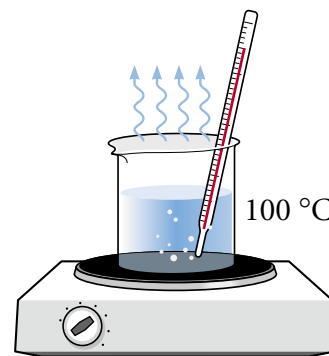
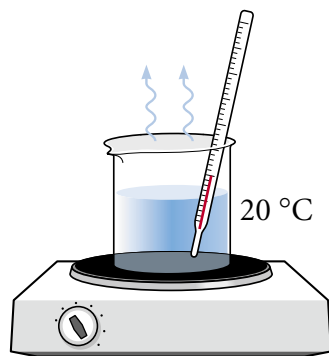
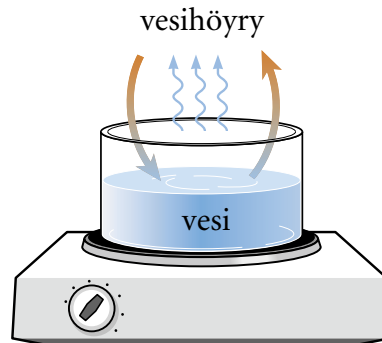
- a) välillä S–G
- b) välillä M–N.



Veden ja hiilidioksidin faasikaaviot



Höyrystyminen ja tiivistyminen

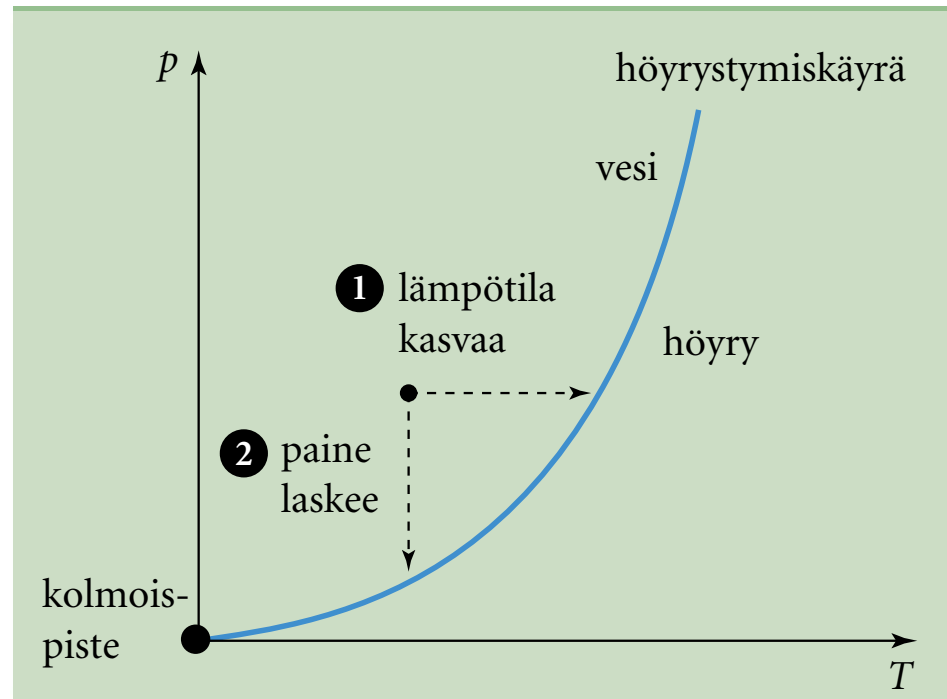


▲ Höyrystyminen on voimakkaampaa kuin tiivistyminen.

▲ Nestettä höyrystyy ja tiivistyy yhtä nopeasti.

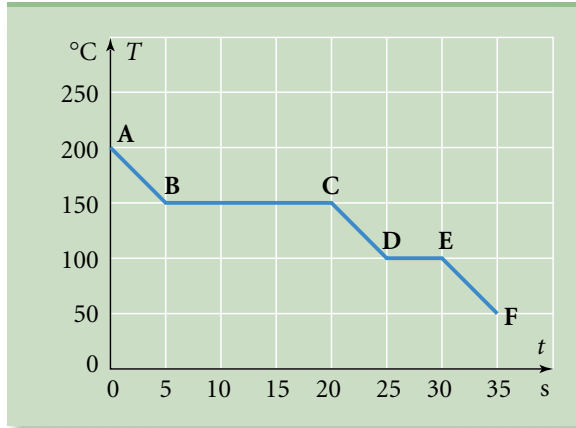
Esimerkki 2

Miten tietyssä lämpötilassa ja paineessa oleva vesi saadaan kiehumaan?

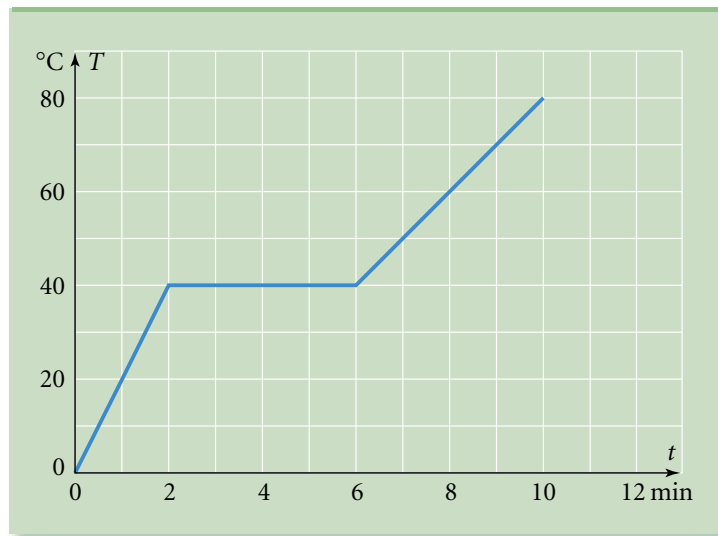


▲ Piste kuvaa veden tilaa tietyssä lämpötilassa T ja paineessa p . Vesi saadaan kiehumaan kahdella tavalla.

