

SFS

Suomen Standardisoimisliitto

SI-opas

SI-opas:2019

Kansainvälinen suure- ja yksikköjärjestelmä
International System of Quantities and Units

SFS 2019

7. painos

ISBN 978-952-242-411-2

Sisällys

Esipuhe	4
1. Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä SI	5
2. Suure ja yksikkö	7
3. ISQ-suurejärjestelmä ja SI-yksikköjärjestelmä	8
4. Kerrannais- ja alikerrannaisyksiköt	10
5. Muut yksiköt	12
6. Kirjoitusohjeita	13
6.1 Suureet ja yksiköt	13
6.2 Suureiden arvot	15
6.3 Sijapäätteiden merkitseminen	16
6.4 Lausekkeet ja yhtälöt	17
7. Eri aloilla käytetyt suureet ja yksiköt	19
7.1 Avaruus ja aika	20
7.2 Mekaniikka	26
7.3 Lämpö	36
7.4 Sähkömagnetismi	42
7.5 Valo	52
7.6 Ääni	57
7.7 Fysikaalinen kemia ja molekyyllifysiikka	59
7.8 Atomi- ja ydinfysiikka	62
7.9 Dimensiottomat suureet	69
7.10. Ordinaalisuureet	70
Standardit ja muut julkaisut	71

Esipuhe

SI-opas perustuu kansainvälisiin mittayksikköstandardeihin soveltaen niitä suomenkielisen käytön tarpeisiin. Sen 1. painos ilmestyi vuonna 1973. Opas pyritään pitämään kansainvälisten standardien kehityksen tasalla korjaamalla sitä tarpeen vaatiessa Suomen Standardisoimisliitto SFS:n standardisointiryhmän SR102 Mittayksiköt suositusten mukaisesti. Tämä oppaan 7. painos tuli tarpeelliseksi, kun SI-mittayksikköjärjestelmän perusyksiköiden määritelmien uudistamisesta päätettiin Yleisessä paino- ja mittakonferenssissa Versailles'ssa marraskuussa 2018. Uudistus on voimassa Maailman metrologiapäivästä 20.5.2019 alkaen.

Helsingissä 2.5.2019

Standardisointiryhmä SR102 Mittayksiköt

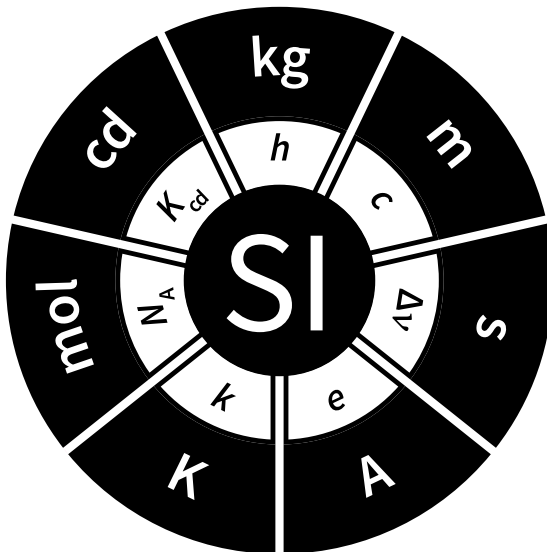
1. Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä SI

SI-mittayksikköjärjestelmästä (*Système International d'Unités*) käytetään kaikilla kielillä lyhennettä SI.

SI:n lähtökohtana on metrijärjestelmä, joka hyväksyttiin vuonna 1875 Pariisissa kansainvälisellä metrisopimuksella (Convention du Mètre). Sopimuksen allekirjoitti tuolloin 17 valtiota. Suomi liittyi sopimukseen 1886. Nykyisellään allekirjoittaneita valtioita on 59.

Vuonna 1901 italialainen Giovanni Giorgi ehdotti luotavaksi samakantaisen yksikköjärjestelmän, joka muodostuu kolmesta mekaniikan yksiköstä ja yhdestä sähköopin yksiköstä. Vuonna 1954 10. yleinen paino- ja mittakonferenssi CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) hyväksyi kuusi perusyksikköä: metri, kilogramma, sekunti, ampeeri, kelvin ja kandela. 11. CGPM vuonna 1960 nimesi näihin yksikköihin perustuvan järjestelmän Kansainväliseksi mittayksikköjärjestelmäksi SI.

SI-järjestelmä ei ole staattinen. Sitä täydennetään ja täsmennetään tieteen edistyessä jatkuvasti vastaamaan yhä tarkempien mittausten vaatimuksia. Vuonna 1971 järjestelmään lisättiin seitsemäs perusyksikkö: ainemäärän yksikkö mooli (mol). Mahdollisuuksia yksiköiden määritelmien täsmentämiseksi tutkitaan jatkuvasti. Kandelan nykyisen määritelmän on vahvistanut 16. CGPM vuonna 1979 ja metrin määritelmän 18. CGPM vuonna 1983. Marraskuussa 2018 26. CGPM päätti SI:n suurimmasta muutoksesta sen käyttöönoton jälkeen: kaikki perusyksiköt määritellään luonnonvakioiden tai muiden vakioiden avulla.



Uudistuksessa perusyksiköt (kg, m, s, A, K, mol, cd) säilyvät ennallaan, mutta ne määritellään täsmällisemmin: Kilogramma, ampeeri, kelvin ja mooli määritellään Planckin vakion h , alkeisvarauksen e , Boltzmannin vakion k ja Avogadron vakion N_A avulla asettamalla niille CODATAN¹ vuoden 2017 arvot tarkkamääräisinä. Metrin, sekunnin ja kandelan määritelmät eivät muutu. Perusyksiköiden toteutustapa ei enää sisälly määritelmään, vaan siitä annetaan erilliset ohjeet. Kaikki niiden avulla ilmaistut suureiden arvot pysyvät ennallaan.

Tällainen SI-järjestelmän uudistaminen oli tarpeellista, koska aineellisen kappaleen ja aineen ominaisuuksiin perustuvat määritelmät rajoittavat saavutettavaa tarkkuutta. Yksiköiden sitominen luonnonvakioihin tai muuten tarkkamääräisiin vakioihin mahdollistaa yksiköiden toteuttamisen tarkimmalla mahdollisella tavalla. Näin täsmennetty SI-järjestelmä voi tehdä ajan mittaan mahdolliseksi tekniikoita ja empiirisiä tutkimustuloksia, joiden merkitystä emme vielä osaa edes kuvitella.

Suomessa siirryttiin metrijärjestelmän käyttöön 1.1.1887 keisari Aleksanteri III:n annettua asiasta Suomen Suuriruhtinaan asetuksen 16. heinäkuuta 1886. Aloitteen metrijärjestelmään siirtymisestä olivat tehneet jo vuosina 1863–1864 koolla olleet Valtiosäädät. Nykyään mittayksiköistä säädetään laissa mittayksiköistä ja mittayksikköjärjestelmästä (1156/1993) ja mittayksikköasetuksessa. Näillä säädöksillä saatetaan Suomessa voimaan myös EU:n mittayksikködirektiivin (80/181/ETY) määräykset. Mittauslaitelaisissa (707/2011) säädetään muun muassa viranomaisen mittauksista, kaupankäynnin mittauksista ja mittayksiköiden käytöstä. Virallisissa yhteyksissä ja kaupankäynnissä SI-yksiköiden käyttö on pääsääntöisesti pakollista. Merkittävimmät poikkeamat ovat lentoliikenteessä korkeuden mittayksikkönä käytettävä jalka ja merenkulussa käytössä olevat matkan mittayksikkö merimaili ja nopeuden yksikkö solmu.

Metrisopimuksen allekirjoitus merkitsee sitoumusta noudattaa julkisissa asiakirjoissa SI-järjestelmää ja käyttää sitä koskevien standardien mukaista terminologiaa ja merkintätapoja. Muutoin standardit ovat suosituksia, joita noudatetaan harkinnan mukaan. Yhteisesti sovittujen termien ja merkintöjen käyttö on esityksen yhteisen ymmärrettävyyden edellytys.

¹ Committee on Data of the International Council for Science

2. Suure ja yksikkö

Suureet ovat luonnon olioiden (kappaleiden, hiukkasten, aineen, kenttien) ja ilmiöiden *ominaisuuksia*, jotka voidaan mitata tai laskea muiden mitattujen suureiden perusteella (esimerkki 1). Ominaisuudesta tulee suure, jos sille voidaan määritellä *mittayksikkö*. *Yksikkö* on suureen sovittu erityistapaus, jota käytetään vertailuarvona. Yksikön avulla ominaisuuden suuruus tai voimakkuus voidaan ilmaista *suureen arvona*, joka on lukuarvon ja yksikön tulo (esimerkki 2).

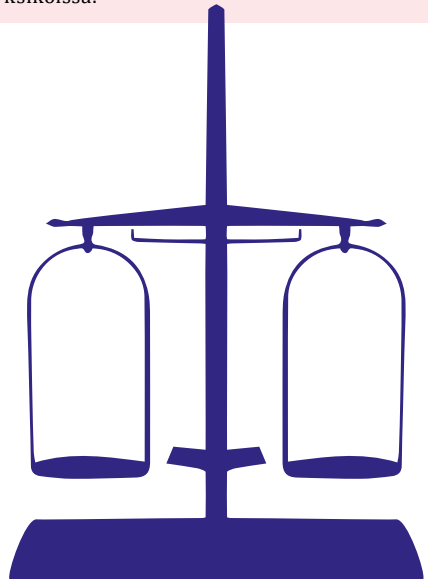
Suureita esitetään kirjaintunnuksilla, joita voidaan käyttää suureiden välisiin yhteyksiin perustuvassa *suurelaskennassa*. Standardin mukaisten merkintätapojen noudattaminen helpottaa suurelaskentaa. Suureen lukuarvo riippuu valitusta yksiköstä toisin kuin suureen arvo. Siksi suureyhtälöt ovat fysikaalisessa laskennassa parempia kuin lukuarvoyhtälöt.

Esimerkki 1. Massa on *suure*, joka ilmaisee kappaleen hitauden eli kyvyn vastustaa liiketilän muutoksia. Sen ensisijainen standardin mukainen *tunnus* on *m*. Kappaleen massa voidaan mitata punnitsemalla. Tietyn nestemäärän massa *m* voidaan laskea mitatun tilavuuden *V* ja nesteen tunnetun tiheyden ρ perusteella, $m = \rho \cdot V$

Esimerkki 2. Metri ja jalka, joiden *tunnukset* ovat *m* ja *ft*, ovat suureen "pituus" kaksi eri *yksikköä*. Kappaleen pituus voi olla esimerkiksi $l = 2,300 \text{ m} \approx 7,546 \text{ ft}$. Tässä $2,300 \text{ m}$ ja $7,546 \text{ ft}$ ilmaisevat *suureen* "pituus" *arvon* tälle kappaleelle, $2,300$ ja $7,546$ ovat sen *lukuarvot* näissä yksiköissä.

HUOM: "Suureen arvo" on käsitteellinen yleistermi. Tietyn suureen arvosta puhuttaessa sana "arvo" on yleensä tarpeeton. Ei sanota "kappaleen massan arvo on..." vaan "kappaleen massa on..."

HUOM: Suureesta ja sen arvosta puhuttaessa on epämääräisyyden välttämiseksi syytä ilmaista se olio tai ilmiö, jonka ominaisuudesta on kysymys. Sanotaan siis esimerkiksi "tämän kappaleen massa on..." tai "kappaleen A massa on..." eikä pelkästään "massa on..."



3. ISQ-suurejärjestelmä ja SI-yksikköjärjestelmä

Kansainvälisen suurejärjestelmän ISQ (*International System of Quantities*) lähtökohdaksi on sovittu seitsemän *perussuuretta* (Taulukko 1), joiden katsotaan olevan toisistaan riippumattomia.

Muut ISQ:n suureet ovat *johdannaisuureita*, joita on otettu ja otetaan käyttöön tiede- ja teknologiassa kohdattujen esitystarpeiden mukaan. Ne voidaan ilmaista perussuureiden algebrallisina lausekkeina niiden esittämän ominaisuuden luonteen (esimerkit 3 ja 4) tai empiiristen luonnonlakien mukaisten riippuvuuksien (esimerkki 5) perusteella.

SI-järjestelmässä on seitsemän *perusyksikköä* (Taulukko 1), jotka ovat CGPM:n vahvistamat ISQ-perussuureiden yksiköt. Niiden toteutuksesta ja toteuttamisen kehittämisestä huolehtii Pariisiin lähistöllä sijaitseva Kansainvälinen paino- ja mittatoimisto BIPM (Bureau International des Poids et Mesures).

ISQ-johdannaisuureiden yksiköt ovat SI-järjestelmän *johdannaisyksiköitä*. Ne muodostetaan perusyksiköiden algebrallisina lausekkeina, jotka vastaavat perussuureiden avulla ilmaistuja johdannaisuureiden lausekkeita (esimerkit 3–5).

Näin saadut johdannaisyksiköt ovat perusyksiköiden potenssien (positiivisten tai negatiivisten) tuloja ilman lukuarvokertoimia. Tämän perusteella SI-yksiköiden sanotaan olevan samakantaisia. Jokaista suureen lajia kohti on vain yksi SI-yksikkö. Samankantaisuudesta seuraa, että SI-yksiköitä käytettäessä suureiden arvot voidaan sijoittaa suureyhtälöihin sellaisinaan ilman muuntokertoimia.

Perussuureiden eksponentit johdannaisuureen lausekkeessa määrittelevät johdannaisuureen *dimension* (viite *SFS-ISO 80000-1*).

Taulukko 1. ISQ-suurejärjestelmän perussuureet ja niiden SI-perusyksiköt.

ISQ-perussuure	SI-perusyksikkö	
	Nimi	Tunnus
pituus	metri	m
massa	kilogramma	kg
aika	sekunti	s
sähkövirta	ampeeri	A
termodynaaminen lämpötila	kelvin	K
ainemäärä	mooli	mol
valovoima	kandela	cd

Joukolla SI-johdannaisyksiköitä on annettu erityisnimet ja niitä vastaavat tunnukset (taulukko 2). Näitä tunnuksia voidaan käyttää myös muiden johdannaisyksiköiden esittämiseen (esimerkki 6). Erityisnimiä ja -tunnuksia suositellaan käytettäväksi suureiden arvoja ilmoitettaessa, erityisesti taulukoissa. Laskennassa on sen sijaan usein käytännöllistä käyttää, virheiden välttämiseksi, johdannaisyksiköiden perusyksiköistä muodostettuja lausekkeita, jotka ovat yksikäsitteisiä.

Taulukko 2. ISO-johdannaisuureet, joiden SI-yksiköillä on erityisnimi

Suure	Yksikkö		Yksikön lausekkeita
(taso)kulma	radiaani	rad	1 rad = 1 m/m = 1
avaruuskulma	steradiaani	sr	1 sr = 1 m ² /m ² = 1
taajuus	hertsi	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
voima	newton	N	1 N = 1 kg·m/s ²
paine, jännitys	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
energia, työ, lämpömäärä	joule	J	1 J = 1 Nm
teho, säteilyvirta	watti	W	1 W = 1 J/s
sähkövaraus	coulombi	C	1 C = 1 As
potentiaaliero, jännite	voltti	V	1 V = 1 W/A
kapasitanssi	faradi	F	1 F = 1 C/V
resistanssi	ohmi	Ω	1 Ω = 1 V/A
konduktanssi	siemens	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
magneettivuo	weber	Wb	1 Wb = 1 Vs
magneettivuon tiheys	tesla	T	1 T = 1 Wb/m ²
induktanssi	henry	H	1 H = 1 Wb/A
celsiuslämpötila	celsiusaste ¹⁾	°C	1 °C = 1 K
valovirta	luumen	lm	1 lm = 1 cd·sr
valaistusvoimakkuus	luksi	lx	1 lx = 1 lm/m ²
aktiivisuus	becquerel	Bq	1 Bq = 1 s ⁻¹
absorboitunut annos ²⁾	gray	Gy	1 Gy = 1 J/kg
annosekvivalentti ²⁾	sievert	Sv	1 Sv = 1 J/kg
katalyyttinen aktiivisuus	katal	kat	1 kat = 1 mol/s
¹⁾ Celsiusaste on yksikön kelvin erityisnimi. Sitä käytetään celsiuslämpötilojen ilmaisemiseen. ²⁾ Ionisoivan säteilyn vaikutuksia esittävä suure.			

HUOM: Standardissa ISO 80000-8 on samakantaisina SI-yksiköinä mainittu myös äänen logaritmissen taajuusvälin yksiköt oktaavi (oct, 1 oct = lb 2 = 1) ja dekadidi (dec, 1 dec = lb 10 ≈ 3,32 oct).

- Esimerkki 3.** Tilavuuden SI-yksikön 1 m^3 määrittelee kuution tilavuuden lauseke, $V = l^3$, jossa l on kuution särmän pituus, yksikkö m.
- Esimerkki 4.** Kiihtyvyyden SI-yksikön 1 m/s^2 määrittelee levosta lähtevän kappaleen tasaisen kiihtyvyyden lauseke, $a = v/t$, jossa v on loppunopeus, yksikkö m/s, ja t on aika, yksikkö s.
- Esimerkki 5.** Voiman SI-yksiköllä $1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$ on erityisnimi newton, N. Yksikön määrittelee dynamiikan peruslaki, jonka mukaan kappaleen massan m , yksikkö kg, ja kiihtyvyyden a , yksikkö m/s^2 , tulo ilmaisee kappaleeseen vaikuttavan voiman $F = ma$.
- Esimerkki 6.** Energian yksikkö joule on johdannaisyksikkö, jolla on oma nimi ja tunnus J. Perusyksikköjen avulla se voidaan ilmaista muodossa $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$. Yhteydestä riippuen sille voidaan käyttää erilaisia muiden johdannaisyksikköjen avulla ilmaistuja esitysmuotoja kuten Nm (newtonmetri) ja Ws (wattisekunti).