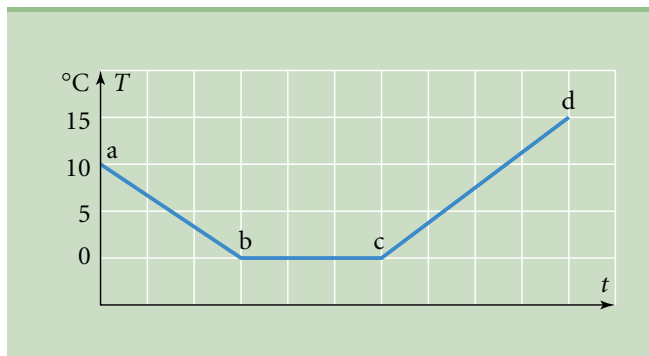
Tehtävä 12



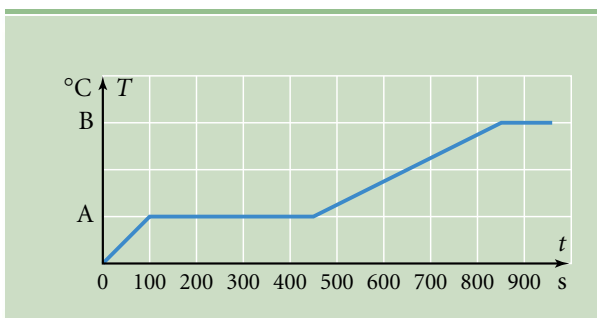
Tehtävä 13



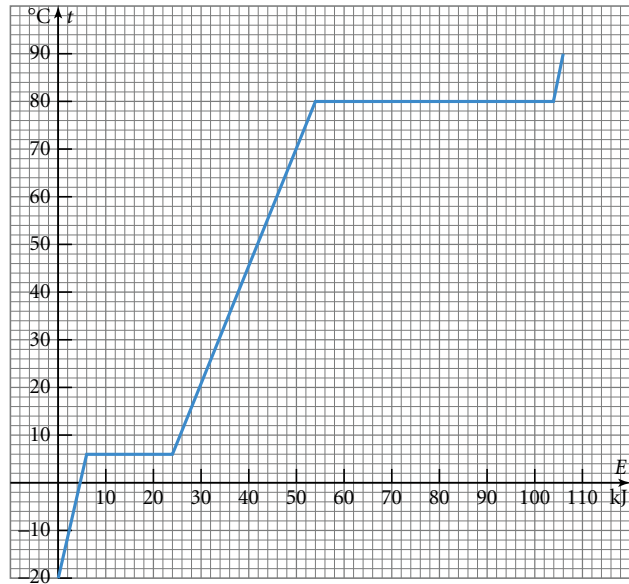
Tehtävä 14



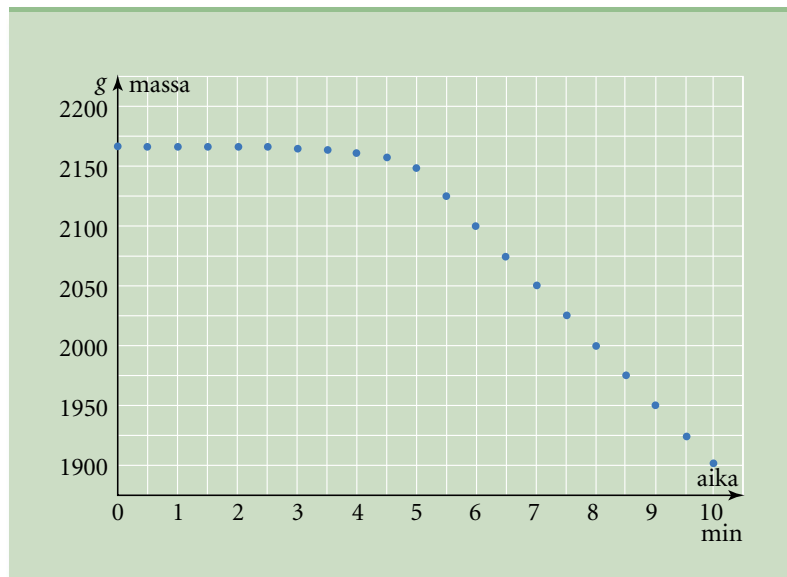
Tehtävä 15



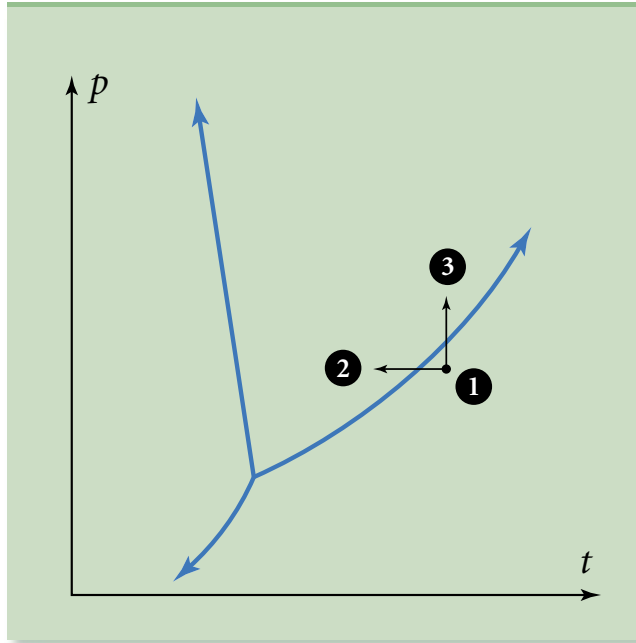
Tehtävä 17



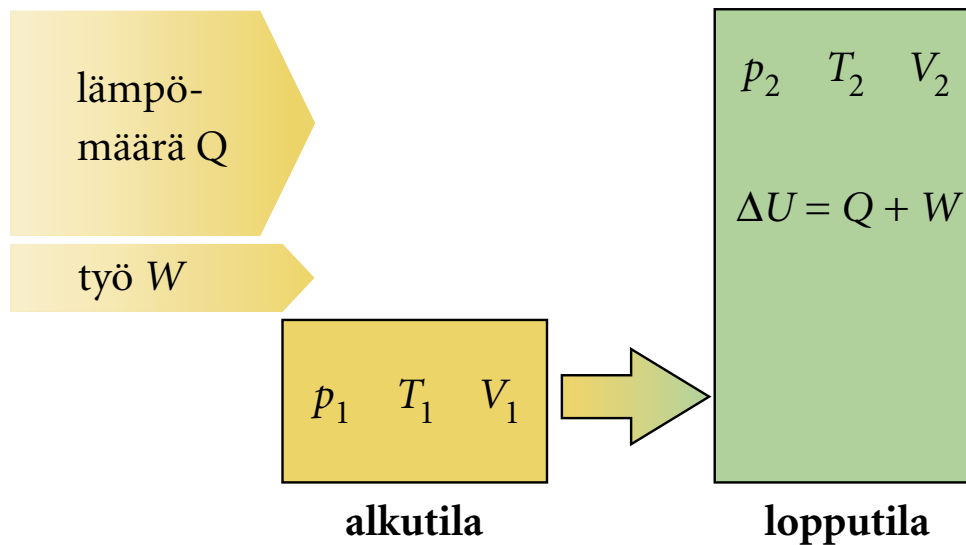
Tehtävä 19



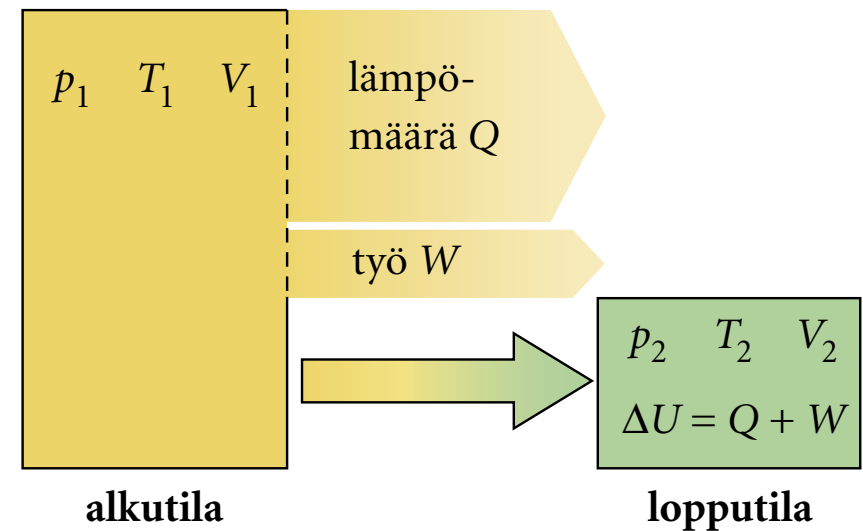
Tehtävä 25



Energiakaaviot



▲ Systemiin tuotu lämpö ja systeemiin tehty työ kasvattavat systeemin sisäenergiaa.



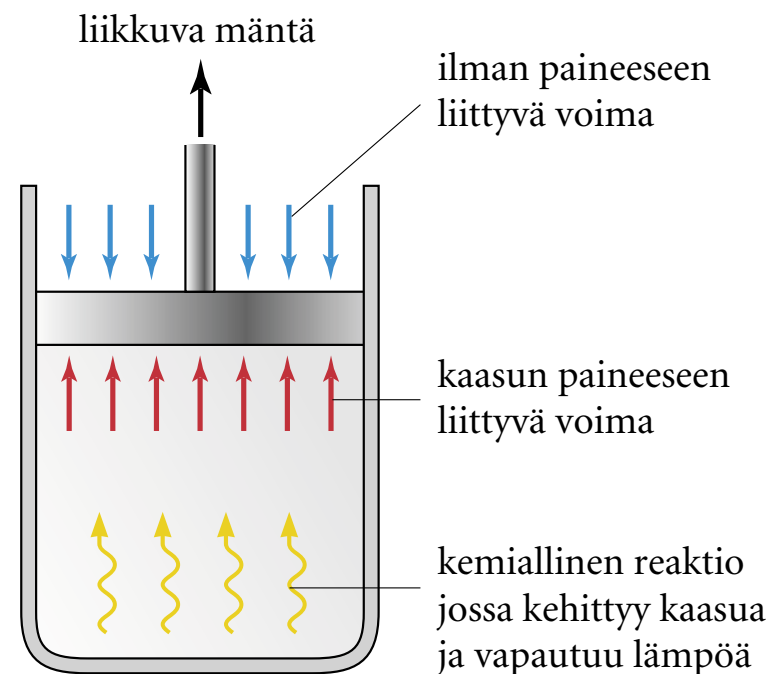
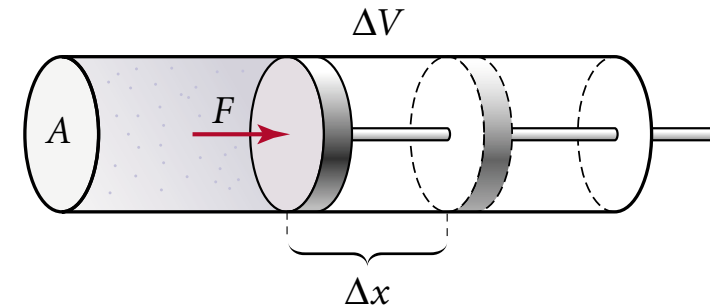
▲ Systeemistä siirtyvä lämpö ja systeemin eri vuorovaikutuksiin liittyvien voimien tekemä työ pienentää sisäenergiaa.