4. Kerrannais- ja alikerrannaisyksiköt

CGPM on vahvistanut perusyksiköille joukon SI-etuliitteitä (taulukko 3). Etuliite merkitsee yksikön kertomista tietyllä kymmenen potenssilla. Etuliitteellisiä yksiköitä kutsutaan kerrannais- tai alikerrannaisyksiköiksi sen mukaan, onko potenssin eksponentti positiivinen vai negatiivinen (esimerkki 7).

Taulukko 3. Kerrannais- ja alikerrannaisyksiköiden etuliitteet.

Kerroin	Etuliite	
	Nimi	Tunnus
10^{24}	jotta	Y
10^{21}	tsetta	Z
10^{18}	eksa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hehto	h
10^1	deka	da

Kerroin	Etuliite	
	Nimi	Tunnus
10^{-1}	desi	d
10^{-2}	sentti	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	tsepto	z
10^{-24}	jokto	y

Kerrannais- ja alikerrannaisyksiköitä käytetään hyvin suurten ja pienten lukuarvojen välttämiseksi. Tällöin yksikkö valitaan yleensä niin, että suureen lukuarvo saadaan välille 0,1...1 000 (esimerkki 8). Ensisijaisesti käytetään etuliitteitä, joita vastaavan kertoimen eksponentti on kolmella jaollinen.

Monissa tapauksissa, esimerkiksi taulukoissa on tarkoituksenmukaista käyttää samoille suureille samoja yksiköitä, vaikka tämä väli kävisikin riittämättömäksi. Eräille suureille käytetään tietyissä yhteyksissä aina samaa yksikköä. Esimerkiksi konepiirustuksissa pituudet ilmoitetaan pääsääntöisesti millimetreinä ja meteorologiassa ilmanpaine hehtopascalina (hPa).

Johdannaisyksiköiden lausekkeissa kerrannais- ja alikerrannaisyksiköitä voidaan käyttää joustavasti suureen käyttötilanteeseen havainnollisesti liittyvän yksikön muodostamiseksi (esimerkki 9).

Suurelaskennassa voidaan välttää virheitä esittämällä kaikki suuret SI-yksikköinä ja korvaamalla kerrannaisyksikköjen etuliitteet kymmenen potensseilla.

HUOM: Kerrannais- ja alikerrannaisyksiköt eivät ole samakantaisia SI-yksiköitä.

Etuliitteitä ei voi yhdistellä (esimerkki 10). Perusyksikön kilogramma (kg) kerrannaiset ja alikerrannaiset muodostetaan lisäämällä etuliite SI-alikerrannaisyksikön gramma (g) nimeen, koska yksikön nimi sisältää etuliitteen (esimerkki 11).

Kerrannais- ja alikerrannaisyksikön potenssin eksponentti koskee aina myös etuliitettä (esimerkki 12).

Etuliitteitä voidaan käyttää muidenkin yksiköiden (esimerkki 7), myös esimerkiksi rahayksiköiden ja valuuttakoodien kanssa (esimerkki 13). Tällöin on, erityisesti kansainvälisissä yhteyksissä, vältettävä kansallisia merkintätapoja, kuten £, \$, kr ja fr (frangi), koska on käytössä monia eri puntia, dollareita, kruunuja ja frangeja.

SI-etuliitteet ilmaisevat aina tarkkoja kymmenen potensseja. Erityisesti niillä ei voi ilmaista kahden potensseja, joilla on omat standardin (SFS-ISO 80000-1) mukaiset tunnuksensa (esimerkki 14).

Esimerkki 7. Etuliitteellä kilo (k) muodostetaan yksiköstä watti (W) kerrannaisyksikkö kilowatti (kW), $1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W}$. Etuliitteellä milli (m) muodostetaan yksiköstä litra (l) alikerrannaisyksikkö millilitra (ml), $1 \text{ ml} = 0,001 \text{ l}$. Etuliitteellä mega (M) muodostetaan yksiköstä elektronivoltti (eV) kerrannaisyksikkö megaelektronivoltti, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

Esimerkki 8. On parempi kirjoittaa 4 dm^2 kuin $0,04 \text{ m}^2$ tai $40\,000 \text{ mm}^2$, samoin 4 cm^3 mieluummin kuin $0,000\,004 \text{ m}^3$ tai 4000 mm^3 .

- Esimerkki 9.** Tiheyden yksiköt $\text{g/cm}^3 = \text{kg/dm}^3 = \text{kg/l}$ ovat havainnollisia tavallisissa nesteiden ja kiinteiden aineiden tiheyden määrittämisessä. Yksikkö g/m^3 on havainnollinen kaasujen tiheyksistä puhuttaessa. Yksikkö Ω/km voi olla havainnollinen tarkasteltaessa sähköistä energiansiirtoa.
- Esimerkki 10.** Yksikköä gigawattitunti GWh, ei voi kirjoittaa muotoon MWh, joka ei merkitse mitään.
- Esimerkki 11.** Yksikön milligramma mg tunnusta ei voi kirjoittaa muotoon μkg .
- Esimerkki 12.** $1 \text{ km}^2 = (1 \text{ km}) \cdot (1 \text{ km}) = 10^6 \text{ m}^2$, eikä 10^3 m^2 .
 $1 \text{ ms}^{-2} = (10^{-3} \text{ s})^{-2} = 10^3 \text{ s}^{-2}$, tämä siis ei ole kiihtyvyyden yksikkö.
- Esimerkki 13.** $15 \text{ M€} = 15\,000\,000 \text{ €}$, $21 \text{ kGBP} = 21\,000 \text{ GBP}$ (Englannin puntaa),
 $31 \text{ MUSD} = 31\,000\,000 \text{ USD}$ (Yhdysvaltain dollaria),
 $41 \text{ GSEK} = 41\,000\,000\,000 \text{ SEK}$ (Ruotsin kruunua).
- Esimerkki 14.** $1 \text{ kbit} = 1\,000 \text{ bit}$, $2^{10} = 1\,024 \text{ bit} = 1 \text{ Kibit} = 1 \text{ kibibit}$
 $1 \text{ Mbit} = 1\,000\,000 \text{ bit}$, $2^{20} = 1\,048\,576 \text{ bit} = 1 \text{ Mibit} = 1 \text{ mebibit}$.

5. Muut yksiköt

Käytössä on paljon myös *SI-järjestelmään kuulumattomia yksiköitä*. Niitä esiintyy tieteen ja teknologian erityisaloilla, tuotannossa, kaupassa, liikenteessä ym., ja niitä kohdataan siksi usein myös arkielämässä. ISO/IEC 80000 -standardisarjassa niitä on luokiteltu sen mukaan, miten tarkoituksenmukaista niiden käyttäminen on SI:n rinnalla.

Joukon tällaisia yksiköitä CIPM (Comité International des Poids et Mesures), OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) tai ISO ja IEC yhdessä, ovat hyväksyneet SI-järjestelmän kanssa käytettäviksi *lisäyksiköiksi*.

Lisäyksiköistä osa on *hyväksytty pysyvästi* niiden vakiintuneen käytännöllisen merkityksen vuoksi. Niitä ovat erityisesti ajan yksiköt minuutti (min), tunti (h) ja vuorokausi (d), kulman yksiköt aste, minuutti ja sekunti sekä tilavuuden yksikkö litra (l, L), ja massan yksikkö tonni (t). Tieteellisen merkityksen vuoksi on pysyviksi lisäyksiköiksi hyväksytty myös esimerkiksi modernissa fysiikassa vakiintuneet massan ja energian yksiköt dalton (Da), elektronivoltti (eV), pituuden tähtitieteellinen yksikkö (ua) sekä akustiikassa tarpeelliset logaritmiset tason yksiköt neperi (Np) ja beli (B).

Joillekin tietyillä erityisaloilla vakiintuneessa käytössä oleville yksiköille on annettu *lisäyksikön asema toistaiseksi* (currently). Näitä ovat esimerkiksi pinta-alan yksikkö aari (a), pituuden yksikkö ångström (Å), ja linssin taittokyvyn yksikkö dioptria (D).

Lisäyksiköitä voidaan käyttää tarvittaessa johdannaisyksiköiden muodostamiseen. Tavallisimpia tällaisia yksiköitä ovat nopeuden yksikkö km/h ja energian yksikkö Wh.

Tietyistä lisäyksiköistä voidaan muodostaa SI-etuliitteiden avulla myös kerrannais- ja alikerrannaisyksiköitä, esimerkkeinä ml, ha, dB, kWh ja MeV.

Käytössä on myös, tieteen tai tekniikan alakohtaisten taikka kansallisten perinteiden vuoksi paljon sellaisia yksiköitä, joita voidaan pitää *vanhentuneina ja tarpeettomina*. Sellaisia ovat esimerkiksi *cgs-yksiköt*, *brittiläiset yksiköt* (Imperial Units) ja *yhdysvaltalaiset yksiköt* (US Customary Units). ISO/IEC 80000 -sarjan standardien liitteinä on varsin kattavat alakohtaiset taulukot näistä yksiköistä. Vaikka standardit suosittavatkin niiden käytön välttämistä (yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta) ja vaikka vanhentuneet yksiköt jäävätkin pois käytöstä, niiden tunteminen on hyödyllistä esimerkiksi vanhojen asiakirjojen, kirjojen ja artikkeleiden tulkitsemiseksi.

Monilla erityisaloilla käytetään sellaisia SI-järjestelmään kuulumattomia yksiköitä, jotka ovat hyvin perusteltuja alalle ominaisten suuruussuhteiden vuoksi taikka muuten tieteellisistä tai käytännöllisistä syistä, ja joita ei ole vahvistettu lisäyksiköiksi mutta joita ei niiden merkityksen vuoksi ole suositettu poistettaviksi käytöstä. Niitä ovat erityisesti hiukkasfysiikan *”luonnolliset yksiköt”* sekä atomifysiikassa ja kvanttikemiassa käytetyt *”atomyyksiköt”*, jotka kummatkin ovat yksiköiksi valittuja luonnonvakioita.

Periaatteessa on mahdollista käyttää mitä tahansa yksiköitä, kunhan niiden suhteet SI-yksiköihin on määritelty niin, että niissä ilmaistut suureiden arvot voidaan palauttaa tunnettujen *muuntokertoimien* avulla SI-järjestelmän mukaisiksi. Suurelaskennassa tämä palauttaminen on välttämätöntä ennen laskutoimituksiin ryhtymistä.

6. Kirjoitusohjeita

6.1 Suuret ja yksiköt

Suureiden ja yksiköiden nimet ovat erilaisia eri kielissä. Niiden tunnuksat ovat kuitenkin kansainvälisiä ja kielestä riippumattomia. Yksikön tunnus ilmaisee aina yksikön. Sen sijaan useammallakin suureella esiintyy samoja tunnuksia (esimerkki 15). Tästä syystä käytettyjen tunnusten merkitykset on aina ilmaistava.

Suureiden, yksiköiden ja etuliitteiden tunnuksat on määritelty kirjaintyyppiä ja -kokoja myöten. Suureiden tunnuksat kirjoitetaan kurstiivilla, yksikköjen tunnuksat etuliitteineen pystykirjaimin, riippumatta muun tekstin kirjainlajista. Vektorisuureiden tunnuksat myös lihavoidaan (esimerkki 16). Vektorisuureen itseisarvon ja skalariarvon tunnus on lihavoimaton (esimerkki 17).

HUOM: Tietojärjestelmien asetuksista saattaa aiheutua ongelmia, jotka ilmenevät näkyvimmin tietotekniikalla tuotetuissa piirustuksissa. Järjestelmät eivät aina hyväksy oikeita merkintätapoja. Esimerkiksi isojen ja pienten kirjainten epätarkka käyttö sellaisissa yksikköjen tunnuksissa kuin mV, Hz, kN, kg sekä järjestelmän kyvyttömyys tuottaa kreikkalaisia kirjaimia, erityisesti etuliitteen mikro tunnusta μ , voivat aiheuttaa sekaannuksia.

Suureiden ja yksiköiden nimet ovat yleisnimiä, vaikka ne olisi johdettu erisnimistä. Ne kirjoitetaan vain virkkeen alussa isolla alkukirjaimella (esimerkki 18). Myös suurenimi celsiuslämpötila ja yksikkö celsiusaste kirjoitetaan pienellä, vaikka Celsius on erisnimi. Poikkeuksen muodostavat suurenimet, joissa erisnimi on genetiiviattribuuttina. Näitä ovat kaikki nk. karakteristiset luvut kuten Machin luku ja Reynoldsin luku.

Tekstissä käytetään pääsääntöisesti suureiden ja yksiköiden täydellisiä nimiä. Tarvittaessa, esimerkiksi kun mainitut suureet esiintyvät tekstiin liittyvissä kaavioissa, taulukoissa tai suurelaskennassa, tekstiä täsmennetään merkitsemällä tunnuksat suureiden jälkeen (esimerkki 19).

Suureiden ja yksiköiden tunnuksia käytetään yleensä vain merkintätapoja sovitessa sekä suureiden lausekkeita ja arvoja ilmaistaessa sekä suurelaskennassa (esimerkki 19 ja 20).

Jos yksikön nimi on muodostettu henkilön nimestä, tunnuksen ensimmäinen kirjain on suuraakkonen. Muuten yksiköiden tunnuksat kirjoitetaan pienaakkosilla (myös virkkeen alussa), poikkeuksena litran vaihtoehtoinen tunnus L. Virkkeen alkamista tunnuksella pitää välttää (esimerkit 21 ja 25).

Yksiköille ei pidä käyttää muita tunnuksia tai lyhenteitä kuin kansainvälisiä yksikön tunnuksia (esimerkki 22).

Suureiden ja yksikköjen tunnuksat eivät ole lyhenteitä vaan tunnuksia, joiden jälkeen ei merkitä pistettä (ellei tunnus lopeta virkettä).

Suureen erityinen luonne tai sen liittyminen tarkasteltavaan tilanteeseen voidaan ilmaista liittämällä suureen tunnukseen tähän viittaavia indeksejä tai muita lisämerkintöjä. Indekseinä olevat suureen tunnuksat ja juoksevaa numeroa tai järjestysnumeroa esittävät kirjaintunnuksat kirjoitetaan kursivilla. Muut indeksit kirjoitetaan pystykirjaimin (esimerkki 23).

Yksiköiden tunnuksiin tällaisia merkintöjä ei voi liittää, eikä yksiköihin voi muullaakaan tavoin sisällyttää spesifioivia sivumerkityksiä (esimerkki 24).

Johdannaissuureiden yksiköiden tunnuksat kirjoitetaan kerto- ja jakolaskun merkintäohjeiden mukaisesti.

Esimerkki 15. Standardeissa V esiintyy tilavuuden ja potentiaalın, p liikemäärän ja dipolimomentin, ρ tiheyden, varaustiheyden ja resistiivisyyden tunnuksena.

Esimerkki 16. Massa m , metri m , milliampeeri mA , paine p , liikemäärä p , pikofaradi pF , teho P , pascal Pa , petametri Pm , voima F , säde r , paikkavektori \mathbf{r} , Machin luku Ma .

Esimerkki 17. Nopeus vektorina \mathbf{v} , vauhti $|\mathbf{v}| = v$, ratanopeus (tai nopeus yksiulotteisessa tarkastelussa) v .

- Esimerkki 18.** Voiman SI-yksikkö on newton. Newton on voiman SI-yksikkö.
- Esimerkki 19.** Yleensä sanotaan: Tasapainotilassa kaasun tiheys, paine ja lämpötila ovat kaikkialla samat. Tarvittaessa: Tasapainotilassa kaasun tiheys ρ , paine p ja lämpötila T ovat kaikkialla samat. Ei pidä sanoa: Tasapainotilassa kaasun ρ ja T ovat kaikkialla samat.
- Esimerkki 20.** Johtimen resistanssi on $4,7 \Omega$. Kun tunnetaan laatikon korkeus h ja pohjan pinta-ala A , voidaan laskea laatikon tilavuus $V = hA$. Akku, jonka lähdejännite on $U = 12 \text{ V}$, aiheuttaa virtapiiriin, jonka resistanssi on $R = 8,6 \text{ k}\Omega$, sähkövirran $I = U/R = (12 \text{ V})/(8\,600 \Omega) \approx 1,40 \text{ mA}$.
- Esimerkki 21.** Kilogramman tunnus on kg.
"kg on kilogramman tunnus." (mahdollinen mutta ei suositeltava).
- Esimerkki 22.** Yksikön kuutiosenttimetri tunnus on cm^3 . Lyhennettä cc. ei pidä käyttää. Yksiköiden neliometri ja kuutiometri tunnukset ovat m^2 ja m^3 . Lyhenteitä neliöm. ja kuutiom. ei pidä käyttää. Ajan yksiköiden sekunti ja tunti tunnukset ovat s ja h. Lyhenteitä sek. ja t. ei pidä käyttää.
- Esimerkki 23.** Kappaleiden A ja B massat m_A ja m_B . Hiukkasen alkua- ja loppunopeus v_i ja v_f ($i = \text{initial}, f = \text{final}$) tai v_{alku} ja v_{loppu} . Kaasun isoterminen ja isobaarinen ominaislämpökapasiteetti c_v ja c_p . Sähkövirta hetkellä t_0 on $I_0 = I(t_0)$.
Tehollinen jännite U_{eff} .
Kitka(voima) F_μ (μ on kitkakertoimen tunnus). Voiman x -komponentti F_x .
Suureen a arvot a_1, a_2, \dots, a_n ja niiden summa $\sum_{i=1}^n a_i$.
- Esimerkki 24.** On kirjoitettava "tehollinen jännite on $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$ " eikä "jännite on $U = 230 \text{ V}_{\text{eff}}$ ", "maksimiteho on 50 kW " eikä "teho on 50 kWp " ($p \triangleq \text{peak}$), "absoluuttinen paine on $8,0 \text{ bar}$ " eikä "paine on $8,0 \text{ bara}$ ".

6.2 Suureiden arvot

Suureen lukuarvo ja yksikön tunnus muodostavat kokonaisuuden, suureen arvon, jota ei pidä jakaa eri riveille ja joka kirjoitetaan kokonaan pystykirjaimin. Yksikön tunnus erotetaan lukuarvosta sitovalla välilyönnillä (esimerkki 25 ab). Tasokulman yksiköt aste, minuutti ja sekunti, ovat ainoat ilman välilyöntiä kirjoitettavat tunnukset (esimerkki 25 c).

Suureiden arvoja ilmaistaessa käytetään suureen nimeä. Sanaa "arvo" ei pidä tällöin käyttää suureen nimen yhteydessä, ellei käyttöyhteys sitä erityisesti vaadi (esimerkki 26).

Suureen arvon epävarmuudesta ja sen ilmaisemisesta on kattava esitys oppaassa JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. Yksi merkintätapa on esitetty esimerkissä 27d.

Suomen kielessä desimaalimerkki on rivillä oleva pilkku, samoin kuin ISO-standard-
deissa (esimerkit 25 ja 27).

Pitkät luvut voidaan lukemisen helpottamiseksi ryhmitellä kolmen numeron ryhmiin
desimaalimerkistä vasemmalle ja oikealle. Ryhmät erotetaan sitovalla välilyönnillä,
ei millään muulla merkillä (esimerkki 27 bcd). Jos luku on pienempi kuin 1, desimaali-
merkin eteen on kirjoitettava 0 (esimerkki 27 c).

Vuosiluvut kirjoitetaan ilman välilyöntiä. Päivämäärien esittämiseen suositel-
laan kolmea esitystapaa: huolitellussa asiatyylissä 9. helmikuuta 2012, päiväyksissä
9.2.2012 ja kansainvälisissä yhteyksissä 2012-02-09.

Esimerkki 25. a. 25,3 m, 230 V, -18,9 °C,
b. 85,6 %, 12,3 ‰, c. 35°.

Esimerkki 26. Sanotaan "lampun teho on 40 W", eikä "lampun tehon arvo on 40 W" tai
"lampun wattimäärä on 40 W". Sanotaan "Määritä/laske (tehtävässä
kysytty) voima", ei "voiman arvo". Sen sijaan voi olla luontevaa kysyä, millä
jännitteen (sähkövirran) arvoilla tehtävässä esitetty kytkentä ei aiheuta
vaurioita.

Esimerkki 27. a. $5^{\circ} 30' 25'' \approx 5,506 9^{\circ}$. Jälkimmäistä muotoa suositellaan.
b. 1 234 568,987 654 3
c. 0,277 778 m/s.
d. Gravitaatiovakion $G = 6,674 08(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
standardiepävarmuus on $0,000 31 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$. (CODATA 2014).

6.3 Sijapäätteiden merkitseminen

Suureiden arvojen sijamuodot ilmaistaan suomen kielen rakenteen mukaisesti sija-
päätteillä, jotka liitetään yksikön tunnuksen.

Esimerkkejä: "kaksi metriä" = 2 m, "kahden metrin" = 2 m:n, "kahta metriä" = 2 m:ä.
Jakeluverkon jännite laski 230 V:sta 215 V:iin. Formulakisoissa autojen kiihtyvyydet voivat
nousta 20 m/s²:iin. Pyrin pitämään ajonopeuteni 80 km/h:ssä

Kun lukuarvo on perusmuodossa (nominatiivissa) partitiivin päätettä ei merkitä tun-
nuksen perään.

Yksiköiden baari ja mooli tunnuksia bar ja mol käytetään vain perusmuodossa:
2 bar, 3 mol. Muissa sijoissa niiden nimet kirjoitetaan aina kokonaan sijapäätteineen:
baarin, baaria, moolin, moolia jne.

Sijapäätteiden liittämistä suureiden arvoihin on mahdollista välttää kirjoittamalla
luvut ja yksiköiden nimet tekstinä tai muuttamalla lauserakennetta.

Esimerkkejä: Jakeluverkon jännite laski 230 voltista 215 volttiin/arvosta 230 V arvoon 215 V. Formulakisoissa autojen kiihtyvyydet voivat nousta 20 metriin per sekunti toiseen/arvoon 20 m/s². Formulakisoissa autot voivat saavuttaa kiihtyvyyden 20 m/s². Pysin pitämään ajonopeuteni nopeudessa 80 km/h.

HUOM: Teknisessä tekstissä yksikön tunnuksen genetiivin pääte jätetään usein merkitsemättä sellaisissa laitteiden tai ilmiöiden nimellis- tai mitoitusarvoja kuvaavissa sanaliitoissa kuin 2 m mitta, 5 min jatko aika tai 800 W lämmitin. Tämä käytäntö ei kuitenkaan ole yleiskielen sääntöjen mukainen. Merkintätavasta riippumatta suureen lukuarvo ja yksikkö luetaan genetiivimuodossa sanaliiton kaikissa taivutusmuodoissa. Esim. ”2 m mitalla” luetaan ”kahden metrin mitalla”.

Sijapäätteiden suomen kielen mukaisesta käytöstä on yksityiskohtaisia ohjeita standardissa SFS 4175 *Numeroiden ja merkkien kirjoittaminen*, teknisen tekstin käytänteistä esim. teoksessa Olli Nykänen: *Toimivaa tekstiä. Opas tekniikasta kirjoittaville*

6.4 Lausekkeet ja yhtälöt

Merkki = tarkoittaa ”on täsmälleen yhtä suuri kuin”
merkki \approx tarkoittaa ”on likimain yhtä suuri kuin”
merkki \sim tarkoittaa verrannollisuutta
merkki \triangleq tarkoittaa vastaavuutta

Matemaattisten lausekkeiden ja yhtälöiden kirjoitusasun tulee ensi sijassa palvella niiden rakenteen ja merkityksen oikeaa hahmottamista.

Välilyöntejä ja sulkeita on käytettävä tai jätettävä käyttämättä siten, että ne selventävät merkkien ryhmittymistä eriasteisiksi kokonaisuuksiksi ja auttavat hahmottamaan oikein esimerkiksi laskutoimitusten järjestystä.

Tulon ja osamäärän muotoiset termit on hyvä kirjoittaa tiiviiseen muotoon välttämättä tarpeettomia välilyöntejä (esimerkki 28). Summan ja erotuksen merkit niiden välissä on selvästi erotettava välilyönnein. Monimutkaisia lausekkeitä kirjoitettaessa erottamista voidaan korostaa käyttämällä tarvittaessa kahtakin välilyöntiä (esimerkki 28).

Yhtäläisyysmerkin ja sitä vastaavien merkkien molemmin puolin kuuluu olla välilyönti, joka voidaan tarvittaessa kahdentaa merkin eri puolilla olevien lausekkeiden erottumisen selventämiseksi (esimerkki 28).

Johdannaisyksikön tunnuksat rinnastuvat tulon ja osamäärän muotoisiin termihin. Osana suureen arvoa ne on kirjoitettava pääsääntöisesti ilman kertomerkkejä (esimerkki 29 a). Kertomerkkiä tarvitaan niissä monitulkintaisuuden välttämiseksi ja yleensä selvyuden vuoksi erottamaan kaksi- tai useampikirjaimiset tunnuksat muista tulon tekijöistä. Kertomerkinä on tällöin kertopiste ilman välilyöntejä (esimerkki 29 b).

Ristiä (×) ei yleensä pidä käyttää kertomerkinä, ellei sillä ole oma erityinen merkityksensä, kuten esimerkiksi vektorilaskennassa. Erityisesti sitä ei saa käyttää johdannaisyksiköiden tunnuksissa. Sitä voidaan käyttää geometrinen mittojen merkinnöissä (esimerkki 30) ja esimerkiksi eksponenttimuodossa ilmaistujen lukujen potenssiosan kertomerkinä (esimerkki 31). Se erotetaan välilyönnein, kun lukuarvon tai lausekkeen oikea hahmotus sitä edellyttää, esimerkiksi, kun suureen lukuarvossa esiintyy muita välilyönnejä.

Osamäärän merkki on joko vinoviiva, kaksoispiste tai vaakasuora viiva. Osamäärän merkin sijasta voidaan aina käyttää negatiivisia eksponentteja. Näin voidaan välttää useamman jakomerkin käyttäminen samassa termässä. Jos kuitenkin jostakin syystä halutaan käyttää useampia jakoviivoja, on jakolaskujen oikea järjestys osoitettava sulkeilla (esimerkki 32–33).

Lukuarvoisessa suurelaskennassa on huomattava, että suureen arvo on yksi kokonaisuus. Lukuarvo ja yksikkö ovat sen sisällä omia kokonaisuuksiaan, jotka erotetaan sitovalla välilyönneillä. Siksi kunkin laskutoimituksiin kuuluvan suureen arvo on rajattava sulkeilla. Näin kirjoitettujen lukuarvojen tulo on yleensä selvintä merkitä kertopisteellä.

Kaavojen yhteydessä käytetään välimerkkejä tavallisten kieliopin sääntöjen ja merkintäohjeiden mukaisesti. Kaavan jälkeen tuleva välimerkki voidaan tarvittaessa selvyden vuoksi erottaa kaavasta välilyönneillä (esimerkit 23, 25, 28, 34).

Esimerkki 28. Kirjoita: $3ax^2 + (1/2)bx + (4/3)c = 5bx^2 + 6c$.
Älä kirjoita $3 \cdot a \cdot x^2 + (1/2) \cdot b \cdot x + (4/3) \cdot c = 5 \cdot b \cdot x^2 + 6 \cdot c$

Esimerkki 29. a. Nm, kg/m³, J/(gK).
b. cd·sr, lm·h, kΩ·mA.

Esimerkki 30. (24 mm)×(36 mm) (filmin mitat), 3×(1,5 mm²) tai 3 × 1,5 mm² (sähkökaapeli, jossa on kolme johdinta, joista kunkin poikkipinta-ala on 1,5 mm²).

Esimerkki 31. 2,5·10⁹ m, 602 176 487(40) × 10⁻¹⁹ C,

Esimerkki 32. Metri sekunnissa voidaan kirjoittaa $\frac{m}{s}$, m/s tai m·s⁻¹,
merkintä ms⁻¹ tarkoittaa 1/(ms)

Esimerkki 33. $\frac{W}{m^2K} = W/(m^2K) = Wm^{-2}K^{-1}$, (merkinnät W/m²K tai W/m²/K ovat monitulkintaisia.)

Esimerkki 34. $V = abc = (12 \text{ cm}) \cdot (8 \text{ cm}) \cdot (5 \text{ cm}) = 12 \cdot 8 \cdot 5 \text{ cm}^3 = 480 \text{ cm}^3$.
 $F = mv^2/r = (2,0 \text{ kg}) \cdot (3,2 \text{ m/s})^2 / (0,5 \text{ m}) = 2,0 \cdot 3,2^2 / 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 12,8 \text{ N}$.

7. Eri aloilla käytetyt suureet ja yksiköt

Tässä luvussa esitellään alakohtaisesti ryhmiteltynä yleisimmin käytetyt suureet ja yksiköt sekä eri yksiköiden asema SI-järjestelmän suhteen. Ryhmittely noudattaa pääpiirteittäin standardisarjan ISO/IEC 80000 rakennetta, mutta suureiden esittelyjärjestys poikkeaa standardin järjestyksestä silloin, kun se on perusteltua suureiden välisten yhteyksien korostamiseksi.

Kullekin suureelle esitetään suurenimi ja tunnus sekä sen merkityksen lyhyt luonnehdinta suureen tunnistamiseksi, ellei se ole suurenimen perusteella ilmeinen. Luonnehdinnassa kiinnitetään huomiota suureen tarkoittamaan ominaisuuteen sekä ominaisuuden ”kantajaan” ja tapaan, jolla ominaisuus liittyy kantajaansa.

Suureen samakantaisen SI-yksikön lisäksi esitetään muita sille käytössä olevia yksiköitä, jotka on ryhmitelty kolmeen luokkaan:

- ☺ Lisäyksiköt eli SI-yksiköiden rinnalla pysyvään tai tilapäiseen käyttöön erityisaloilla hyväksytyt yksiköt.
- ☹ Yksiköt, joilla ei ole lisäyksikön asemaa mutta joita ei niiden merkityksen vuoksi ole luokiteltu vanhentuneiksi tai poistuviksi yksiköiksi. Näihin kuuluvat mm. atomifysiikassa ja kvanttikemiassa käytetyt luonnonvakioihin perustuvat atomiyksiköt (a.u.) ja hiukkasfysiikan luonnolliset yksiköt (n.u.), joiden perustana on niiden omat ISQ-järjestelmästä poikkeavat suurejärjestelmänsä.
- ☹ Joukko muita, vanhentuneita tai poistuviksi luokiteltuja yksiköitä, joita vielä esiintyy kirjallisuudessa ja joiden muuntokertoimet SI-yksiköiksi on sen vuoksi hyödyllistä tuntea. Mukaan on näin otettu joukko cgs-järjestelmän yksiköitä, brittiläisiä yksiköitä (GB) ja amerikkalaisia yksiköitä (US).



7.1 Avaruus ja aika

Pituus l, L

(kappaleen) *leveys* b, B , *korkeus* h, H , *paksuus* d, D , *säde* r, R , *matka* s ,
(kahden pisteen) *välimatka* d , *etäisyys* (pisteestä) r , *radiaalinen etäisyys* (akselista Q)
 r_Q , ρ , (pisteiden) *suorakulmaiset koordinaatit* x, y, z , *paikkavektori* \mathbf{r} , *siirtymä* (pisteestä toiseen) $\Delta\mathbf{r}$, (käyrän) *kaarevuussäde* ρ .

metri m. Perusyksikkö.

Metri, m, on pituuden yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä valonnopeudeksi tyhjiössä $c = 299\,792\,458$ m/s.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: km, mm, μm , nm.

- ⊙ *tähtitieteellinen yksikkö* ua. $1 \text{ ua} = 1,495\,978\,706\,91(6) \times 10^{11}$ m.
Maan etäisyys Auringosta, sovittu arvo.
ångström Å, $1 \text{ Å} = 10^{-10}$ m. Atomifysiikassa ja kristallografiassa.
Vetyatomin läpimitta on n. 1 Å .
meripeninkulma (nautical mile) M (suomessa mpk),
 $1 \text{ mpk} = 1,852$ km. Virallinen meriliikenteessä.
- ⊙ *valovuosi* (light year) ly. (Suomessa vv). $1 \text{ vv} = 9,460\,730\,472\,580\,8 \times 10^{15}$ m.
Valonnopeudella vuodessa kuljettu matka. Tähtitieteen Kansainvälisen Unionin määrittelemä arvo. Siinä vuosi on nk. juliaaninen vuosi eli 365,25 d.
parsec pc, $1 \text{ pc} \approx 206\,264,8 \text{ ua} \approx 30,856\,78 \times 10^{15}$ m. Etäisyys, jolta 1 ua näkyy 1':n suuruudessa kulmassa. Käytössä myös kerrannaiset kpc, Mpc ja Gpc.
jalka (foot) ft, $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 30,48$ cm. Virallinen lentokorkeuden yksikkö.
- ⊙ *tuuma* (inch) in, $1 \text{ in} = 2,54$ cm
jaardi (yard) yd, $1 \text{ yd} = 3 \text{ ft} = 36 \text{ in} = 91,44$ cm
maili (mile) mi, $1 \text{ mi} = 1760 \text{ yd} = 1609,344$ m

Kaarevuus κ

Käyrän kaarevuus sen jossakin pisteessä on $\kappa = d\varphi/ds = 1/\rho$, jossa $d\varphi$ on käyrän tangentin suunnan muutos tähän pisteeseen kuuluvan alkion ds matkalla ja ρ käyrän kaarevuussäde tässä pisteessä.

radiaani per metri, käänteismetri rad/m = 1/m.

Pinta-ala A

neliometri m². Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: km², dm², cm², mm².

- ☺ *aari* a, 1 a = 100 m², ja *hehtaari* ha, 1 ha = 100 a = 0,01 km². Maa- ja metsätaloudessa. *barn* b, 1 b = 10⁻²⁸ m². Vaikutusalan yksikkö ydin- ja hiukkasfysiikassa.
- ☹ *neliötuumma*, 1 in² = 6,4516 cm²
neliöjalka, 1 ft² () = 144 in² ≈ 929 cm²
neliöjaardi, 1 yd² = 9 ft² ≈ 0,836 m²
eekkeri (acre) 1 acre (), 1 acre = (22 yd)² ≈ 4 050 m²
neliömaili, 1 mi² ≈ 2,59 km².

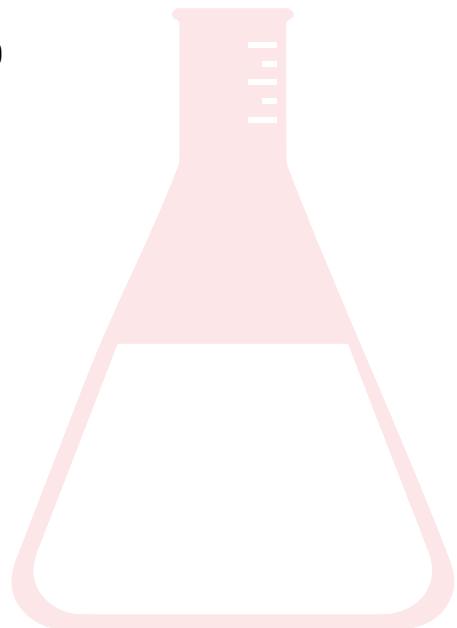
Tilavuus V

Rakeisen aineen, kuten hiekan, *irtotilavuus* on sen suoraan mitattava tilavuus, *kiintotilavuus* on sen rakeiden yhteistilavuus.