Laajenevan kaasun tekemä työ

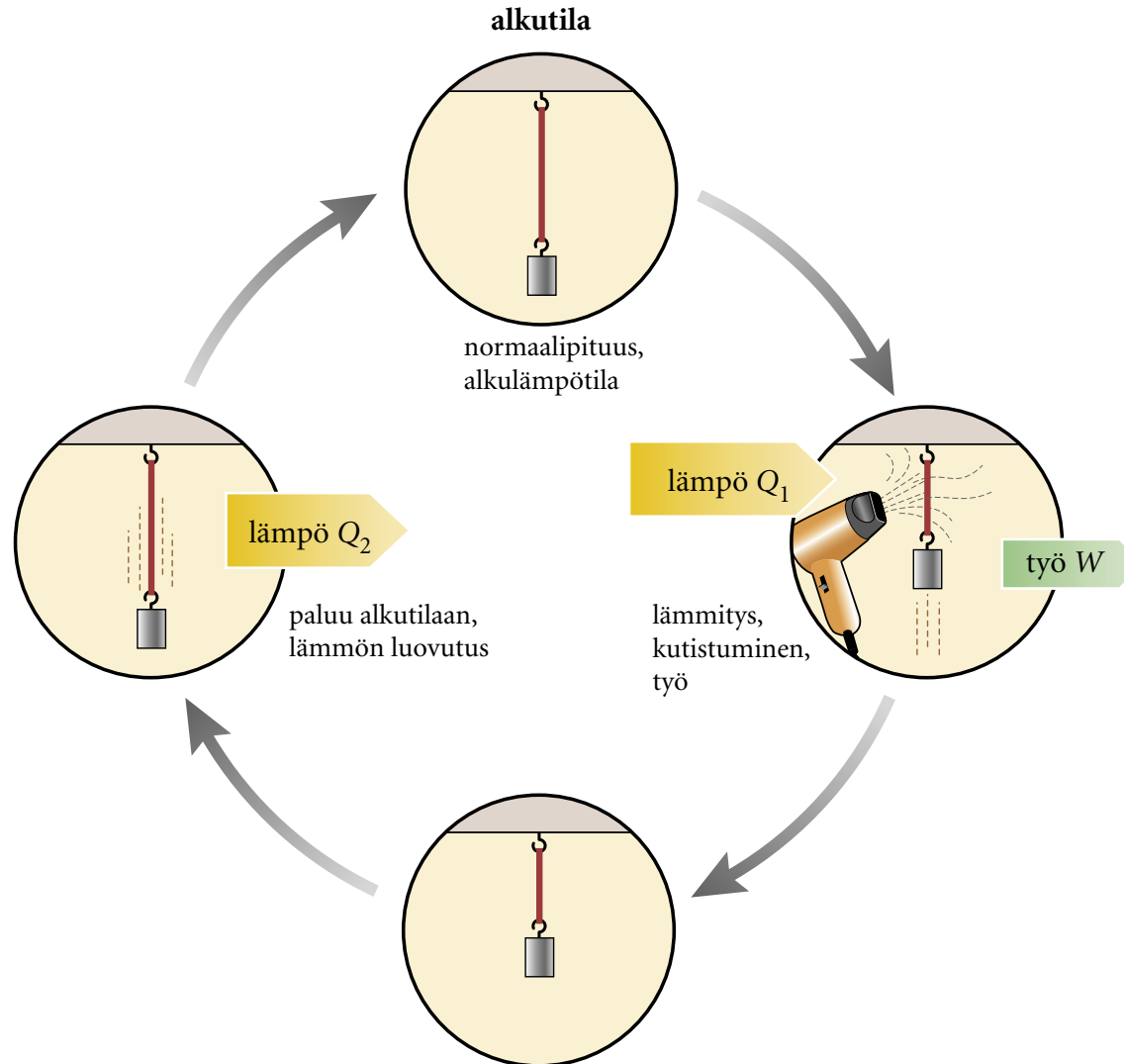
Kun säiliössä vallitsee paine p ,
 mäntään kohdistuu voima
 $F = pA$,
 jossa A on männän poikkipinta-ala.

Kun mäntä liikkuu matkan Δx ,
 kaasu laajenee tilavuuden
 $\Delta V = A \Delta x$.

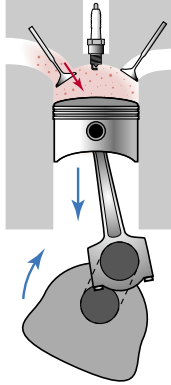
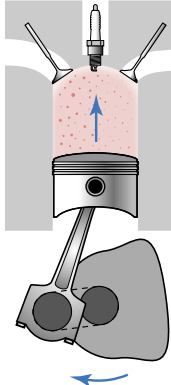
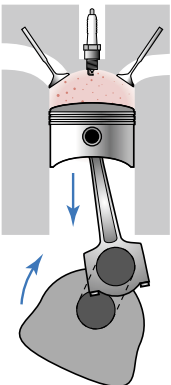
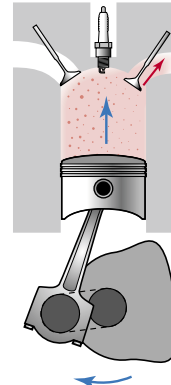
Samalla voiman tekemä työ
 $W = F\Delta x = pA \Delta x = p\Delta V$.

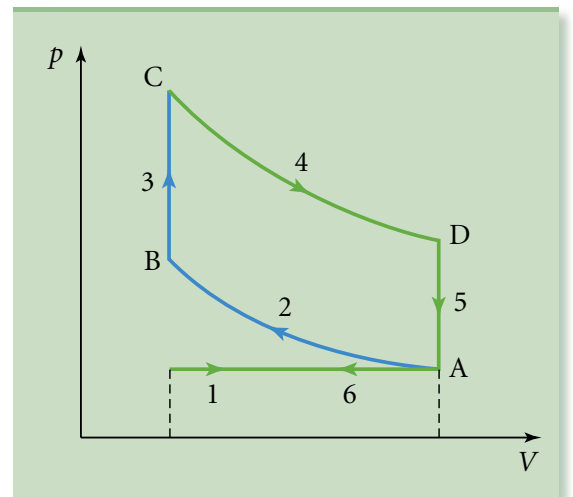


Kiertoprosessi Feynmanin koneessa



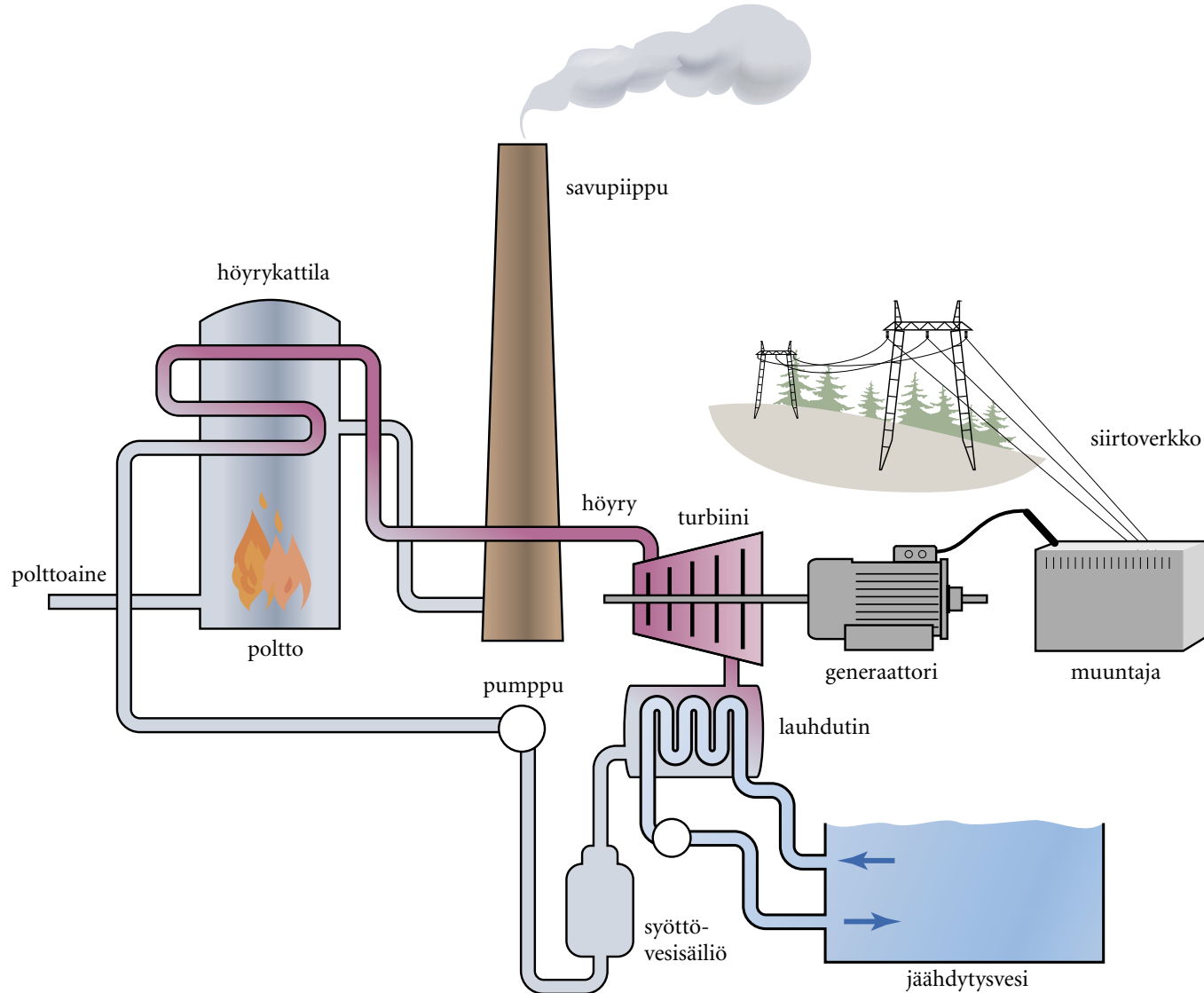
Polttomoottori lämpövoimakonena

	Vp -kaavion vaihe
Imutahti	1. 
Puristustahti Q_1 kaasun sisä- energia kasvaa	2. ja 3. 
Työtahti W työ	4. 
Poistotahti Q_2 poistuva lämpö- määrä	5. ja 6. 