Esimerkki: Yhden hiekkakauhallisen irtotilavuus on sama kuin kauhan tilavuus. Jos se on 1 m³, hiekan kiintotilavuus voi olla esimerkiksi 0,7 m³.

kuutiometri m³. Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: km³, dm³, cm³, mm³

- ☺ *litra* l, L, 1 l = 1 dm³, 1 ml = 1 cm³. Litra ja alikerrannaiset dl, cl, ml ovat käytössä ravintotaloudessa, kerrannainen hl maataloudessa. Tunnusta L käytetään erityisesti, kun kirjainten l (kuten litra) ja I (iso i) sekä numeron 1 samankaltaisuus voi johtaa väärinkäsityksiin
- ☹ *kuutiötuumma*, 1 in³ ≈ 16,4 cm³,
kuutiojalka, 1 ft³ ≈ 28,3 dm³



Aika t

Kesto, aikaväli Δt , jaksonaika T , jaksollisen ilmiön yhden jakson kesto.
Aikavakio τ , T , eksponentiaalisesti vaimenevan ilmiön ominaisuus.

sekunti s. Perusyksikkö.

Sekunti, s, on ajan yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä cesium 133 -atomin häiritsemättömän perustilan ylihienorakennesiirtymää vastaavaksi taajuudeksi $f_{cs} = 9\,192\,631\,770$ Hz.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: ks, ms, μ s, ns, ps

- ☺ *minuutti* min, 1 min = 60 s,
tunti h, 1 h = 60 min = 3 600 s,
vuorokausi d, 1 d = 24 h = 86,4 ks.
- ☹ *vuosi* a. Vuodella ei ajan yksikkönä ole täsmällistä määritelmää. Se määritellään eri yhteyksissä eri tavoin. Tunnusta a voidaan käyttää vain yhteyksissä, jotka liittyvät kalenterivuoteen. Tällöin on 1 a = 365 d \approx 31,5 Ms tai 1 a = 366 d \approx 31,6 Ms.

Nopeus v

Kappaleen (hiukkasen) nopeus on $\mathbf{v} = d\mathbf{r}/dt$, kun $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ on kappaleen rata.
vauhti v . Nopeuden itseisarvo $v = |\mathbf{v}|$. *Aallonnopeus* c . Käytetään erityisesti aalto-
liikkeen etenemisnopeudesta, joka on aaltoliikkeen "kantajalle" (väliaineelle tai
kentälle) ominainen vakio. Erityisesti *äänennopeus* ja *valonnopeus*. Tuntinopeus ja
sekuntinopeus ovat virheellisiä sanontoja.

metri sekunnissa m/s.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: km/s, mm/s.
sekuntimetri on virheellinen ilmaus.

- ☺ *kilometri tunnissa*, 1 km/h = (1/3,6) m/s \approx 0,277 778 m/s. Liikenteessä.
solmu (knot) kn, 1 kn = 1,852 km/h \approx 0,514 444 m/s. Virallinen meriliikenteessä.
- ☹ *valonnopeus* $c = 299\,792\,458$ m/s
- ☹ *jalka sekunnissa*, 1 ft/s = 30,48 cm/s
maili tunnissa, 1 mi/h = 1,609 344 km/h \approx 0,447 04 m/s

Kiihtyvyys a

Kappaleen (hiukkasen) kiihtyvyys on $a = dv/dt$, kun $v = v(t)$ on kappaleen nopeus ajan funktiona. *Putoamiskiihtyvyys* g . Vapaasti putoavan kappaleen kiihtyvyys. Suure ilmaisee gravitaatiokentän voimakkuuden kappaleen kohdalla.

metri per sekunti toiseen m/s^2

☺ cgs: *gal* Gal, 1 Gal = $1 \text{ cm}/s^2$. Geodesiassa käytetään yksikköä mGal.
jalka per sekunti toiseen, $1 \text{ ft}/s^2 = 0,3048 \text{ m}/s^2$.

Normaaliputoamiskiihtyvyys on $g_n = 9,80665 \text{ m}/s^2$.

Helsingissä meren pinnan tasolla mitattu putoamiskiihtyvyys on $g \approx 9,8190 \text{ m}/s^2$.

(Taso)kulma $\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \vartheta$

Kahden suunnan suuntaero. Suure "kulma" määritellään näistä suunnista muodostetun geometrisen kulman (kuvion) avulla suhteena $\varphi = s/r$. Tässä s on sen kaaren pituus, jonka kulman kyljet erottavat kulman kärki keskipisteenä piirretyn r -säteisen ympyrän kehästä.

Kiertymä $\Delta\varphi$. Kiertokulman muutos pyörimisliikkeessä akselin ympäri tai kappaleen kulmakoordinaatin muutos kiertoliikkeen napakoordinaattiesityksessä.

radiaani rad; $1 \text{ rad} = 1 \text{ m}/\text{m} = 1$.

Kulman ja siihen perustuvien johdannaissuureiden lukuarvoja ilmaistaessa yksikön nimen ja tunnuksen, radiaani rad, käyttö on usein tarpeellista suureen luonteen ilmaisemiseksi, vaikka laskennallisesti ne voidaan aina jättää pois tai korvata luvulla 1.

☺ *aste* $^\circ$, $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad} \approx 17,4533 \text{ mrad}$, $1 \text{ rad} \approx 57,2958^\circ$,
minuutti $'$, $1' = 1^\circ/60$, *sekunti* $''$, $1'' = 1'/60$.

kaarisekunti (arc second) as, $1 \text{ as} = 1''$.

Tähtitieteessä käytössä alikerrannaiset mas, μas ja pas.

gooni gon, $1 \text{ gon} = (\pi/200) \text{ rad}$, $90^\circ = 100 \text{ gon} \approx 15,7 \text{ mrad}$, $1 \text{ rad} \approx 63,7 \text{ gon}$.

Maanmittauksessa. Goonista käytetään myös nimitystä uusaste.

☺ *kierros* r , $1 r = 2\pi \text{ rad} = 2\pi = 360^\circ$. Pyörievien koneiden yhteydessä.

Suora kulma on $(\pi/2) \text{ rad} = \pi/2 = 90^\circ$. Minuutin ja sekunnin asemesta suositetaan käytettäväksi asteen desimaaliosia.

Esimerkki: Kirjoita mieluummin $22,5^\circ$ kuin $22^\circ 30'$.

Avaruuskulma Ω

Avaruuskulma ilmaisee tietyn suunta-alueen suuruuden. Suure ”avaruuskulma” määritellään tämän suunta-alueen muodostaman kartion avulla suhteena $\Omega = A/r^2$, jossa A on sen pinnan pinta-ala, jonka kartion vaippa erottaa kartion kärki keskipisteenä piirretyn r -säteisen pallon pinnasta.

steradiaani sr

Täysi avaruuskulma, joka kattaa kaikki kolmiulotteisen avaruuden suunnat, on 4π .

Lukumäärä N

kierrosluku, kierrosmäärä N

Kierrosten lukumäärä kierto- tai pyörimisliikkeessä. $N = \Delta\varphi/(2\pi)$.

yksi 1

Kulmanopeus ω , ω

Pyörivän kappaleen kulmanopeus on $\omega = d\varphi/dt$, jossa $\varphi = \varphi(t)$ on kiertokulma ajan funktiona. Kulmanopeusvektori $\boldsymbol{\omega}$ on pyörimis- tai -kiertoakselin suuntainen siten, että pyöriminen tai kierto tapahtuu sen suhteen oikeakätisesti (vastapäivään).

Etenemisliikkeessä olevan kappaleen kulmanopeus origon suhteen on sen paikka-vektorin \mathbf{r} kiertymisnopeus $\boldsymbol{\omega} = d\mathbf{r}/dt = \mathbf{r} \times \mathbf{v}$.

radiaani sekunnissa rad/s, $1 \text{ rad/s} = 1 \text{ s}^{-1}$

☺ *aste sekunnissa*, $1^\circ/\text{s} \approx 17,5 \text{ mrad/s}$

☹ *kierros sekunnissa* r/s. $1 \text{ r/s} = 2\pi \text{ rad/s}$

kierros minuutissa r/min = $2\pi \text{ rad/min}$. Pyörivät koneet

Kierrostaajuus, pyörähdystaajuus n

$n = dN/dt = \omega/(2\pi)$, missä ω on kulmanopeus.

yksi sekunnissa 1/s

☹ **yksi minuutissa** 1/min

Koneiden pyörimisen nopeus ilmaistaan tavallisesti kulmanopeuden yksiköissä r/s tai r/min. Kulmanopeuden lukuarvot näissä yksiköissä ovat samat kuin kierrostaajuuden lukuarvot yksiköissä 1/s ja 1/min.

Kulmakiihtyvyys α

Pyörivän kappaleen kulmakiihtyvyys on $\alpha = d\omega/dt$, jossa $\omega = \omega(t)$ on sen kulmanopeus ajan funktiona.

radiaani per sekunti toiseen rad/s^2 .

Taajuus f, ν

Jaksollista ilmiötä kuvaava suure $f = 1/T$, jossa T on ilmiön jaksonaika.

hertsi Hz; $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$. 1 Hz on sellaisen jaksollisen ilmiön taajuus, jonka jaksonaika on 1 s. Tavallisia kerrannaisia: kHz, MHz, GHz

Aallonpituus λ

Sinimuotoisen aallon kahden peräkkäisen, samassa vaiheessa olevan aaltorintaman välimatka.

metri m. Tavallisia kerrannaisia: cm, mm, μm , nm

☉ ångström Å. Atomifysiikassa ja kirstallografiassa.

Aaltotiheys σ, σ

Sinimuotoisen aallon aaltotiheysvektori on aallonnopeuden suuntainen, $\sigma = 1/\lambda$.

yksi per metri, käänneimetri m^{-1} Spektroskopiassa tavallinen kerrannainen cm^{-1} .

Kulmataajuus ω

Jaksollisen ilmiön kulmataajuus on $\omega = 2\pi f$, missä f on ilmiön taajuus.

radiaani sekunnissa, $1 \text{ rad/s} = 1 \text{ s}^{-1}$.



7.2 Mekaniikka

Massa m

Suuretta massa käytetään kahden eri ominaisuuden mittana. Se ilmaisee kappaleen etenemishitauden (eli kyvyn vastustaa liiketilan muutoksia) ja gravitaatiokyvyn eli kyvyn osallistua gravitaatiovuorovaikutukseen. Tarvittaessa niitä tarkoittavat suuret erotetaan käyttämällä termejä *hidas massa* ja *gravitaatiomassa* ja tunnuksia m_i ja m_g .

Suureiden m_i ja m_g tarkasta verrannollisuudesta seuraa, että ne voidaan samaistaa ja että massa voidaan mitata painoja vertaamalla, yleisemmin vaa'alla.

Massasta ei pidä käyttää sanaa *paino*, joka tarkoittaa voimaa.

kilogramma kg. Perusyksikkö.

Kilogramma, kg, on massan yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä Planckin vakioksi $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ Js.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: Mg = 10^3 kg, mg = 10^{-6} kg, $\mu\text{g} = 10^{-9}$ kg.

Koska yksikön nimessä on etuliite kilo, yksikön kerrannaiset ja alikerrannaiset muodostetaan etuliitteillä yksiköstä gramma g.

- ☉ *tonni* t (englannin kielessä myös *metric ton*). $1\text{ t} = 1\text{ Mg} = 1\,000\text{ kg}$.
dalton Da, $1\text{ Da} = 1,660\,539\,040(20) \times 10^{-27}\text{ kg}$ (CODATA 2014).
Hiiliatomin ^{12}C massa on 12 Da. Ennen atomimassayksikkö (u).
- ☉ n.u. ja a.u. $m_e = 9,109\,383\,56(11) \times 10^{-31}\text{ kg}$ (CODATA 2014). Elektronin massa.
- ☉ *karaatti*, 1 karaatti = 200 mg.
Jalokivien ja helmien massat ilmaistaan perinteisesti karaateissa.
naula lb, $1\text{ lb} = 0,453\,592\,37\text{ kg}$,
unssi (ounce) oz, $1\text{ oz} = (1/16)\text{ lb} \approx 28,349\,52\text{ g}$.
tonni, 1 ton (UK) = 2 240 lb = 1,016 047 t, US:
tonni, 1 ton (US) = 2 000 lb = 0,907 184 7 t.



Tiheys ρ

Aineen (massa)tiheys on $\rho = dm/dV$, jossa dm on tilavuusalkiossa dV olevan aineen massa.

Rakeisen aineen, kuten hiekan, tiheydestä käytetään termiä *irtotiheys* erotukseksi *kiintotiheydestä*, joka on sen rakeiden aineen tiheys.

Esimerkki: muovirakeiden irtotiheys voi olla $1,0 \text{ kg/dm}^3$, mutta kiintotiheys voi olla $1,5 \text{ kg/dm}^3$.

Ominaispaino on vanhentunut termi, jota ei pidä käyttää tiheyden sijasta.

kilogramma kuutiometrissä kg/m^3

Tavallisia kerrannaisia: $1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ (\approx veden tiheys),

1 g/m^3 (\approx ilman tiheys normaalitilassa)

- ⊙ *kilogramma litrassa* $1 \text{ kg/l} = 1 \text{ kg/dm}^3$,
tonnia kuutiometrissä, $1 \text{ t/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3$.
- ⊙ *naula kuutiotuomassa*, $1 \text{ lb/in}^3 \approx 27\,700 \text{ kg/m}^3$,
naula kuutiojalassa, $1 \text{ lb/ft}^3 \approx 16,0 \text{ kg/m}^3$.

Pinta-alamassa, massakate, ρ_A

Ainekerroksen tai levyn pinta-alamassa on $\rho_A = dm/dA$, missä dm ja dA ovat kerroksen tai levyn alkion massa ja pinta-ala.

kilogramma neliometrillä (tai neliometrissä) kg/m^2

Pituusmassa ρ_l

Sauvamaisen tai lankamaisen kappaleen pituusmassa on $l_A = dm/dl$, jossa dm ja dl ovat kappaleen alkion massa ja pituus.

kilogramma metrissä kg/m

- ⊙ *tex*, $1 \text{ tex} = 1 \text{ mg/m} = 1 \text{ g/km}$.
Tekstiiliteollisuudessa käytetty langan pituusmassan yksikkö.

Liikemäärä p

Sellainen kappaleen etenemisen liiketilaa esittävä suure, jolla mitattaessa kahden kappaleen vuorovaikutuksen vaikutukset osapuolten liiketiloihin ovat yhtä suuret. Nopeudella v liikkuvan kappaleen liikemäärä on $p = mv$, jossa m on kappaleen massa.

Liikemäärää (momentum) ei pidä sekoittaa impulssiin, joka esittää vuorovaikutustapahtuman voimakkuutta, eikä momenttiin (moment), joka esittää väännön voimakkuutta.

kilogrammometri sekunnissa, kg·m/s.

Voima F

Voima esittää vuorovaikutuksen voimakkuutta. Vuorovaikutus ilmenee osapuoliin kohdistuvina yhtä suurina vastakkaissuuntaisina voimina, joita sanotaan voimaksi ja vastavoimaksi. Kappaleen liikemäärän muuttumisnopeus ilmaisee siihen vaikuttavan voiman $F = dp/dt$. Kun massa on vakio, on $F = ma$, jossa a on kappaleen kiihtyvyys. Voima voidaan mitata tasapainottamalla se toisella, tunnetulla voimalla tai kalibroidulla laitteella, joka perustuu tunnettuun voimaan.

Paino G

Kappaleen paino esittää sitä kappaleen ominaisuutta, että se painaa. Se on voima, jolla paikallinen painovoimakenttä vaikuttaa kappaleeseen, $F_g = mg$. Maan pinnalla tähän sisältyy gravitaatiosta aiheutuvan painovoiman ohella myös Maan pyörimisestä johutuva keskipakovoima.

newton N; 1 N = 1 kg·m/s².

- ⊗ *kilopondi* kp (kgf), 1 kp = 9,806 65 N
- cgs: *dyne* dyn, 1 dyn = 1 g·cm/s²
- naulanvoima* (pound force), 1 lbf ≈ 4,448 222 N

Massa on kappaleelle ominainen vakio, joka ei riipu kappaleen sijainnista eikä sen liiketilasta (edellyttäen että kappaleen nopeus on pieni valonnopeuteen verrattuna.) Paino riippuu kappaleen sijainnista. Esimerkiksi kuussa kappaleen paino on paljon pienempi kuin maassa. "Painottomassa tilassa" kappaleella ole painoa lainkaan.

Jokapäiväisessä elämässä, esimerkiksi ostosten määriä ilmaistaessa, painon yksikönä käytetään kuitenkin tavallisesti kilogrammaa. Yleiskielen sanonta "painaa 2 kg" merkitsee "painaa yhtä paljon kuin punnukset, joiden massa on 2 kg."

Myös eräät kulkuneuvojen ominaisuudet, kuten tyhjä paino, kuollut paino, akseli-paino, määritetään punnitsemalla ja ne ilmaistaan yksiköissä 1 kg. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä erityisesti todettaessa, miten hyvin alusta, esimerkiksi tie tai silta kestää kulkuneuvoa, joten ne viittaavat painoon lähinnä kappaleeseen vaikuttavana painovoimana.