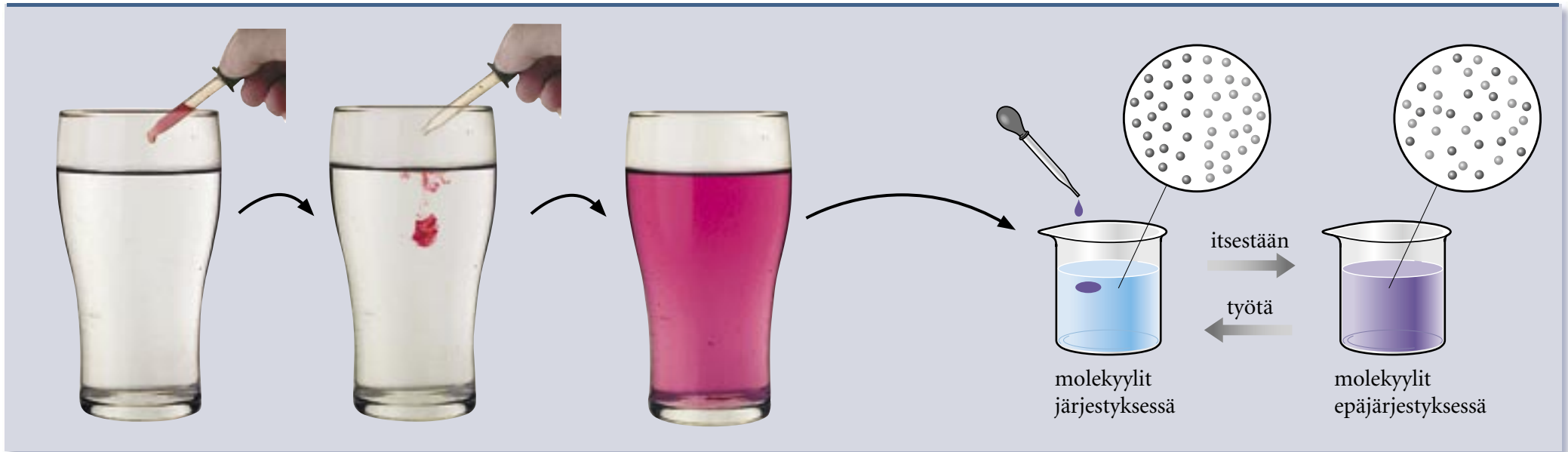


▲ Polttomoottorin kiertoprosessin kuvaus Vp -diagrammina.

Hiilivoimalan toimintaperiaate



Väriin sekoittuminen veteen



▲ Ennen sekoitusta vallitsee järjestys: väriaine on pipetissä ja vesi astiassa. Tässä tilanteessa entropian arvo on pieni. Lopputilassa väriaineen sekoituttua veteen vallitsee suuri epäjärjestys ja entropialla on suuri arvo. Entropia pienenesi prosessissa, jossa väriaine kertyisi itsestään uudelleen pisaraksi. Tällaista prosessia ei kuitenkaan ole koskaan havaittu.

▲ Väriaine sekoittuu itsestään veteen, jolloin entropia kasvaa. Tekemällä työtä, esimerkiksi sopivalla kemiallisella prosessilla, väriaine saadaan takaisin vedestä ja systeemin entropia pienenee.

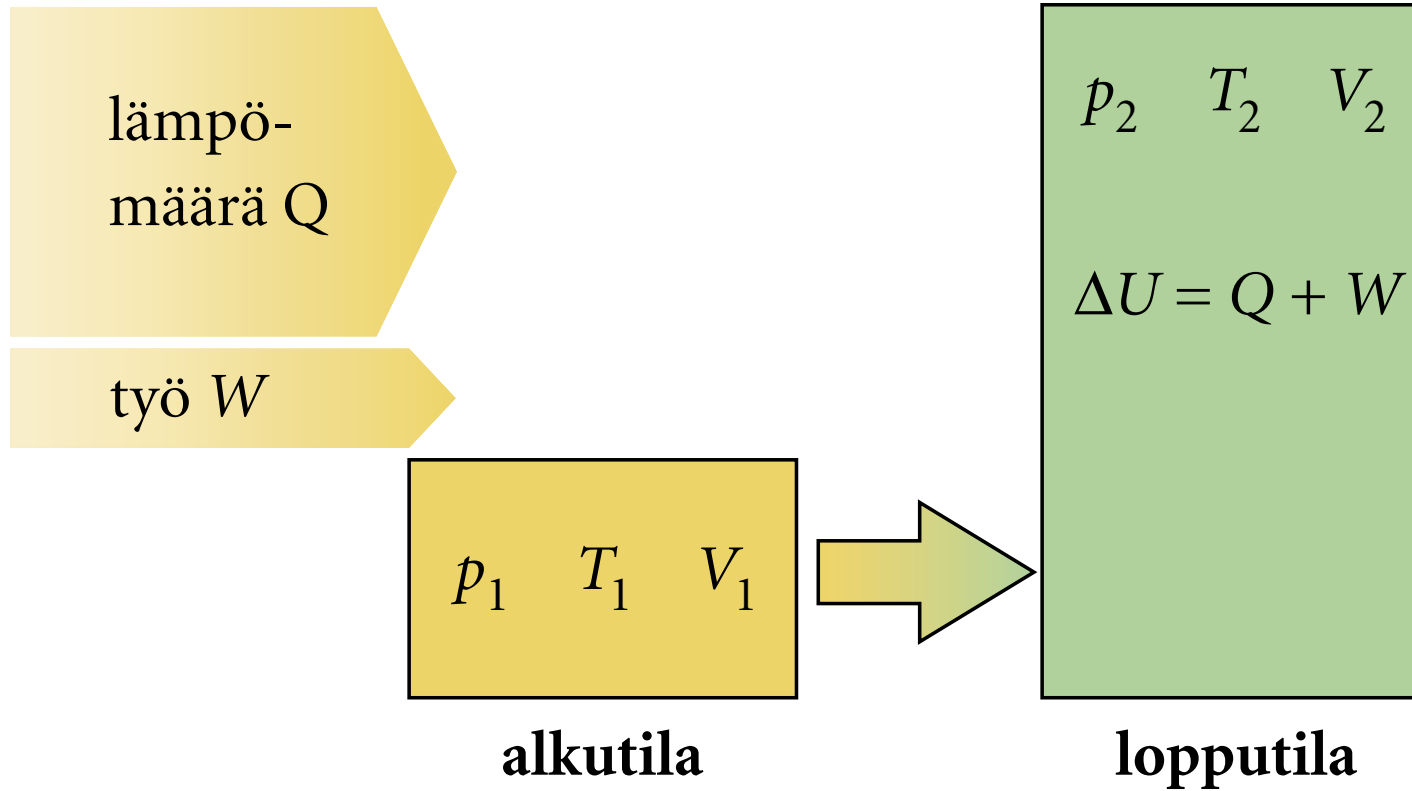
Mahdottoman prosessin mikrokooppinen selitys



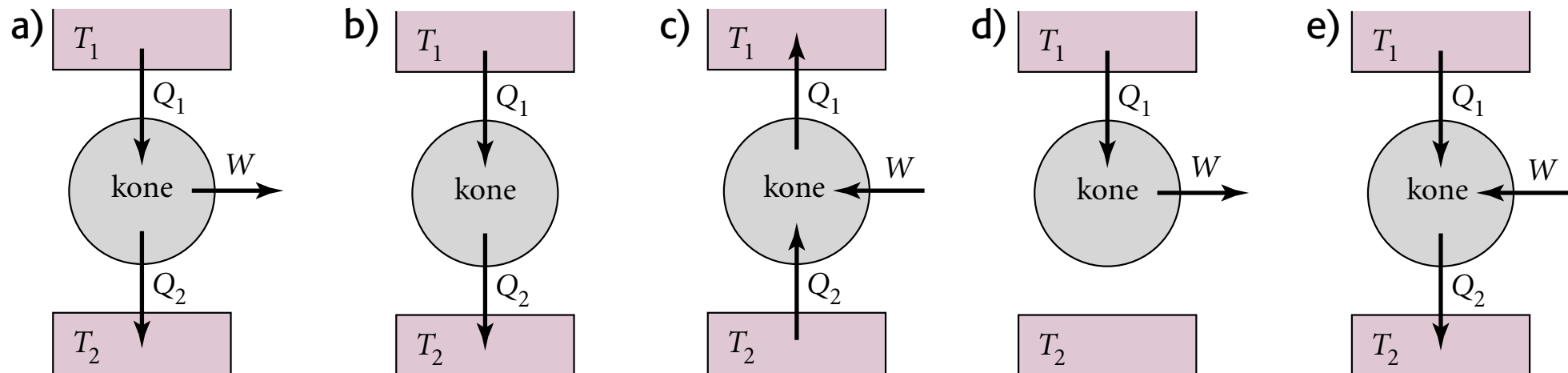
▲ Pallo on paikallaan lattialla. Pallon ja lattian rakenneosien lämpöliike on satunnaista.

▲ Jotta pallo lentäisi ylös, lattian rakenneosien satunnaisen lämpöliikkeen tulisi muuttua hetkellisesti yhdensuuntaiseksi.

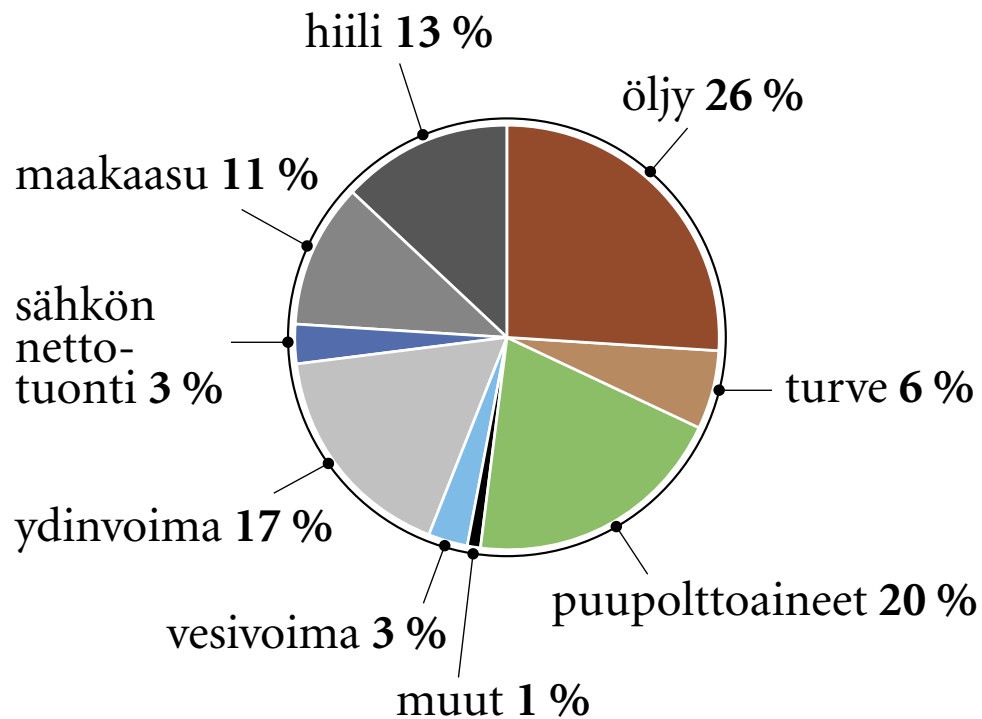
Tehtävä 1



Tehtävä 12



Energian kokonaiskulutus energialähteittäin suomessa

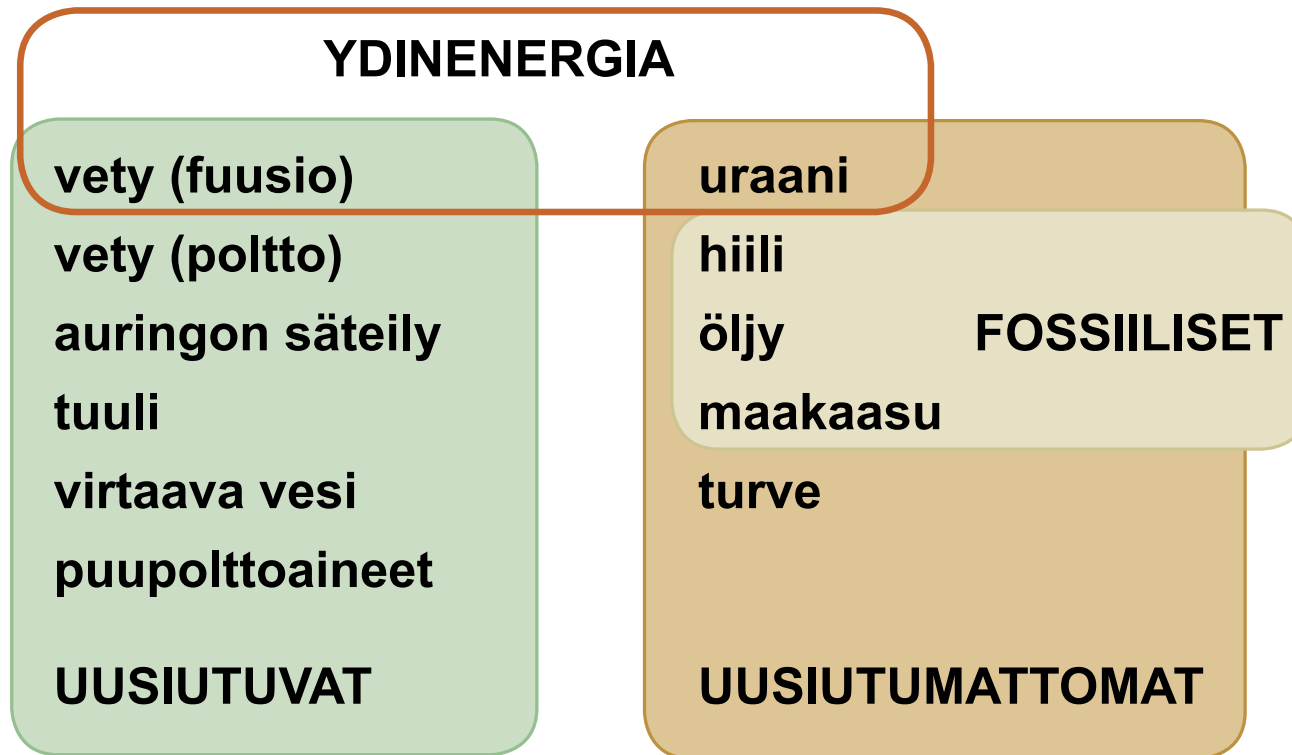


Lähde: Tilastokeskus, Energia Suomessa 2002