Ajoneuvojen, nostureiden yms. laitteiden kanto- tai nostokyky tarkoittaa painoa tai kuormittavaa voimaa, jonka ne kestävät. Tällöinkin käytetään usein yksikköä 1 kg tarkoittaen 1 kg:n punnukseen vaikuttavaa painovoimaa. Pelkästään maanpäällisessä käytössä tämän yksikön riippuvuus paikallisesta painovoimasta on epäolennainen. Esimerkiksi veden alla, avaruusliikenteessä tai muulla taivaankappaleella käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden kantokyky ja nostokyky on kuitenkin määriteltävä selvästi voiman yksiköissä, samoin kuin yleisemmin laitteiden ja rakenteiden sallitut rasitukset.

Gravitaatiovakio G

Newtonin gravitaatiolaissa esiintyvä kerroin. Kahden (pallosymmetrisen) kappaleen A ja B välinen gravitaatiovuorovaikutus aiheuttaa kappaleisiin kappaleiden massakeskipisteeseen suuntautuvan voiman $F = Gm_A m_B / r^2$, jossa m_A ja m_B ovat kappaleiden massat ja r niiden (keskipisteiden) välinen etäisyys.

$$G = 6,674\,08(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2} \text{ (CODATA 2014).}$$

Impulssi I

Vuorovaikutustapahtuman voimakkuutta esittävä suure. Kappaleeseen vaikuttava voima F antaa kappaleelle aikana dt impulssin $dI = Fdt$.

newtonsekunti Ns .

Hitausmomentti J

Kappaleen hitausmomentti ilmaisee kappaleen pyörimishitauden akselin suhteen. Radiaalisella etäisyydellä r akselista olevan hiukkasen hitausmomentti tämän akselin suhteen on $J = mr^2$. Kappaleella on kolme päänhitausmomenttia, hitausmomentit kolmen, massakeskipisteen kautta kulkevan, toisiaan vastaan kohtisuoran akselin suhteen.

kilogramma kertaa metri toiseen $\text{kg}\cdot\text{m}^2$.

Liikemäärämomenti, pyörimismäärä L , L

Hiukkasen (etenevän kappaleen) liikemäärämomenti origon suhteen on $L = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$, jossa \mathbf{r} ja \mathbf{p} ovat hiukkasen (kappaleen massakeskipisteen) paikkavektori ja liike-määrä. Kappaleen pyörimismäärä akselin suhteen on $L = J\omega$, jossa J ja ω ovat kappaleen hitausmomentti tämän akselin suhteen ja kulmanopeus. Liikemäärämomenttia ei pidä sekoittaa *impulssimomenttiin*, joka esittää vääntötapahtuman voimakkuutta.

kilogramma kertaa metri toiseen per sekunti $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$.

Momentti M , M , T

Momentti ilmaisee kappaleeseen kohdistuvan väännön voimakkuuden pisteen (origon) tai akselin suhteen. Momentti akselin Q suhteen on $T = M_Q = \mathbf{M} \cdot \mathbf{e}_Q$, jossa \mathbf{e}_Q on akselin Q suuntainen yksikkövektori.

Voima \mathbf{F} , joka kohdistuu kappaleen tiettyyn pisteeseen \mathbf{r} , aiheuttaa origon suhteen momentin $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$.

newtonmetri Nm , $1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$.

⊗ *kilopondimetri* $\text{kp}\cdot\text{m}$, $1 \text{ kp}\cdot\text{m} = 9,806\ 65 \text{ Nm}$

Momentti ja energia ovat eri lajin suureita, vaikka niillä on sama dimensio. Energian yksikköä joule ($\text{J} = \text{Nm}$) ei voi käyttää momentin yksikkönä.

Kiertoimpulssi, impulssimomentti H

Kappaleeseen vaikuttava momentti \mathbf{M} antaa kappaleelle aikana dt kiertoimpulssin $d\mathbf{H} = \mathbf{M}dt$.

newtonmetriseksi $\text{Nm}\cdot\text{s}$.



Paine p

Paine ilmaisee nesteen tai kaasun puristustilan voimakkuuden. Neste- tai kaasukerrosta puristava voimapari (\mathbf{F} , $-\mathbf{F}$) aiheuttaa siihen paineen $p = F/A$, jossa A on kerroksen pinta-ala.

pascal Pa; $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$. Tavallisia kerrannaisia: MPa, kPa, hPa.

☺ *baari bar*, $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$.

☺ *kilopondi neliömetrillä*, $1 \text{ kp/m}^2 = 9,806 65 \text{ Pa}$.
standardi-ilmakehä atm, $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$,
tekninen ilmakehä at, $1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 98,066 5 \text{ kPa}$
vesimillimetri mmH₂O, $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 10^{-4} \text{ at} = 9,806 65 \text{ Pa}$,
elohopeamillimetri mmHg, $1 \text{ mmHg} \approx 133,3224 \text{ Pa}$.
Käytetään yleisesti verenpaineen yksikkönä.
torri Torr, $1 \text{ Torr} = (1/760) \text{ atm} \approx 1 \text{ mmHg}$.
naulaa neliötuumalla, psi, $1 \text{ lbf/in}^2 \approx 6,894 757 \text{ kPa}$.

Ellei muuta ole ilmoitettu, merkintä p tarkoittaa absoluuttista painetta. Suureen merkityksen täsmennys on ilmaistava tekstissä tai liittämällä suureen tunnuksen täsmäntävä alaindeksi. Siten erityisesti absoluuttiselle paineelle voidaan käyttää tunnusta p_a tai p_{abs} ja ylipaineelle tunnusta p_e (*excess*) tai p_g (*gauge*). (Ks. kirjoitusohjeet esimerkiksi 24).

Paine ja energiatiheys ovat eri lajin suureita, vaikka niillä on sama dimensio. Yksikköä pascal ei voi käyttää energiatheyden yksikkönä, joka on $\text{J/m}^3 = \text{N/m}^2$.

Normaalijännitys σ , leikkausjännitys τ

Normaali- ja leikkausjännitys esittävät kiinteän aineen kahden erilaisen jännitystilän voimakkuuksia. Ainekerrosta puristava voimapari (\mathbf{F} , $-\mathbf{F}$) aiheuttaa siihen normaalijännityksen $\sigma = F/A$, jossa A on kerroksen pinta-ala. Ainekerroksen vastakkaisiin pintoihin pinnan suuntaisesti vaikuttava voimapari (\mathbf{F} , $-\mathbf{F}$) aiheuttaa siihen leikkausjännityksen $\tau = F/A$, jossa A on kerroksen pinta-ala.

pascal Pa. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Tavallisia kerrannaisia: kPa, MPa, GPa.

Suhteellinen venymä ε , liukukulma γ , suhteellinen tilavuudenmuutos ϑ

Venytetyn kappaleen (esimerkiksi langan) suhteellinen venymä on $\varepsilon = \Delta l/l_0$, jossa l_0 ja Δl ovat kappaleen alkuperäinen pituus ja venymä.

Ainekerroksen liukukulma $\gamma = \Delta x/d$, jossa d on kerroksen paksuus ja Δx on sen pintojen kerroksen suuntainen siirtymä toistensa suhteen.

Kappaleen suhteellinen tilavuudenmuutos on $\vartheta = \Delta V/V_0$, jossa V_0 ja ΔV ovat kappaleen alkuperäinen tilavuus sen muutos.

yksi 1, $1 = 1 \text{ m/m}$.

Kimmoerotin E , liukukerotin G , puristuskerroin K

Aineen kimmoisuutta esittäviä suureita. Kimmoinen aine noudattaa yleistä Hookeen lakia, jonka mukaan muodon ja koon muutokset ovat verrannolliset puristukseen, joka ne aiheuttaa. Sen mukaan on $\sigma \sim \varepsilon$, $\tau \sim \gamma$, $p \sim \vartheta$. Kimmoerotin, liukukerotin ja puristuskerroin ovat vastaavat verrannollisuuskertoimet: $E = \sigma/\varepsilon$, $G = \tau/\gamma$, $K = p/\vartheta$.

pascal Pa, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Tavallisia kerrannaisia: MPa, GPa.

Metallien lujuus ilmaistaan yleisesti yksiköissä $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$.

Puristuvuus κ

Aineen puristuvuus on sen tilavuuden suhteellisen pienenemän suhde siihen tarvittavaan paineen lisäykseen $\kappa = -(dV/V)/dp$.

yksi per pascal, käänteispascal Pa⁻¹.

Liukukitkakerroin μ , lepokitkakerroin μ_s , Suomessa käytössä μ_0

Kahden kovan ja tasaisen pinnan välinen liukukitkavoima F ja lepokitkavoiman yläraja F_{max} ovat likimäärin verrannolliset pintojen väliseen tukivoimaan N . Vastaavia verrannollisuuskertoimia sanotaan kitkakertoimiksi $\mu = F/N$, $\mu_0 = F_{\text{max}}/N$.

yksi 1 = N/N .

Massavirta q_m

Nesteen tai kaasun massavirta tietyn pinnan läpi on $q_m = dm/dt$, jossa dm on ajassa dt pinnan läpäisevän aineen massa.

kilogramma sekunnissa kg/s.

Tilavuusvirta q_v

Nesteen tai kaasun tilavuusvirta tietyn pinnan läpi on $q_v = dV/dt$, jossa dV on ajassa dt pinnan läpäisevän aineen tilavuus.

kuutiometri sekunnissa m³/s.

Dynaaminen viskositeetti, η

Nesteen laminaarista (kerroksellista) virtausta vastustava leikkausjännitys on verrannollinen (x -akselin suuntaisen) virtausnopeuden gradienttiin dv_x/dz "kerrostustason" normaalin (z -akseli) suunnassa $\tau_{xz} = \eta dv_x/dz$. Verrannollisuuskerroin η on nesteen dynaaminen viskositeetti.

pascalsekunti, Pa·s, 1 Pa·s = 1 kg/(m·s). Tavallinen alikerrannainen: mPa·s

⊗ cgs: *poisi* P, 1 P = 1 dyn·s/cm² = 0,1 Pa·s, 1 cP = 1 mPa·s

Kinemaattinen viskositeetti ν

$\nu = \eta/\rho$, jossa η ja ρ ovat nesteen dynaaminen viskositeetti ja tiheys.

metri toiseen per sekunti m²/s. Tavallinen alikerrannainen: mm²/s

⊗ cgs: stoki St, 1 St = 1 cm²/s, 1 cSt = 1 mm²/s.

Pintajännitys γ , σ

Virtuaalisen (kuvitteellisen) viivaelementin eri puolilla olevien nestepinnan osien välinen voima dF on verrannollinen viivaelementin pituuteen dl . Verrannollisuuskerrointa $\gamma = dF/dl$ sanotaan pintajännitykseksi.

newton per metri N/m = J/m².

Energia E

Suure, joka liittyy kaikkiin fysiikan ilmiöihin. Se voidaan tulkita systeemin kyvyksi aiheuttaa ilmiöitä.

Fysikaalisilla "olioilla" on erilaisia energian lajeja, joiden määrää esittävät energian *lajisuuret*. Ilmiöissä energiaa siirtyy olioilta toisille tai muuntuu lajista toiseen (tai molempia samalla kertaa). Siirtyvän ja muuntuvan energian määrää esittävät energian *siirtosuuret*.

Liike-energia T, E_k

Lajisuure. Kappaleen (mekaanisen systeemin) liike-energia on energiaa, joka kappaleella on liikkeensä perusteella. Tavallisesti sillä tarkoitetaan etenemisliikkeen energiaa ($T \Leftrightarrow translation$), jota (valonnopeutta paljon pienemmissä nopeuksissa) esittää lauseke $E_k = p^2/(2m) = mv^2/2$, jossa m , p ja v ovat kappaleen massa, liikemäärä ja nopeus.

Potentiaalienergia V, E_p

Lajisuure. Konservatiivisen vuorovaikutuksen, esimerkiksi painovoiman, potentiaalienergia on energiaa, joka vuorovaikutuksella on vuorovaikuttavien kappaleiden keskinäisen sijainnin perusteella.

Mekaaninen energia E

Systeemin rakenneosien liike-energioiden ja sen konservatiivisten vuorovaikutusten energioiden summa $E = E_k + E_p$. Jos muunlaisia vuorovaikutuksia ei ole, systeemin mekaaninen kokonaisenergia säilyy.

Työ W

Siirtosuure. Työ on energiaa, joka (mekaanisessa) vuorovaikutuksessa siirtyy kappaleesta tai sen liikkeen vapausasteesta toiseen. Tällöin erityisesti lämpeneminen merkitsee energian siirtymistä aineen järjestymättömän sisäisen liikkeen energiaksi. Kappaleen liikkeessä siihen vaikuttava voima \mathbf{F} "tekee työn" $dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$, jossa $d\mathbf{r}$ on kappaleen massakeskipisteen siirtymä. Kappaleen pyöriessä siihen pyörimisakselin Q suhteen vaikuttava momentti M_Q tekee työn $dW = M_Q d\varphi$, jossa $d\varphi$ on kappaleen kiertymä.

Muita energiasuureita esitellään eri ilmiöalueisiin liittyvien suureiden yhteydessä.

Työ ei ole lajisuure. Siksi sanonnat "(jotakin) energiaa muuttuu työksi" tai "työ muuttuu (joksikin) energiaksi" ovat virheellisiä.

joule J, $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: TJ, GJ, MJ, kJ, mJ.

Joule on energian kaikkien laji- ja siirtosuureiden yksikkö.

- ⊙ **wattitunti Wh**. $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$. Käytetään sähköenergian yhteydessä.
Tavallisia kerrannaisia kWh, MWh, GWh ja TWh
elektronivoltti eV, $1 \text{ eV} = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ J}$. Atomi-, ydin- ja hiukkasfysiikassa.
Liike-energia, jonka elektroni saa kiihdytettäessä 1 V :n jännitteellä.
- ⊙ **kalori cal**, tarkemmin *kalori* 15 cal_{15} , $1 \text{ cal} = 1 \text{ cal}_{15} \approx 4,185(5) \text{ J}$.
Lämpömäärä, joka lämmittää 1 g :n vettä normaalipaineessa lämpötilasta $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilaan $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Kaloria käytetään yleisesti ravintotaloudessa.
kilopondimetri kp·m, $1 \text{ kp}\cdot\text{m} = 9,806\ 65 \text{ J}$.
cgs: *ergi erg*, $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn}\cdot\text{cm} = 0,1 \mu\text{J}$.
jalka kertaa naulan voima (foot pound-force). $1 \text{ ft}\cdot\text{lbf} \approx 1,355\ 818 \text{ J}$
brittiläinen lämpöyksikkö (British thermal unit),
 $1 \text{ Btu} = 788,169 \text{ ft}\cdot\text{lbf} \approx 1,055\ 056 \text{ kJ}$.

Teho P

Teho ilmaisee energian siirto- tai muuntumisnopeuden, esimerkiksi ”työnopeuden”
 $P = dW/dt$. Nopeudella v etenevään kappaleeseen vaikuttavan voiman teho on $P = \mathbf{F}\cdot\mathbf{v}$.

watti, W; $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: mW, kW, MW, GW, TW

- ⊙ **kilokalori tunnissa** $1 \text{ kcal/h} \approx 1,16 \text{ W}$
kilopondimetri sekunnissa, $1 \text{ kp}\cdot\text{m/s} = 9,806\ 65 \text{ W}$
(metrinen) hevosoima (tunnus suomessa hv),
 $1 \text{ hv} = 75 \text{ kp}\cdot\text{m/s} = 735,498\ 75 \text{ W}$
 1 Btu/h (brittiläinen terminen yksikkö tunnissa) $\approx 0,293 \text{ W}$

Hyötysuhde η

Koneen hyötysuhde on sen hyötytehon suhde syöttötehoon $\eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$.

ynksi $1 = W/W$, tavallisesti käytetään alikerrannaista **prosentti** $1 \% = 0,01$

Vaikutus S .

Analyttisen mekaniikan suure. Se on kvanttimekaanisen Planckin vakion h suurelaji.
Planckin vakio kytkee energiansiirron kvantin E sitä vastaavan säteilyn taajuuteen f , $E = hf$.

joulesekunti, joule per hertsi $J_s = \text{J/Hz}$

- ⊙ n.u. ja a.u. redusoitu Planckin vakio $\hbar = h/(2\pi)$

7.3 Lämpö

Termodynaaminen lämpötila T

kelvin K. Perusyksikkö.

Kelvin on termodynaamisen lämpötilan yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä Boltzmannin vakioksi

$$k = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K.}$$

Tavallinen alikerrannainen mK

Yksikön nimi on kelvin, ei kelvinaste, ja sen tunnus on K eikä °K. Absoluuttisen nollapisteen termodynaaminen lämpötila on 0 K. Tähän viittaa termodynaamiselle lämpötilalle aiemmin käytetty nimi "absoluuttinen lämpötila"

Celsiuslämpötila t

$$t = T - T_0, \text{ jossa } T_0 = 273,15 \text{ K.}$$

- ⊕ *celsiusaste* °C. $1\text{ °C} = 1\text{ K}$. Yksikön kelvin erityisnimi ilmaistaessa lämpötiloja Celsius-asteikkolla, jonka nollakohtana on termodynaaminen (kelvinasteikon) lämpötila $T_0 = 273,15\text{ K}$.
- ⊕ *rankineaste* °R. Brittiläinen termodynaamisen lämpötilan yksikkö.
 $1\text{ °R} = (5/9)\text{ K} \approx 0,556\text{ K}$
fahrenheitaste °F. $1\text{ °F} = 1\text{ °R}$. Yksikön rankineaste erityisnimi käytettäessä Fahrenheit-asteikkoa, jonka nollakohtana on celsiuslämpötila -32 °C . Tällöin käytetään myös suurenimeä *fahrenheitlämpötila* t_{F} . $t_{\text{F}} = [(9/5)t/°\text{C} + 32]\text{ °F} = [(9/5)T/\text{K} - 459,67]\text{ °F}$.