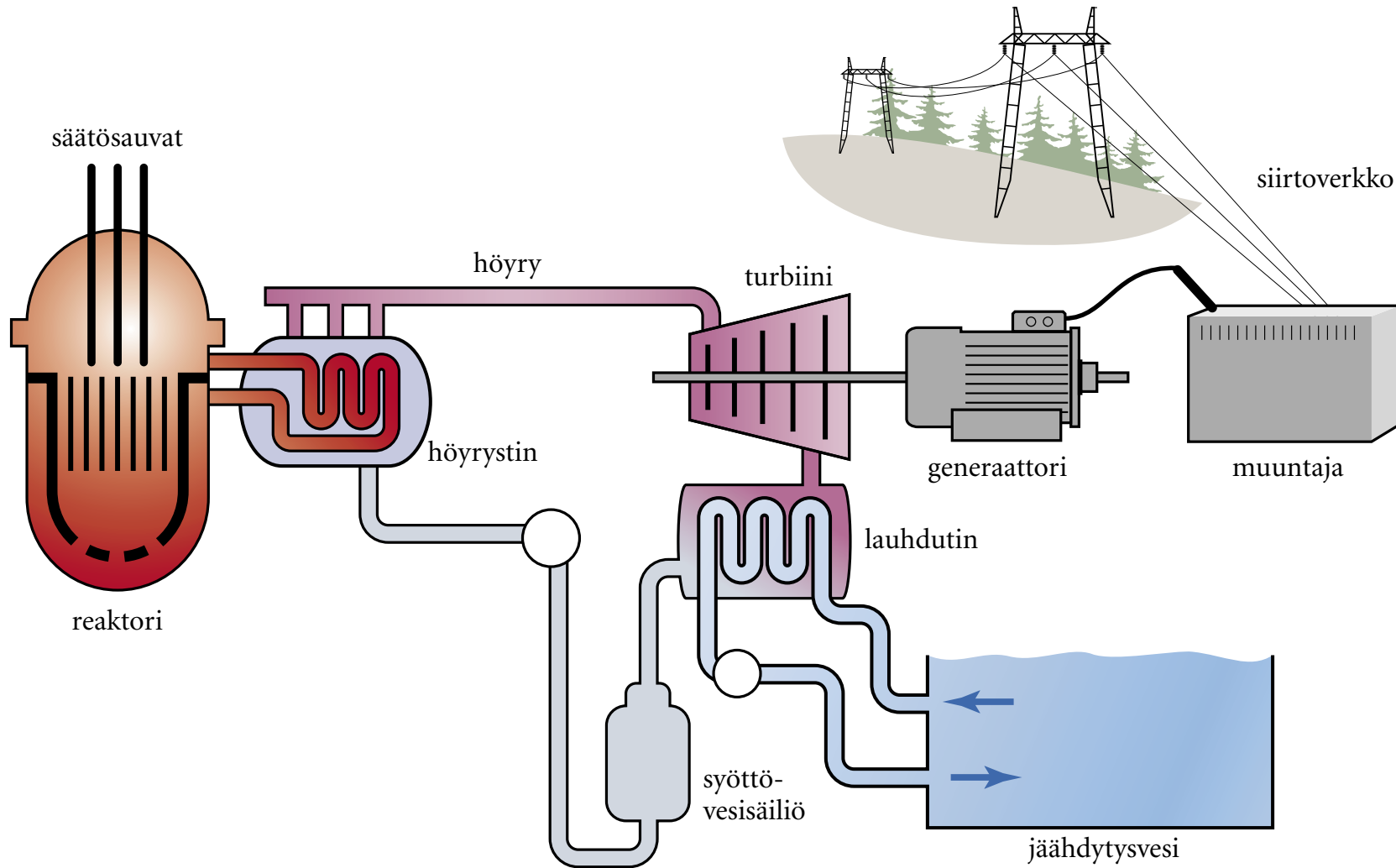
Polttoaineiden lämpöarvoja

polttoaine	lämpöarvo (MJ/kg)
vety	119,0
maakaasu	46,0
moottoribensiini	43,8
kevyt polttoöljy	42,5
dieselöljy	41,5
etanoli	26,9
kivihiili	25,5
kuivat koivuhalot	19,0
kuiva jyrsinturve	10,1

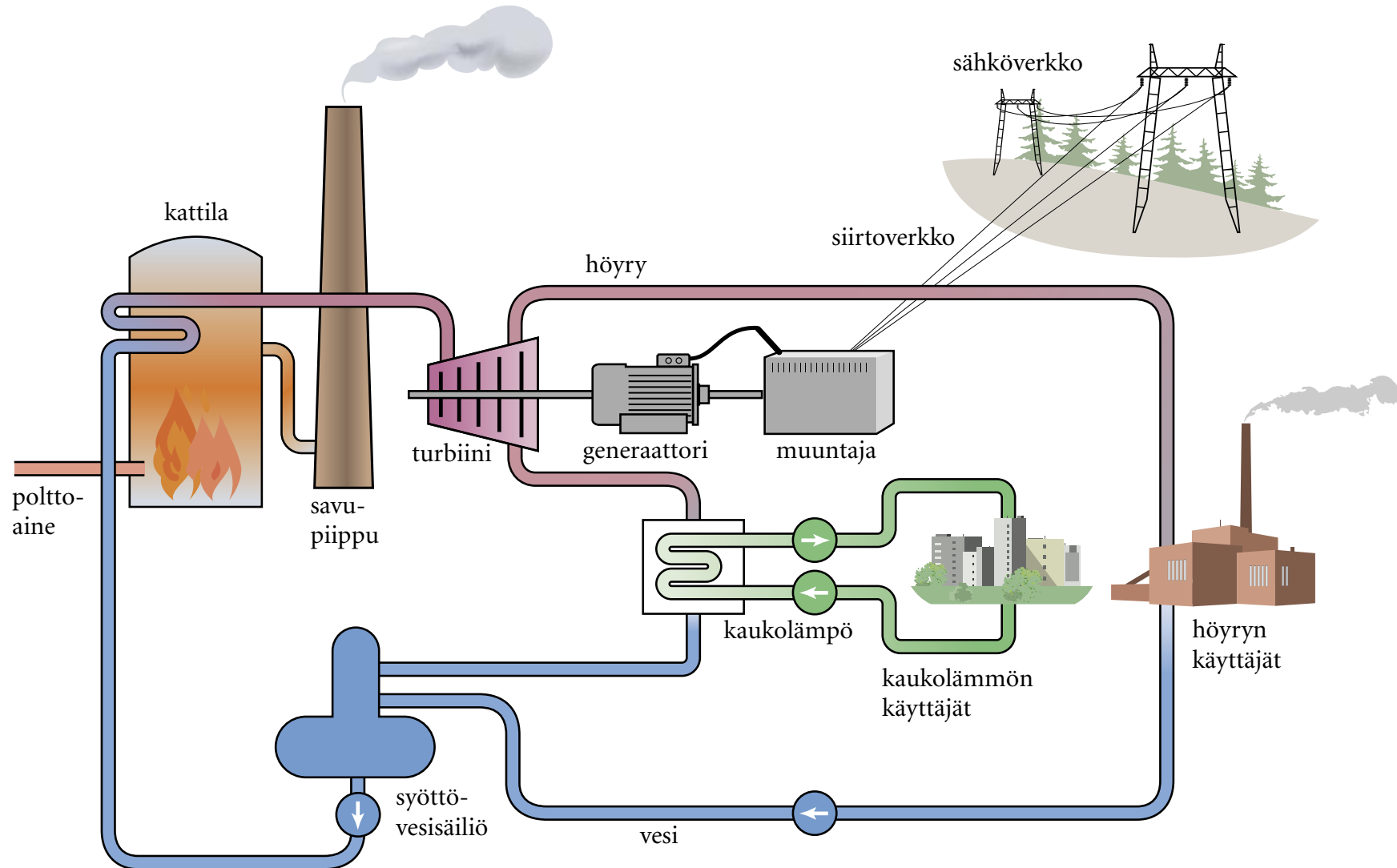
Uusiutuvat ja uusiutumattomat energialähteet



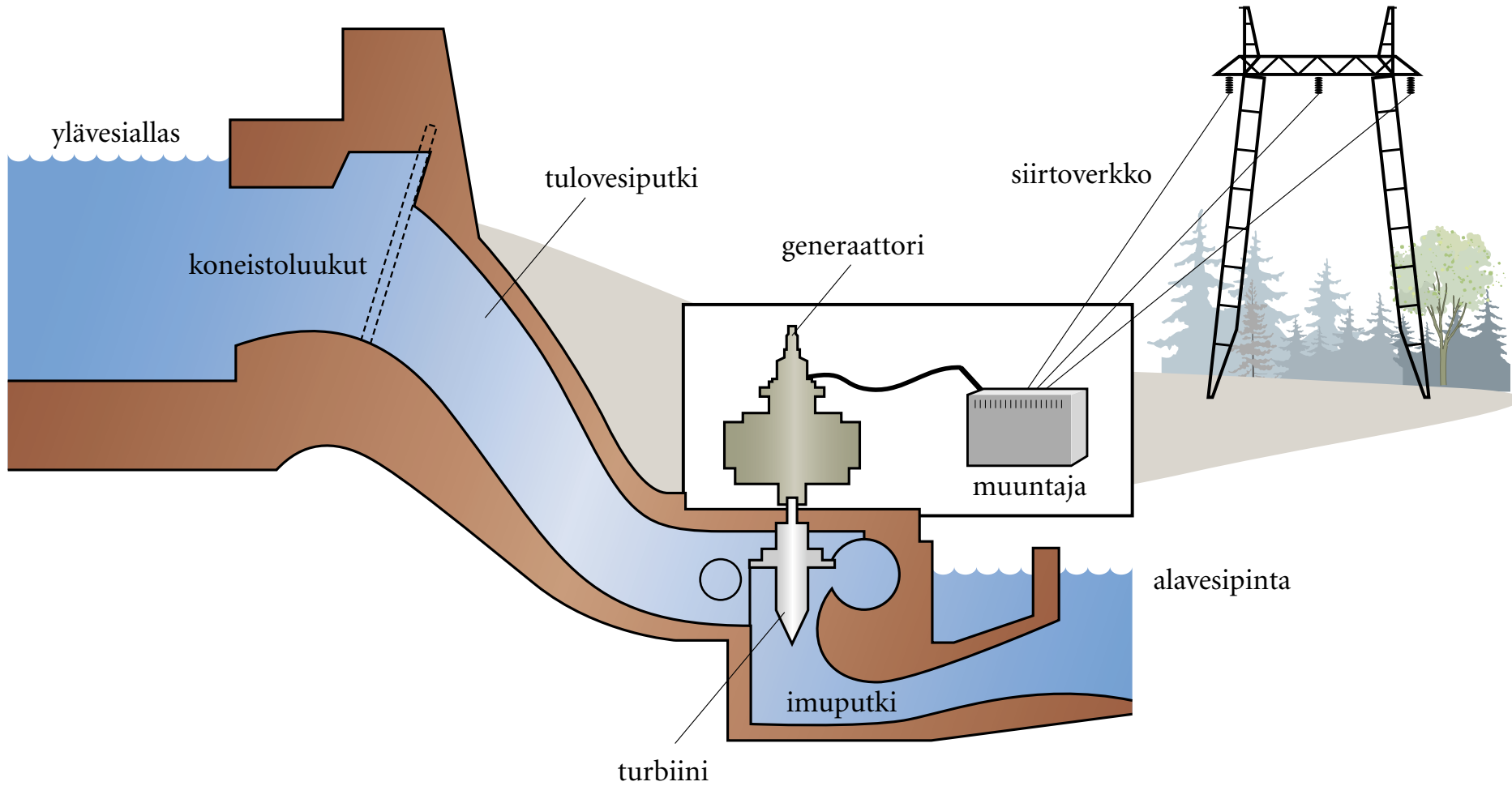
Ydinvoimalan toimintaperiaate



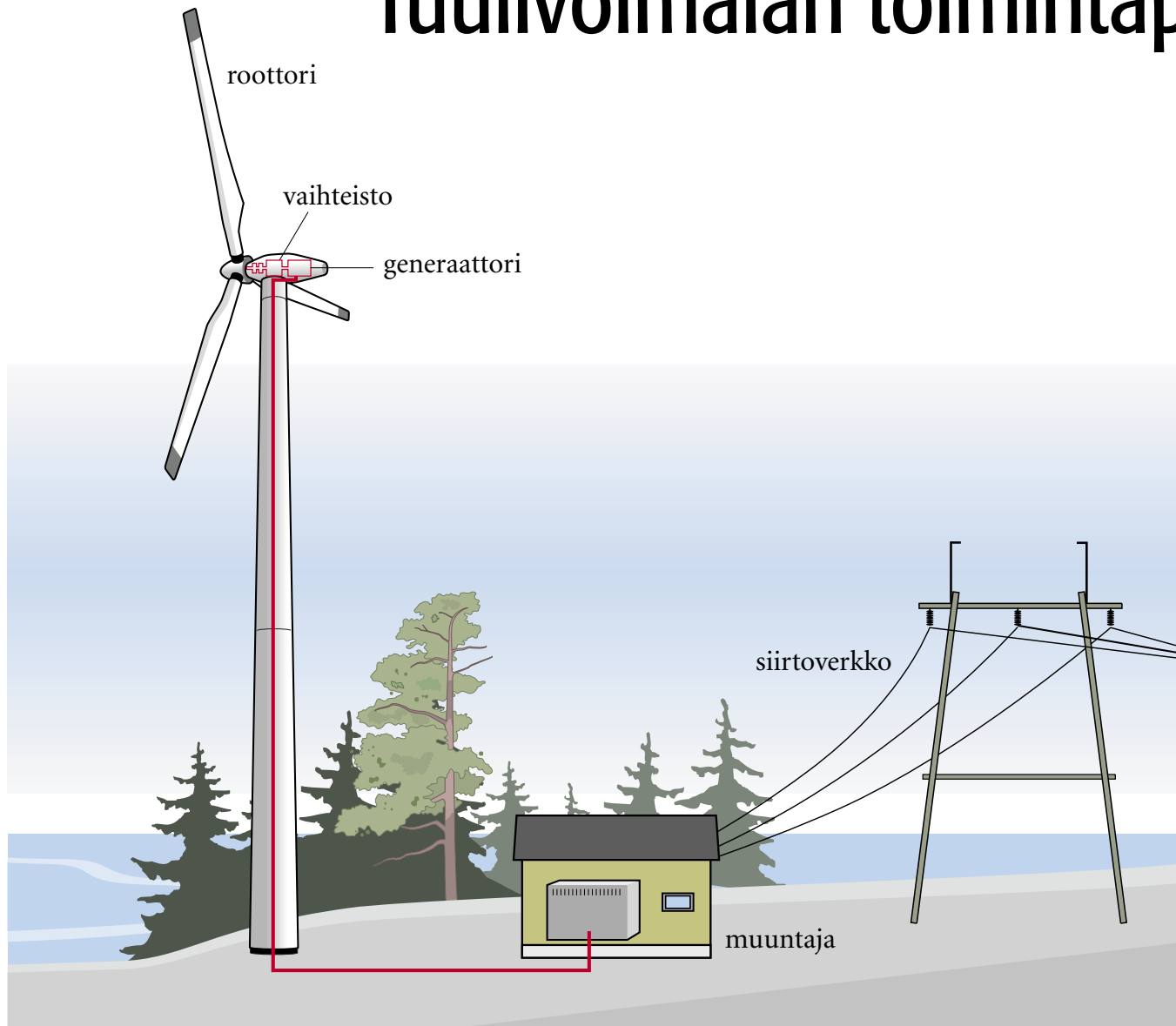
Vastapainevoimalan toimintaperiaate



Vesivoimalan toimintaperiaate

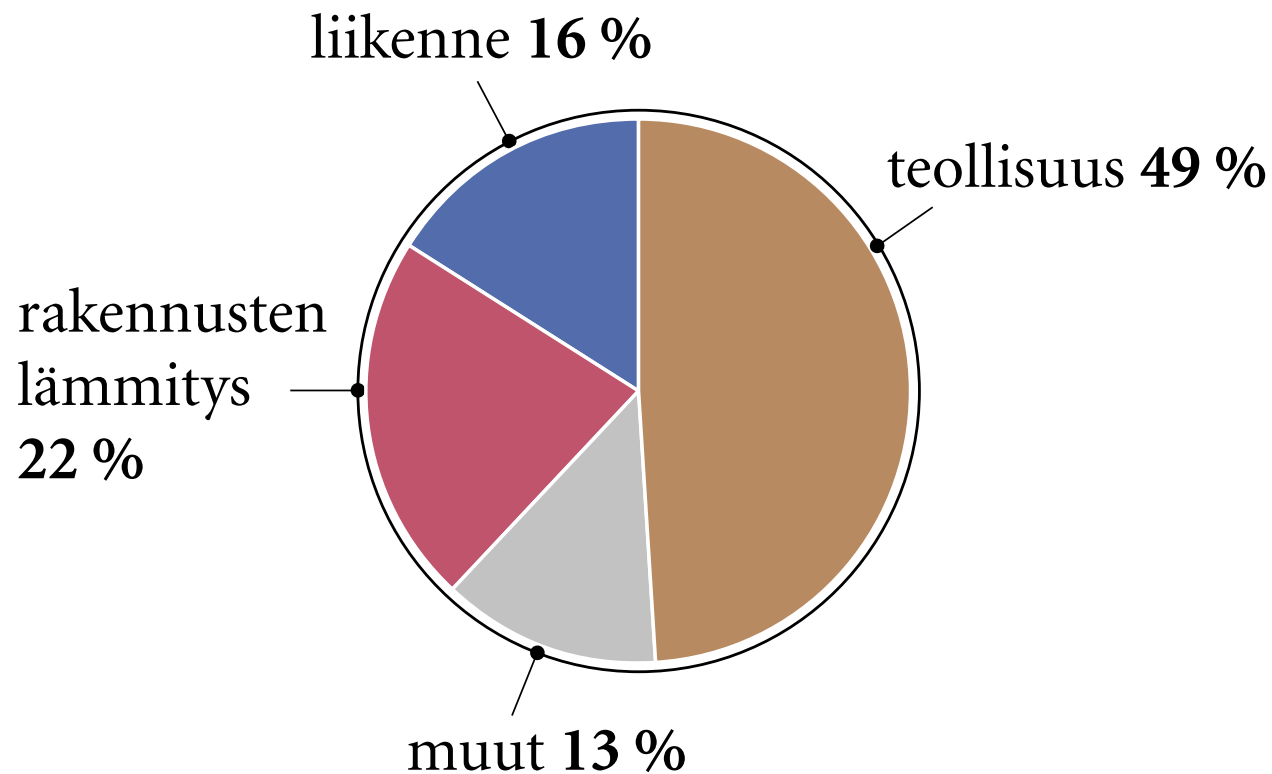


Tuulivoimalan toimintaperiaate



◀ Tuulivoimalassa muutetaan liikkuvan ilman liike-energiaa sähkövirran välittämäksi energiaksi. Joulukuussa 2004 Oulussa käynnistettiin Suomen siihen asti suurin tuulivoimala. Sen roottorin halkaisija on 90 m ja teho 3 MW. Voimalan tuottama sähkö tyydyttää 3 000 kerrostalokaksion sähkönkulutustarpeen.