Yksikön celsiusaste käyttö on syytä rajoittaa lämpötilojen ilmaisemiseen jokapäiväisen elämän tilanteissa, kuten puhuttaessa säästä, kuumeesta, ruoasta tai uimavedestä, lämpötilat ilmaistaan celsiuslämpötiloina.

Verrattaessa eri asteikkojen mukaisia lämpötiloja voidaan käyttää yhtäläisyysmerkkiä kuten edellä. Voidaan kirjoittaa esimerkiksi: $0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$, $100\text{ °C} = 373,15\text{ K}$ ja $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$. Ajatusyhteydestä riippuen ja väärinkäsitysten torjumiseksi voidaan käyttää sen sijaan vastaavuusmerkkiä, esimerkiksi $0\text{ °C} \triangleq 273,15\text{ K}$.

Lämpötilaerot ja lämpötilanmuutokset on aina parempi ilmaista kelvineissä. On kuitenkin luontevaa sanoa esimerkiksi: ”Tänään vesi on 0,5 °C lämpimämpää kuin eilen.”

Yksikön celsiusaste tunnus on kirjoitettava täydellisenä. Kirjoitetaan esimerkiksi 5 °C. Merkintä 5 C tarkoittaa varausta ja 5° kulmaa. Kielellisesti oikea muoto on 5 celsiusastetta eikä 5 astetta celsiusasta tai 5 astetta.

Negatiivisten celsiuslämpötilojen oikea esitysmuoto on esimerkiksi –10 °C eli miinus kymmenen celsiusastetta. Ei pidä kirjoittaa 10 miinusastetta.

On kuitenkin hyvä välttää käyttämästä niitä rinnan samassa yhteydessä muuten kuin nimenomaan asteikkojen vertailun tarkoituksessa.

Celsiusastetta ei käytetä johdannaisyksiköissä. Esimerkiksi lämpökapasiteetin yksikköä 1 J/K ei pidä kirjoittaa muotoon 1 J/°C.

Lämpötilakertoimet

Pituuden lämpötilakerroin α_l

Aineen pituuden lämpötilakerroin on ko. ainetta olevan kappaleen pituuden suhteellinen muutos jaettuna lämpötilan muutoksella $\alpha_l = (dl/l)/dT$.

Tilavuuden lämpötilakerroin α_v

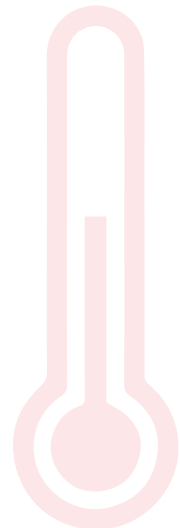
Aineen tilavuuden lämpötilakerroin on ko. ainetta olevan kappaleen tilavuuden suhteellinen muutos jaettuna lämpötilan muutoksella (vakioaineessa)
 $\alpha_v = (dV/V)/dT$.

Alaindeksit l ja V voidaan jättää pois, ellei ole sekaannuksen vaaraa.

Paineen lämpötilakerroin α_p

Paineen lämpötilakerroin on aineen paineen suhteellinen muutos vakiotilavuudessa jaettuna lämpötilan muutoksella
 $\alpha_p = (dp/p)dT$.

yksi per kelvin, käänteiskelvin, K⁻¹.



Energiasuureet

Lämpö(määrä) Q

Energian siirtosuure. Lämpötilaeron vaikutuksesta kappaleeseen siirtyvä energia.

Työ W

Energian siirtosuure. Lämpöopissa mekaanisen vuoro vaikutuksen kappaleeseen siirtämä energia.

Sisäenergia U

Lajisuure. Termodynaaminen tilanmuuttuja. Kappaleen aineeseen (termodynaamiseen systeemiin) sisältyvä energia, johon ei kuulu aineen virtausten liike-energia.

Vain sisäenergian muutokset ovat mitattavissa $\Delta U = W + Q$.

Entalpia H

Termodynaaminen tilanmuuttuja $U + pV$, missä U , p ja V ovat systeemin sisäenergia, paine ja tilavuus.

Vain entalpian muutokset ovat mitattavia. Isobaarisessa (vakipaineisessa) prosessissa, esimerkiksi palamisessa, entalpian muutos ilmaisee systeemiin siirtyvän lämpömäärän $\Delta H = Q$.

joule J, 1 J = 1 Nm.

- ⊕ *kalori* cal. Ks. Energia / mekaniikka
brittiläinen lämpöyksikkö (British thermal unit),
1 Btu = 788,169 ft·lbf \approx 1,055 056 kJ.

Entropia S

Termodynaaminen tilanmuuttuja. Vain entropian muutokset ovat mitattavia. Isotermisessä (vakio lämpötilaisessa) prosessissa $\Delta S = Q/T$, missä Q ja T ovat systeemiin siirtyvä lämpömäärä ja lämpötila.

Kvalitatiivisesti entropia ilmaisee (eristetyn) systeemin tilan "etäisyyden" termodynaamisesta tasapainostaan siten, että entropia on sitä suurempi, mitä lähempänä tasapainoa systeemi on.

Atomirakenteen kannalta entropia on systeemin sisäisen epäjärjestyksen mitta.

joule per kelvin J/K.

(Lämpö)teho P_Q

Lämmön siirtymisen ja/ tai muuntumisen nopeutta esittävä suure.

watti W, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Lämpövirta Φ

Lämmön siirtymisnopeus tietyn pinnan tai ainekerroksen läpi, $\Phi = dQ/dt$.

watti W, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Lämpövirran tiheys q, φ

Lämpövirran $d\Phi$ läpäistessä pinta-alkion dA lämpövirran tiheys alkion kohdalla on $q = d\Phi / dA$.

watti neliometrillä W/m^2 ,

Lämmönjohtavuus, λ

Materiaalin (paikallisen) lämmönjohtavuuden ilmaisee lämpötilagradientin siinä aiheuttama lämpövirran tiheys jaettuna gradientilla $\lambda = q/(dT/dr)$.

watti per metri ja kelvin, $W/(m \cdot K)$, $1 \text{ W}/(m \cdot K) = 1 \text{ kg} \cdot m / (s^3 K)$.

- ⊗ $1 \text{ kcal}/(m \cdot h \cdot K) \approx 1,16 \text{ W}/(m \cdot K)$
- $1 \text{ Btu}/(\text{ft} \cdot h \cdot ^\circ\text{F}) \approx 1,73 \text{ W}/(m \cdot K)$

Lämmönsiirtymiskerroin K, h

Materiaalikerroksen (paikallinen) lämmönsiirtymiskerroin on sen pintojen välisen lämpötilaeron aiheuttama lämpövirran tiheys jaettuna lämpötilaerolla $h = q/\Delta T$.

Rakennusteknologiassa sitä kutsutaan usein nimellä terminen läpäisevyys "thermal transmittance" ja merkitään tunnuksella U .

watti per neliometri ja kelvin $W/(m^2 K)$, $1 \text{ W}/(m^2 K) = 1 \text{ kg}/(s^3 K)$

- ⊗ *kilokalori tunnissa per neliometri ja kelvin* $1 \text{ kcal}/(h \times m^2 K) = 1,163 \text{ W}/(m^2 K)$
- $1 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot h \cdot ^\circ\text{F}) \approx 5,68 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$

Lämmöneristävyys, lämpöisolanssi M

Materiaalikerroksen (paikallinen) lämpöisolanssi on sen lämmönsiirtymiskertoimen käänteissuure $M = 1/K$. Rakennusteknologiassa tätä suuretta usein kutsutaan nimellä terminen resistanssi tai lämpöresistanssi (thermal resistance) ja merkitään tunnukseksi R .

neliömetrikelvin per watti $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, $1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} = 1 \text{ s}^3\text{K}/\text{kg}$.

$$\textcircled{\otimes} \quad 1 \text{ m}^2\text{h} \cdot \text{K}/\text{kcal} \approx 0,862 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$
$$1 \text{ ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu} \approx 0,176 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Lämpökapasiteetti C

Kappaleen lämpökapasiteetti ilmaisee sen kyvyn ottaa vastaan lämpöenergiaa. Sen ilmaisee kappaleeseen siirtyvän lämpömäärän suhde sen aiheuttamaan lämpötilan muutokseen $C = dQ/dT$.

joule per kelvin J/K .

Ominaislämpökapasiteetti c

Aineen ominaislämpökapasiteetti on (ko. ainetta olevan) kappaleen lämpökapasiteetti jaettuna sen massalla $c = C/m$.

joule kilogrammassa per kelvin $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, $1 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 1 \text{ m}^2/(\text{s}^2\text{K})$.

Tavallinen kerrannainen: $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Sulamislämpö Q_s , höyrystymislämpö Q_h , latenttilämpö Q_l

Energian siirtosuureita, jotka ilmaisevat lämpömäärän, joka kappaleeseen on tuotava sen olomuodon muuttamiseksi muutospisteessä. Voidaan myös tulkita lajisuureina sisäenergian lajeiksi.

joule J , $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$.

$$\textcircled{\otimes} \quad \textit{kalori} \text{ cal. Ks. Energia / mekaniikka}$$
$$\textit{brittiläinen lämpöyksikkö} \text{ (British thermal unit),}$$
$$1 \text{ Btu} = 788,169 \text{ ft}\cdot\text{lbf} \approx 1,055 \text{ 056 kJ.}$$

Ominaislämpö s , ominaishöyrystyslämpö h , ominaislatenttilämpö l

Suureet ilmaisevat aineen kyvyn sitoa tai luovuttaa lämpöä olomuodonmuutoksissa; $s = Q_s/m$, $h = Q_h/m$, $l = Q_l/m$, missä m on tästä aineesta koostuvan kappaleen massa.

Absoluuttinen kosteus v

Vesihöyryn (kaasumaisen veden) osatiheys ilmassa $v = m/V$, missä m ja V ovat vesihöyryn massa ilmanäytteenä ja näytteen tilavuus.

kilogramma kuutiometrissä kg/m^3 .

Vesihöyrypitoisuus q

Vesihöyryn osuus ilman (koko) tiheydestä $q = m/(m + m_d)$, missä m ja m_d ($d \triangleq$ dry) ovat vesihöyryn ja kuivan ilman massat näytteessä.

yksi 1, $1 = \text{kg}/\text{kg}$, prosentti %, $1 \% = 0,01$.

Suhteellinen kosteus φ

Ilman suhteellinen kosteus on $\varphi = p/p_{\text{sat}} \approx q/q_{\text{sat}}$, missä p ja p_{sat} sekä q ja q_{sat} ovat vesihöyryn ja kylläisen vesihöyryn osapaineet sekä vesihöyrypitoisuudet samassa lämpötilassa.

yksi 1, $1 = \text{Pa}/\text{Pa}$, prosentti %, $1 \% = 0,01$.

Kastepistelämpötila T_d ($d \triangleq$ dew point).

Lämpötila, jossa kylläisen vesihöyryn osapaine on sama kuin vallitseva vesihöyryn osapaine eli jossa vallitseva kosteussuhde aiheuttaisi suhteellisen kosteuden 100 %.

kelvin K.

Voidaan ilmaista myös celsiuslämpötilana, jolloin tunnuksena on t_d ja yksikkönä celsiusaste 1°C .

7.4 Sähkömagnetismi

Sähkövirta I

Johtimessa esiintyvän sähkövirtailmiön voimakkuutta esittävä suure.

Suureen arvo johtimessa on positiivinen tai negatiivinen sen mukaan, suuntautuuko ilmiö (laskennallista esitystä varten) valittuun positiiviseen suuntaan vai sitä vastaan.

On hyvä erottaa sanan ”sähkövirta” merkitykset suureen ja suureen merkitystä kantavan ilmiön nimenä.

ampeeri A. Perusyksikkö.

Ampeeri, A, on sähkövirran yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä alkeisvaraukseksi $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: kA, mA, μ A.

(Sähkö)varaus Q, q

Hiukkasen (kappaleen) ominaisuus, kyky sähkömagneettiseen vuorovaikutukseen. Hiukkasen varauksen Q ilmaisee voima $\mathbf{F} = Q\mathbf{E}$, joka hiukkaseen vaikuttaa kentässä, jonka sähkökentän voimakkuus on \mathbf{E} .

coulombi C, $1\text{ C} = 1\text{ As}$

☺ *ampeiritunti* 1 Ah = 3,6 kC.

Käytetään akkujen kapasiteetin ja lataustilan yksikkönä.

☹ a.u. *alkeisvaraus* $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C.

Varaustiheys ρ_V

Varaustiheys kolmiulotteisen tilan pisteessä \mathbf{r} on $\rho(\mathbf{r}) = dQ/dV$, missä dQ ja dV ovat pisteeseen \mathbf{r} kuuluvassa aluealkion varaus ja tilavuus.

coulombi kuutiometrissä C/m³.

Pintavaraus, varauskate, σ, ρ_A

Pintavaraus pinnan pisteessä \mathbf{r} on $\sigma(\mathbf{r}) = dQ/dA$, missä dQ ja dA ovat pisteeseen \mathbf{r} kuuluvan pinta-alkion varaus ja pinta-ala.

coulombi neliömetrillä C/m².

Sähkökentän voimakkuus E, E

Kenttäsuure. Sähkökentän voimakkuuden $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r})$ pisteessä \mathbf{r} ilmaisee siinä olevaan hiukkaseen vaikuttava sähköinen voima $\mathbf{F} = Q\mathbf{E}$, missä Q on hiukkasen varaus.

Coulombin lain mukaan origossa olevan ”pistevarauksen” Q kentän sähkökentän voimakkuus pisteessä $\mathbf{r} = r\mathbf{u}_r$ on $\mathbf{E} = Q\mathbf{u}_r/(4\pi\epsilon_0 r^2)$, missä ϵ_0 on sähkövakio.

Staatissa sähkökentässä on $\mathbf{E} = -\text{grad } V$, missä V on sähkökentän potentiaali.

volti per metri V/m.

Permittiivisyys ϵ

Aineen sähköinen ominaisuus. Ks. suhteellinen permittiivisyys.

faradi per metri F/m.

Sähkövakio, tyhjiön permittiivisyys ϵ_0

$\epsilon_0 \approx 8,854\,188$ pF/m.

Suhteellinen permittiivisyys $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$

Aineen sähköinen ominaisuus, ”kyky vastustaa sähkökentän muodostumista” aineeseen.

Sähkökentän voimakkuus (isotrooppisessa) aineessa on $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0/\epsilon_r$, missä \mathbf{E}_0 olisi saman varauksen aiheuttaman kentän sähkökentän voimakkuus tyhjiössä.

yksi 1.

Sähködipolimomentti p

Hiukkasen dipolimomentin ilmaisee momentti, joka vaikuttaa hiukkaseen sähkökentässä, $\mathbf{M} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$, missä \mathbf{E} on sähkökentän voimakkuus hiukkasen kohdalla.

Kaksi hiukkasta, joiden varaukset ovat $+q$ ja $-q$, muodostavat sähködipolin. Sen dipolimomentti on $\mathbf{p} = q(\mathbf{r}_+ - \mathbf{r}_-)$, missä \mathbf{r}_+ ja \mathbf{r}_- ovat hiukkasten paikkavektorit.

coulombimetri Cm.

Polarisoituma P

Sähkökentässä aine polarisoituu. Sen tietyssä pisteessä on $\mathbf{P} = d\mathbf{p}/dV$, missä $d\mathbf{p}$ ja dV ovat tähän pisteeseen kuuluvan ainealkion sähködipolimomentti ja tilavuus.

coulombi per neliometri C/m².

Suskeptiivisuus χ

Aineen polarisoituvuutta esittävä suure. Aineen polarisoituma on verrannollinen sähkökentän voimakkuuteen, isotrooppisessa aineessa on $\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi \mathbf{E}$, $\chi = \epsilon_r - 1$.

yksi 1.

Sähkövuon tiheys D, D

Kenttäsuure. Isotrooppisessa aineessa (ja tyhjiössä) on $\mathbf{D} = \mathbf{D}(\mathbf{r}) = \epsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{r}) + \mathbf{P}(\mathbf{r}) = \epsilon \mathbf{E}(\mathbf{r})$, missä ϵ ja \mathbf{P} ovat aineen permittiivisyys ja polarisoituma ja \mathbf{E} sähkökentän voimakkuus.

Johteen pinnalle jakautunut varaus, jonka pintavaraus on σ , aiheuttaa väliaineeseen kentän, jonka sähkövuon tiheys pinnan edessä on $D = \sigma$.

coulombi per neliometri C/m².

Sähkövuo Ψ

Kentän sähkövuo pinnan läpi ilmaisee kenttää $\mathbf{D}(\mathbf{r})$ esittävien, pinnan läpäisevien "kenttäviivojen määrän".

Varauksen Q aiheuttaman kentän kokonaissähkövuo (siitä alkavien kenttäviivojen määrä) on $\Psi = Q$.

Sähkövuo umpinaisen pinnan läpi on aina yhtä suuri kuin pinnan sisälle jäävä sähkövaraus. Esimerkiksi "pistevarausta" Q ympäröivän r -säteisen pallonpinnan läpäisevä sähkövuo on $\Psi = AD = (4\pi r^2) \cdot Q / (4\pi r^2) = Q$.

coulombi C.

Sähkökentän energia E_E

Energian lajisuure.

joule J.