Energian loppukäyttö Suomessa

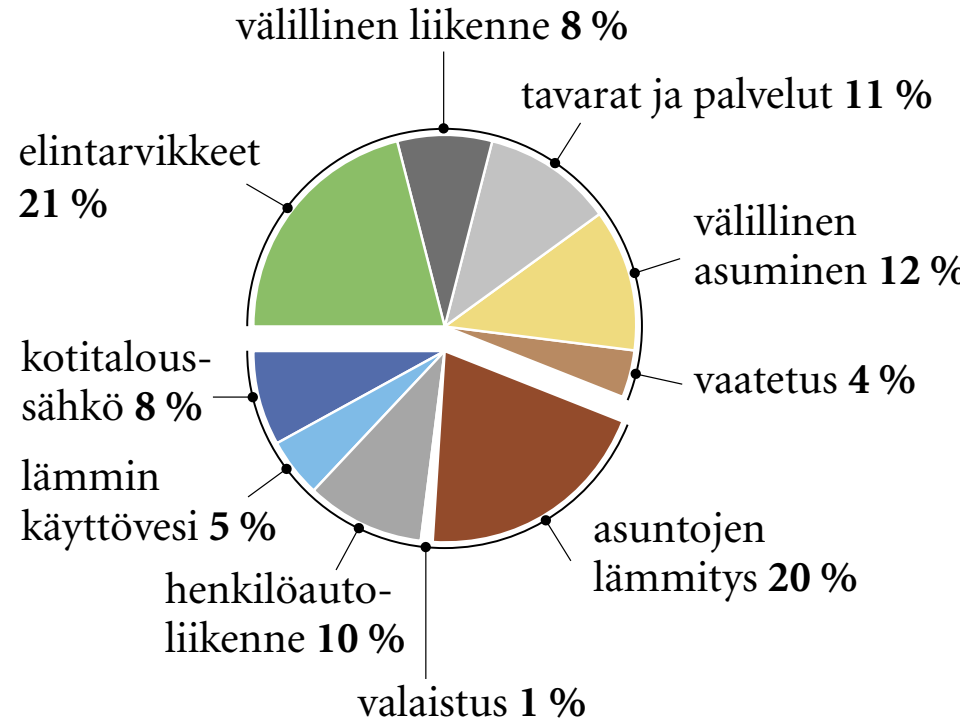


▲ Energian loppukäyttö vuonna 2002 oli 1 084 PJ.

Lähde: Tilastokeskus, Energia Suomessa 2002

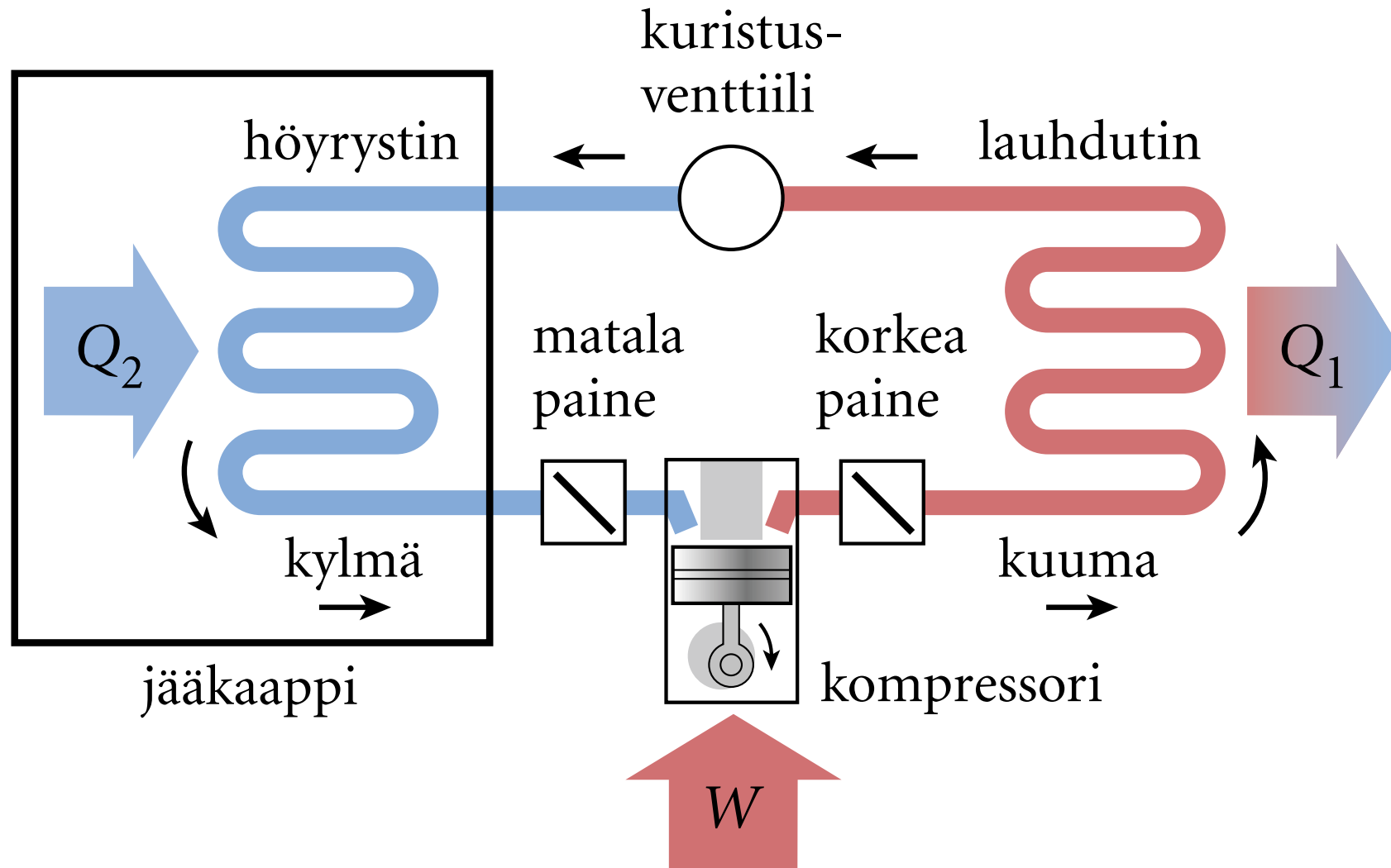
Kotitalouksien välittömän ja välillisen energiankulutuksen jakaantuminen

välillinen kulutus noin 55 %

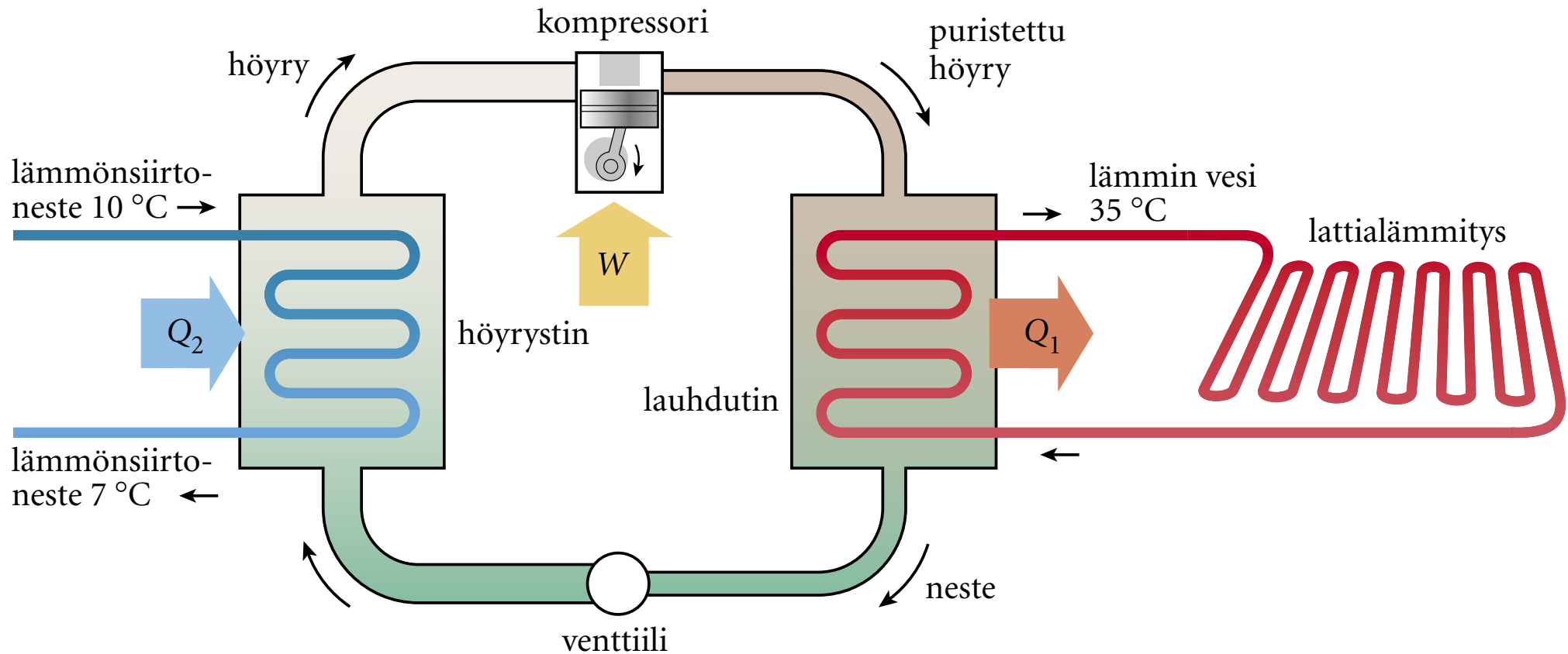


välitön kulutus noin 45 %

Jääkaapin toimintaperiaate



Lämpöpumpun toimintaperiaate



Kasvihuoneilmiö