Sähkökentän energiatiheys w_E

Energiatiheys sähkökentän pisteessä \mathbf{r} on $w_E = dE_E/dV = (\frac{1}{2})\mathbf{E}\cdot\mathbf{D}$, missä dE_E ovat kentän energia tähän pisteeseen kuuluvassa aluealkiossa ja dV alkion tilavuus.

joule kuutiometrissä J/m³.

Kapasitanssi C

Suure ilmaisee kondensaattorin varautumiskyvyn. Kondensaattorin varaus Q on verrannollinen kondensaattorin jännitteeseen U , $Q = CU$. Verrannollisuuskerroin C on kondensaattorin kapasitanssi..

faradi F, $1 \text{ F} = 1 \text{ C/V} = 1 \text{ s}^4\text{A}^2/(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$. Tavallisia alikerrannaisia: mF, μF , nF, pF.

Kondensaattorin energia E_C

Kondensaattorin sähkökentän energia, $E_C = (\frac{1}{2})CU^2$, missä C ja U ovat kondensaattorin kapasitanssi ja jännite.

joule J.

Virrantiheys J

Virtajakauman tiheyttä esittävä suure. Pinta-alkion läpäisee sähkövirta $dI = \mathbf{J}\cdot d\mathbf{A}$, missä $d\mathbf{A}$ on alkion pinta-ala ja \mathbf{J} virrantiheys sen kohdalla.

ampeeri per neliometri A/m²

Kenttävirta I_D

Sähkövuon muuttumisnopeus $I_D = d\Psi/dt$. Esimerkiksi virtapiirissä olevan kondensaattorin levyjen välinen kenttävirta on yhtä suuri kuin piirin sähkövirta ja on Maxwellin 4. lain mukaisesti samanarvoinen magneettikentän aiheuttajana.

Tätä suurenimeä on käytetty suomenkielisessä fysiikanopetuksessa. Englanninkielisen nimen "displacement current" suora käännös "siirtymävirta", jota vielä joskus käytetään, on kielellisesti harhaanjohtava termin "siirtymä" merkityksen vuoksi.

ampeeri A.

Resistanssi R

Suure ilmaisee johtimen kyvyn vastustaa sähkövirran muodostumista.

Johtimilla ja laitteilla, jotka noudattavat Ohmin lakia $U(t) \sim I(t)$ on tietty, niille ominainen, resistanssi $R = U/I$.

Sarjaan kytkennässä resistanssi on additiivinen $R = \Sigma R_i$.

Tasavirtapiirissä voidaan puhua yleisemmin johtimen tai laitteen resistanssista $R = U/I$, joka kuitenkin riippuu sähkövirrasta eikä ole laitteelle ominainen vakio.

Termiä "vastus" käytetään laitteen nimityksenä.

ohmi, Ω , $1 \Omega = 1 \text{ V/A} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/(\text{s}^3\text{A}^2)$.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: $\text{M}\Omega$, $\text{k}\Omega$, $\text{m}\Omega$.

Resistiivisyys ρ

Suure ilmaisee aineen kyvyn vastustaa sähkövirran muodostumista.

Johtimen resistanssi R on verrannollinen johtimen pituuteen L ja kääntäen verrannollinen sen poikkipinta-alaan A , $R = \rho L/A$. Verrannollisuuskerroin ρ on sen johdeaineen resistiivisyys.

ohmimetri Ωm .

Konduktanssi G

Resistanssin käänteissuure $G = R^{-1}$, ilmaisee johtimen kyvyn johtaa sähkövirtaa.

Rinnan kytkennässä konduktiivisuus on additiivinen, $G = \Sigma G_i$.

siemens S , $1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{ A/V}$.

Konduktiivisuus σ

Resistiivisyyden käänteissuure $\sigma = \rho^{-1}$, ilmaisee aineen kyvyn johtaa sähkövirtaa.

siemens per metri S/m .

Jännitesuureet

Sähköpotentiaali V

Sähkökentässä ja virtapiirissä potentiaali on paikan funktio, jonka arvo yhdessä pisteessä voidaan kiinnittää. Vain pisteiden välisiä potentiaalieroja voidaan mitata.

Potentiaaliero V_{AB}

Sähkökentän pisteiden A ja B välisen potentiaalieron $V_{AB} = V_A - V_B$, ilmaisee liike-energia $E_k = QV_{AB}$, jonka hiukkanen saa liikkeessaan kentässä pisteestä A pisteeseen B, kun hiukkasen varaus on Q .

Jännite U

Virtapiirin kahden pisteen välisen jännitteen $U_{AB} = V_A - V_B$ ilmaisee tällä välillä kuluva tai siihen tuleva teho $P = U_{AB}I$, missä I on sähkövirta tällä välillä.

Lähdejännite U_s ($s \triangleq$ source)

Sähkövirtaa aiheuttavan ilmiön voimakkuuden mitta, esimerkiksi kuormittamattoman akun tai pariston napojen välinen jännite.

Fysiikassa on tarpeen erottaa ilmiöt, jotka syöttävät energiaa piiriin niistä, jotka ottavat piiristä energiaa hyöty- tai hukatehona. Vastaavasti on tarpeen erottaa näiden ilmiöiden voimakkuuden ilmaisevat suureet ”lähdejännite” ja ”jännitehäviö”.

Kansainvälinen standardi suosittelee, ettei aiemmin käytettyä termiä ”sähkömotorinen voima”, tunnus E , käytetä.

voltti V, $1 \text{ V} = 1 \text{ W/A} = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/(\text{s}^3\text{A})$.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: kV, mV, μV



Magneettivuon tiheys \mathbf{B} , B

Kenttäsuure $\mathbf{B} = \mathbf{B}(\mathbf{r})$, joka esittää magneettikentän voimakkuutta sen voimavaikutusten kannalta.

Magneettikenttä vaikuttaa virtajohtimien voimalla $\mathbf{F} = I \mathbf{dr} \times \mathbf{B}$, missä I ja \mathbf{dr} ovat sähkövirta alkiossa ja alkion pituus, ja liikkuvaan varattuun hiukkaseen voimalla $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$, missä q ja \mathbf{v} ovat hiukkasen varaus ja nopeus.

Biot'n ja Savartin lain mukaan pitkän suoran virtajohtimen magneettikenttää esittävät kenttäviivat ovat ympyröitä, joilla on johdin yhteisenä akselina ja joiden suunta kytkeytyy sähkövirran suuntaan oikeakätisesti, ja kentän magneettivuon tiheys johtimesta mitatun etäisyyden R funktiona on $B = \mu_0 / (2\pi) \cdot (I/R)$, missä μ_0 on magneettivakio ja I sähkövirta johtimessa.

tesla T, $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2 = 1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ kg/(s}^2\text{A)}$. Tavallisia alikerrannaisia: mT, μT

Magneettivuo Φ

Kentän magneettivuo johdinsilmukan läpi esittää kenttää $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ esittävien, silmukan läpäisevien "kenttäviivojen määrää".

Sähkövirran (kierto)suunta ja silmukan magneettikentän suunta silmukan sisällä kytkeytyvät yhteen oikeakätisesti.

Kun laskentaa varten valittavat positiivinen kiertosuunta ja positiivinen läpäisy-suunta kytetään yhteen oikeakätisesti, sähkövirran ja sen kentän magneettivuo silmukan läpi ovat samanmerkkiset.

weber Wb, $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$.

Permeabiliteetti μ

Aineen magneettinen ominaisuus. Ks. suhteellinen permeabiliteetti.

henry per metri H/m.

Magneettivakio, tyhjiön permeabiliteetti $\mu_0 \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \approx 1,256 \text{ 637 } \mu\text{H/m}$.

Suhteellinen permeabiliteetti $\mu_r = \mu/\mu_0$

Aineen magneettinen ominaisuus, "kyky vahvistaa magneettikenttää".

Magneettivuon tiheys (isotrooppisessa) aineessa on $\mathbf{b} = \mu_r \mathbf{b}_0$, missä \mathbf{b}_0 olisi saman sähkövirran aiheuttaman kentän magneettivuon tiheys tyhjiössä.

Yksi 1.

Magneettimomentti m

Magneettisen "olion" (magneetti, virtasilmukka, solenoidi) "magneettisuuden mitta" Sen ilmaisee momentti $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$, joka "olioon" vaikuttaa magneettikentässä.

Virtasilmukan magneettimomentti on $\mathbf{m} = I\mathbf{A}$, missä I ja \mathbf{A} ovat sähkövirta silmukassa ja silmukan pinta-alavektori (silmukan normaalin suuntainen vektori, jonka suunta liittyy oikeakätisesti sähkövirran suuntaan).

ampeerineliometri Am^2 .

Magnetoituma M

Aineen magnetoitumisen voimakkuutta esittävä suure. Magnetoituma tietyssä pisteessä on $\mathbf{M} = d\mathbf{m}/dV$, missä $d\mathbf{m}$ ja dV ovat tähän pisteeseen kuuluvan ainealkion magneettimomentti ja tilavuus.

ampeeri per metri A/m .

Magneettikentän voimakkuus H, H

Kenttäsuure. Isotrooppisessa aineessa (ja tyhjiössä) on $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \mathbf{B}(\mathbf{r})/\mu_0 - \mathbf{M}(\mathbf{r}) = \mathbf{B}(\mathbf{r})/\mu$, missä μ ja \mathbf{M} ovat aineen permeabiliteetti ja magnetoituma ja \mathbf{B} magneettivuon tiheys.

Magneettikentän kiertämä $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{r}$ (integraali umpinaista reittiä pitkin) on aina yhtä suuri kuin reitillä kierretty sähkövirta. Esimerkiksi pitkän suoran virtajohtimen kentässä kiertämä yhtä kenttäviivaympyrää pitkin on Biot'n ja Savartin lain mukaan $2\pi R \cdot H = 2\pi R \cdot I / (2\pi R) = I$.

ampeeri per metri A/m .

Magneettikentän energia E_B

Energian lajisuure.

joule J .

Magneettikentän energiatiheys w_B

Energiatiheys magneettikentän pisteessä \mathbf{r} on $w_B = dE_B/dV = (1/2)\mathbf{B} \cdot \mathbf{H}$, missä dE_B ovat kentän energia tähän pisteeseen kuuluvassa aluealkiossa ja dV alkion tilavuus.

joule kuutiometrissä J/m^3 .

Induktanssi, itseinduktanssi L

Suure ilmaisee käämin kyvyn muodostaa magneettikenttää. Käämin kentän (kokonais)magneettivuo Ψ on verrannollinen käämin sähkövirtaan I . Verrannollisuuskerroin on käämin induktanssi: $\Psi = LI$.

Keskinäisinduktanssi L_{AB}

Suure ilmaisee käämien A ja B induktiivisen kytkeytymisen voimakkuuden. Käämin A läpäisevä käämin B kentän magneettivuo Ψ_{AB} on verrannollinen käämin B sähkövirtaan I_B , $\Psi_{AB} = L_{AB} \cdot I_B$. Kytkeytyminen on symmetrinen. Verrannollisuuskerroin $L_{BA} = L_{AB}$ on käämien keskinäisinduktanssi.

henry H, $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A} = 1 \text{ Vs/A} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/(\text{s}^2\text{A}^2)$. Tavallisia alikerrannaisia: mH, μH .

Käämin energia E_L

Käämin magneettikentän energia, $E_L = (1/2)LI^2$, missä L ja I ovat käämin induktanssi ja sähkövirta käämissä.

joule J.

Sähköenergia W

Energian siirtosuure. Virtapiirin välityksellä siirtyvä energia, taikka piirin osaan tuleva tai siinä kuluva energia.

joule J.

☉ *wattitunti* Wh. $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$. Tavallisia kerrannaisia kWh, MWh, GWh ja TWh

(Sähkö)teho P

Virtapiirin avulla tai sen eri osissa tapahtuvan energian siirron, syötön ja kulutuksen nopeus. $P = dW/dt = UI$, missä U ja I ovat piirin (osan) napojen välinen jännite ja sähkövirta piirissä (osassa).

Aikavälillä $[t_1, t_2]$ siirtyvää, tulevaa tai kuluva energiaa esittää lauseke $W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$.

watti W, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ VA} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$.

Tavallisia kerrannaisia ja alikerrannaisia: MW, kW, mW.

Vaihtosähkösuureita

Sähkötekniikassa suureiden riippuvuus ajasta ja niiden arvojen hetkellisyys voidaan ilmaista käyttämällä varsinaisten, suuraakkosin kirjoitettavien tunnusten sijasta vastaavia pienaakkosia. Esimerkiksi ajasta riippuvalle sähkövirralle $I = I(t)$, jännitteelle $U = U(t)$, ja teholle $P = P(t)$, käytetään silloin tunnuksia i , u ja p . Tämä merkintätapa ei sovi yleisempään käyttöön fysiikassa.

Vaihe-ero φ

sinimuotoisen jännitteen $U = U_0 \sin(2\pi ft - \varphi)$ ja sähkövirran $I = I_0 \sin(2\pi ft)$ vaihe-ero.

Impedanssi Z , Z , resistanssi R , reaktanssi X

Sinimuotoisen vaihtovirran kompleksisessa esityksessä laitteilla, jotka noudattavat yleistettyä Ohmin lakia $U_0 \sim I_0$ tai $U_{\text{eff}} \sim I_{\text{eff}}$ missä U_{eff} ja I_{eff} ovat jännitteen ja sähkövirran teholliset (jännite- ja virtamittarien näyttämät) arvot, on tietty laitteelle ominainen kompleksinen impedanssi $Z = R + iX$, jonka reaali- ja imaginaariosa ovat laitteen resistanssi ja reaktanssi.

Kompleksisen impedanssin itseisarvo on $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = U_0/I_0 = U_{\text{eff}}/I_{\text{eff}}$.

Sähköteho

Sinimuotoiseen vaihtosähköön liittyville eriluonteisille tehosuureille käytetään sähkötekniikassa eräitä spesifisiä suurenimiä, tunnuksia ja yksiköitä:

Pätöteho P

Piiriin tai laitteeseen syötetty tai siinä kuluva keskimääräinen teho, **watti** W.

Loisteho Q

Piirissä esiintyvät sähkö- ja magneettikentät vaihtelevat sinimuotoisesti, jolloin ne vuoroin ottavat piiristä energiaa, vuoroin syöttävät sitä takaisin piiriin. Loisteho on tämän vuorottelevan energiansiirron keskimääräinen teho.

☺ *vari* var (volt ampere reactive power), 1 var = 1 VA.

Vaihtosähkön kompleksisessa esityksessä tehoakin voidaan käsitellä kompleksisena suureena, jonka reaali-osa on pätöteho ja imaginaariosa loisteho.

Näennäisteho S

$S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$ (virta- ja jännitemittareiden lukemista päätelty teho) **voltiampeeri** VA.

Tehokerroin λ

Pätö- ja näennäistehon suhde. $\lambda = P/S$. Sinimuotoiselle vaihtosähkölle $\lambda = \cos\varphi$

7.5 Valo

Valovoima I , (I_v)

Esittää valonlähteen kirkkautta tietyssä suunnasta katsottuna. Valonlähteen säteilyn valovoima ilmaisee säteilyintensiteetin ”valaisevan osuuden”. vrt. säteilyintensiteetti

kandela cd. Perusyksikkö.

Kandela, cd, on valonlähteen kirkkautta tietyssä suunnassa esittävän valovoiman yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä 540×10^{12} Hz taajuisen yksivärisen valon valotehokkuudeksi $K_{cd} = 683 \text{ lm/W}$.

Taitesuhde n_{AB}

Valon (yleisemmin säteilyn) taittumista aineiden A ja B rajapinnassa esittävä, aineparille ominainen geometrinen invariantti $n_{AB} = \sin\alpha/\sin\beta$, missä α ja β ovat valon tulo- ja taitteikulma: $n_{AB} = c_A/c_B = \lambda_A/\lambda_B = k_A/k_B$, missä c , λ ja k ovat valon nopeus, aallonpituus ja aaltotiheys.

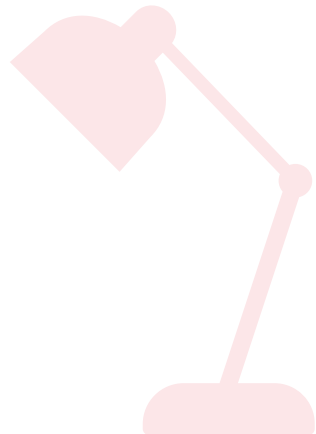
yksi 1.

Taitekerroin n , n_A

Tyhjiön ja aineen rajapinnan taitesuhde on aineen taitekerroin.

Taitesuhde ja taitekerroin riippuvat valon aallonpituudesta (säteilyhiukkasten energiasta).

yksi 1.



Energiasuureet

Energiasuureiden tunnuksiin voidaan liittää alaindeksi e (energy) erotukseksi vastaavista fotometrisista suureista, joille käytetään alaindeksiä v (vision).

Säteilyenergia Q , Q_e , W

Siirtosuureena lähteestä emittoituva tai kohteeseen absorboituva energia. Lajisuureena säteilyn energia. Vrt. Valomäärä.

joule J.

Säteilyn energiatiheys w

$w = dQ/dV$, missä dQ ja dV ovat aluealkiossa oleva säteilyenergia (lajisuureena) ja alkion tilavuus.

joule kuutiometrissä J/m³.

Säteilyn spektrinen energiatiheys aallonpituuteen nähden w_λ

$w_\lambda = dw/d\lambda$, missä dw on spektrin aallonpituusvälillä $\lambda \dots \lambda + d\lambda$ olevan säteilyn energiatiheys.

joule per metri neljänteen J/m⁴.

Säteilyvirta, säteilyteho Φ , (Φ_e) , P

Säteilyvirta on $\Phi = dQ/dt$, missä dQ on tietylle pinnalle osuva säteilyenergia aikana dt . vrt. Valovirta

watti W.

Säteilyintensiteetti I , (I_e)

Lähteen säteilyintensiteetti tietyssä suunnassa on $I = d\Phi/d\Omega$, missä $d\Omega$ on avaruuskulma-alkio tässä suunnassa ja $d\Phi$ tähän alkioon suuntautuvan säteilyn säteilyvirta.

vrt, valovoima

watti steradiaaniin W/sr.

Radianssi L , (L_e)

Pintalähteen "säteilytehokkuutta" esittävä suure. Lähteen pinta-alkion säteilyintensiteetti suuntaan, joka muodostaa kulman α alkion normaalin kanssa, on $dI = LdA \cdot \cos \alpha$, vrt. luminanssi.

watti neliömetriltä steradiaaniin $W/(m^2sr)$

Säteilyvirran tiheys φ

Etenevän homogeenisen säteilyn säteilyvirran tiheys on $\varphi = d\Phi/dA$, missä $d\Phi$ on säteilyä vastaan kohtisuoran pinta-alkion läpäisevä säteilyvirta ja dA on alkion pinta-ala, $\varphi = cw$, missä c ja w ovat säteilyn nopeus (ryhmänopeus, hiukkasnopeus) ja energiatiheys.

Suurelle käytetään (tässä tilanteessa) yleisesti nimitystä (säteilyn) intensiteetti. Esimerkiksi akustiikassa vastaava suure on äänen intensiteetti.

watti neliömetrille W/m^2 .

Säteilytysvoimakkuus E , (E_e)

Pinnan säteilytysvoimakkuus tietyssä pisteessä on $E = d\Phi/dA$, missä $d\Phi$ on pisteeseen kuuluvaan pinta-alkioon kohdistuva säteilyvirta ja dA alkion pinta-ala. vrt. valaistusvoimakkuus.

Tilanteessa, jossa etenevä säteily osuu kohtisuorasti pintaan säteilytysvoimakkuus on yhtä suuri kuin säteilyvirran tiheys $E = \varphi$.

watti neliömetrille W/m^2 .

Säteilytys H , (H_e)

Pinnalle kertyvän säteilyenergian pintatiheys. $H = dQ/dA$, missä dQ ja dA ovat pinta-alkioon kohdistuneen säteilyn säteilyenergia ja alkion pinta-ala. vrt. valotus

joule neliömetrille J/m^2 .

Fotometriset suureet

Fotometrinen suureiden tunnuksiin voidaan liittää alaindeksi v (vision) erotukseksi vastaavista energiasuureista, joille käytetään alaindeksiä e (energy). Fotometrinen suureiden suhde energiasuureisiin määritetään säteilyn spektrisen näkövasteen perusteella.

Luminanssi L , (L_v)

Pintalähteen "kirkkautta" esittävä suure. Lähteen pinta-alkion valovoima suuntaan, joka muodostaa kulman α alkion normaalin kanssa, on $dI = LdA \cdot \cos \alpha$ vrt. radianssi

kandela neliometriä kohti cd/m^2 .

Valovirta Φ , (Φ_v)

Valovirta ilmaisee säteilyvirran "valaisevan osuuden".

luumen lm , $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$

Tämä on yksikön nimen vahvistettu kirjoitusasu. "Lumen" on virheellinen muoto.

Säteilyn valotehokkuus K

Säteilyn valovirran suhde säteilyvirtaan $K = \Phi_v / \Phi_e$.

Lähteen valotehokkuus η_v

Lähteen emittoiman valovirran suhde lähteen kuluttamaan sähkötehoon $\eta_v = \Phi_v / P$.

luumen per watti lm/W .

Valomäärä Q , (Q_v)

Valomäärä ilmaisee säteilyenergian "valaisevan osuuden". vrt. säteilyenergia

luumensekunti $\text{lm} \cdot \text{s}$.

☺ *luumentunti* $\text{lm} \cdot \text{h}$, $1 \text{ lm} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ lm} \cdot \text{s}$.

Valaistusvoimakkuus E , (E_v)

Pinnan valaistusvoimakkuus tietyssä pisteessä on $E = d\Phi/dA$, missä $d\Phi$ on valovirta, joka osuu pinnan tähän pisteeseen kuuluvaan pinta-ala-alkioon dA . vrt. säteilytysvoimakkuus

luksi lx , $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2 = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}/\text{m}^2$.

Valotus H , (H_v)

Pinnalle kertyvän valomäärän pintatiheys. $H = dQ/dA$, missä dQ ja dA ovat pinta-alkioon kohdistuneen valon valomäärä ja alkion pinta-ala. vrt. säteilytys

luksisekunti lx·s; 1 lx·s = 1 s·cd/(sr·m²).

☺ *luksitunti*, 1 lx·h = 3 600 lx·s.

Geometrinen optiikka (Yksi pallopinta, pallopeili tai ohut linssi)

Esineen etäisyys a

Todellinen esine (hajaantuva sädekimppu): $a > 0$.

Vale-esine (suppeneva sädekimppu): $a < 0$.

Kuvan etäisyys b

Todellinen kuva (suppeneva sädekimppu): $b > 0$.

Valekuva (hajaantuva sädekimppu): $b < 0$.

Polttoväli f

Polttopisteen etäisyys.

Todellinen polttopiste (äärettömän etäisen esineen todellinen kuva): $f > 0$.

Valepolttopiste (äärettömän etäisen esineen valekuva): $f < 0$.

$$a^{-1} + b^{-1} = f^{-1}.$$

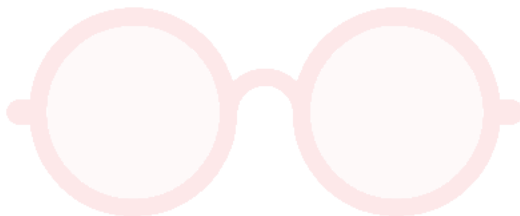
Metri m. Tavallinen alikerrannainen cm.

Linssin voimakkuus, taittokyky φ

Polttovälin käänteissuure $\varphi = f^{-1}$.

yksi per metri, käänteismetri m⁻¹.

☺ *dioptria* D, 1 D = 1 m⁻¹.



7.6 Ääni

Intervalli, logaritminen taajuusväli G

Taajuudet f_1 ja f_2 muodostavat intervallin $G = \text{lb}(f_2/f_1) = \log_2(f_2/f_1)$.

oktaavi oct, 1 oct = $\text{lb } 2 = 1$,

dekadi dec, 1 dec = $\text{lb } 10 \approx 3,32$ oct

Staattinen paine p_s

Paine, joka vallitsisi ilmassa (väliaineessa) ilman ääntä.

Äänenpaine p

Hetkellisen paineen ja staattisen paineen erotus.

pascal Pa, äänenpaineelle tavallinen kerrannainen μPa

Äänennopeus c

Äänienergian etenemisnopeus, ääniaallon ryhmänopeus $c = d\omega/dk$, missä ω ja k ovat äänen kulmataajuus ja kulma-aaltotiheys. Väliaineelle ja sen tilalle ominainen suure.

metriä sekunnissa m/s.

Äänienergia W

Äänen (värähtelyjen) energia tietyssä alueessa.

joule J.

Äänen energiatiheys w

Äänienergia tietyssä alueessa jaettuna alueen tilavuudella.

joule kuutiometrissä J/m^3 .

Ääniteho P

Tietylle pinnalle tuleva (tai pinnan läpäisevä) äänienergia aikayksikköä kohden.

watti W. 1 W = 1 J/s, tavallinen kerrannainen pW .

Äänen intensiteetti I

Pinnalle tuleva (tai pinnan läpäisevä) äänienergia ajan ja pinta-alan yksiköitä kohden. $I = cw$, missä c on äänennopeus ja w äänen energitiheys.

watti neliömetrille W/m^2 .

Äänenpainetaso L_p

$L_p = \ln(p/p_0) Np = 20 \lg(p/p_0)$ dB, jossa p on äänenpaine ja $p_0 = 20 \mu Pa$.

Äänitehotaso L_w

$L_w (1/2) \ln(P/P_0) Np = 10 \lg(P/P_0)$ dB, jossa P on ääniteho ja $P_0 = 1 pW$.

neperi Np , $1 Np = 1$. CIPM:n hyväksymä tasosuureiden samakantaisen SI-yksikön erityisnimi.

☺ *beli* B, $1 B = (1/2) \ln 10 Np \approx 1,15 Np$.
Käytössä tavallisesti *desibeli* dB, $1 dB = 0,1 B$.

Äänitehon häviösuhde δ , heijastussuhde r , läpäisysuhde τ ja absorptiosuhde α .

Levyn akustisia ominaisuuksia. δ on hävinneen, r heijastuneen, τ läpäisseen äänitehon ja α hävinneen ja läpäisseen äänitehon summan suhde saapuneeseen äänitehoon.
 $\delta + r + \tau = 1$, $\alpha = \delta + \tau$.

yksi 1.

Ääneneneristävyys R

$R = 10 \lg(1/\tau)$ dB, jossa τ on läpäisysuhde. Aikaisemmin käytettiin termiä reduktioluku.

☺ **beli** B, dB

Jälkikaiunta-aika T_n

Aika, jonka kuluessa äänienergian tiheys tarkasteltavassa tilassa pienenee n dB eli osaan $10^{-n/10}$ alkuarvostaan (tavallisesti 60 dB) äänilähteen sammuttua.

sekunti s.

7.7 Fysikaalinen kemia ja molekyyli­fysiikka

Ainemäärä n

mooli mol. Perusyksikkö.

Mooli, mol, on systeemin ainemäärän eli sen perusosasten lukumäärän yksikkö. Se määritellään kiinnittämällä Avogadron vakioksi $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ 1/mol.

Perusosaset voivat olla atomeja, molekyyli­jä, ioneja, elektroneja, muita hiukkasia tai tällaisten hiukkasten määriteltäjä ryhmiä.

Suhteellinen atomimassa A_r

$A_r = \langle m_A \rangle / (1 \text{ Da})$, missä $\langle m_A \rangle$ on alkuainenäytteen atomien keskimääräinen massa. Suureen arvo riippuu näytteen isotooppikoostumuksesta.

Suhteellinen molekyyli­massa M_r

$M_r = \langle m_M \rangle / (1 \text{ Da})$, missä $\langle m_M \rangle$ on tietyn kemiallisen aineen molekyyli­jen keskimääräinen massa. Suureen arvo riippuu näytteen isotooppikoostumuksesta.

yksi 1.

Avogadron vakio N_A

$N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ 1/mol, perusyksikön mooli määrittävä luonnonvakio.

”Puhtaan näytteen” rakenneosien lukumäärä jaettuna ainemäärällä, $N_A \cdot n = N/n$.

Moolimassa M

”Puhtaan näytteen” moolimassa on $M = m/n$, missä m ja n ovat näytteen massa ja ainemäärä.

kilogramma moolissa kg/mol.

Moolitilavuus V_m

”Puhtaan näytteen” moolitilavuus on $V_m = V/n$, missä V ja n ovat näytteen tilavuus ja ainemäärä.

kuutiometri moolissa m³/mol.

Moolinen lämpökapasiteetti C_m

”Puhtaan näytteen” moolinen lämpökapasiteetti on $C_m = C/n$, missä C ja n ovat näytteen lämpökapasiteetti ja ainemäärä.

joule per mooli ja kelvin, joule per kelvin moolissa J/(mol·K).

Lukumääräinen tiheys n

Hiukkasten (esim. molekyylien) lukumääräinen tiheys aineessa on $n = N/V$, missä N ja V ovat hiukkasten lukumäärä näytteessä ja näytteen tilavuus.

yksi kuutiometrissä 1/m³.

Moolinen kaasuvakio R

Ideaalikaasujen (kaasut harvan kaasun rajalla) tilanyhtälön mukainen invariantti $R = pV_m/T$, missä p , V_m ja T ovat kaasun paine, moolitilavuus ja termodynaaminen lämpötila.

$R = 8,314\,4598(48)$ J/(mol·K) (CODATA 2014)

joule per mooli ja kelvin J/(mol·K).

Boltzmannin vakio k

$k = 1,380\,649 \times 10^{-23}$ J/K, perusyksikön kelvin määrittelevä luonnonvakio.

Lämpötilassa T molekyylien keskimääräinen liike-energia on $(3/2)kT = R/N_A$, missä R on moolinen kaasuvakio ja N_A Avogadron vakio.

Faradayn vakio F

Varaus, jonka yksi mooli yhden arvoisia ioneja kuljettaa elektrolyysissä.

$F = 96,485\,332\,89(59)$ kC/mol (CODATA 2014).

coulombi moolissa C/mol

Alkeisvaraus e

$e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C, perusyksikön ampeeri määrittelevä luonnonvakio.

Elektronin varaus on $-e$. $e = F/N_A$, missä F on Faradayn vakio ja N_A Avogadron vakio.

Massakonsentraatio ρ_B

Aineen B massakonsentraatio seoksessa on $\rho_B = m_B/V$, missä m_B ja V ovat aineen B massa näytteessä ja näytteen tilavuus.

kilogramma kuutiometrissä kg/m³

☺ *gramma litrassa* g/l. 1 g/l = 1 kg/m³

Massaosuus w_B

Aineen B massaosuus seoksessa on $w_B = m_B/m$, missä m_B ja m ovat aineen B massa näytteessä ja näytteen massa.

yksi 1, 1 = kg/kg, tavallinen alikerrannainen *prosentti* %. 1 % = 0,01.

Ainemääräkonsentraatio c_B

Aineen B ainemääräkonsentraatio liuoksessa on $dc_B = n_B/V$, missä n_B ja V ovat aineen B ainemäärä näytteessä ja näytteen tilavuus.

mooli kuutiometrissä mol/m³.

☺ *mooli litrassa*, 1 mol/l = 1 kmol/m³, 1 mmol/l = 1 mol/m³.

Ainemääräosuus x_B

Aineen B ainemääräosuus seoksessa on $x_B = n_B/n$, missä n_B ja n ovat aineen B ainemäärä näytteessä ja seoksen kokonaisainemäärä.

yksi 1, 1 = mol/mol, tavallinen alikerrannainen *prosentti* %. 1 % = 0,01.

Aineen b tilavuusosuus, f_B

yksi 1, 1 = m³/m³, tavallinen alikerrannainen *prosentti* %. 1 % = 0,01.

Molaalisuus b_B, m_B

Aineen B liuoksen molaalisuus on $b_B = n_B/m$, missä n_B on liuenneen aineen ainemäärä ja m liuottimen massa näytteessä.

Jälkimmäistä tunnusta on vältettävä, jos se voi sekaantua aineen B massaan.

moolia kilogrammassa mol/kg

Katalyyttinen aktiivisuus (standarditunnusta ei ole sovittu.)

Suure ilmaisee katalyytin vaikutuksen kemiallisen reaktion nopeuteen.

katal kat, 1 kat = 1 mol/s.

pH

Merkintää käytetään poikkeuksellisesti sekä suurenimenä että suureen tunnuksena. Kansainvälinen standardi ISO 80000-9 ei kirjaa tämän suureen suhdetta SI-järjestelmään, mutta esittelee sen normatiivisessa liitteessä.

Vesiliuoksen happamuutta (tai emäksisyyttä) esittävä suure: $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+}$, missä a_{H^+} on vetyionien (oksoniumionien H_3O^+) aktiivisuus liuoksessa. Usein käytetään likimääräistä määritelmää $\text{pH} = -\lg (c_{\text{H}^+} / (1 \text{ mol/l}))$, missä c_{H^+} on vetyionien ainemääräkonsentraatio.

Neutraalin liuoksen $\text{pH} = 7$, happaman $\text{pH} < 7$, emäksisen $\text{pH} > 7$.

yksi 1.

7.8 Atomi- ja ydinfysiikka

Atomi-, ydin- ja hiukkasfysiikassa hiukkasen massa tarkoittaa sen lepomassaa.

Järjestysluku, protoniluku Z

Protonien lukumäärä ytimessä. Englanninkielisen termin kirjaimellinen suomennos ”atomiluku” on virheellinen termi.

Neutroniluku N

Neutronien lukumäärä ytimessä.

Massaluku A

Nukleonien lukumäärä ytimessä. $A = Z + N$.

Nämä nuklidin (atomilajin) tunnusluvut merkitään atomin kemiallisen tunnuksen indekseiksi: ${}^A_Z\text{X}_N$.

yksi 1.

Planckin vakio h

$h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ Js, perusyksikön kilogramma määrittelevä luonnonvakio.

Vaikutuskvanti.

Redusoitu Planckin vakio

$$\hbar = h/(2\pi)$$

Sähkömagneettisen säteilyn (värähtelijän) energianvaihdon kvantti on $E = hf = \hbar\omega$, missä f ja ω ovat säteilyn (värähtelijän) taajuus ja kulmataajuus.

joulesekunti Js.

Bohrsäde a_0

Bohrin mallin mukainen elektronin radan säde vetyatomin perustilassa.

$a_0 = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/(m_e e^2) = 0,529\,177\,210\,67(12) \times 10^{-10}$ m, missä ϵ_0 , \hbar , m_e ja e ovat sähkövakio, redusoitu Planckin vakio, elektronin massa ja alkeisvaraus. (CODATA 2014)

metri m,

☺ *ångström* Å, $1 \text{ Å} = 10^{-10}$ m

Rydbergin vakio R_∞

Bohrin mallin mukainen vetyatomin perustilan ionisaatioenergia on $E_H = hcR_\infty$.

$R_\infty = e^2/(8\pi\epsilon_0 a_0 hc) = 10\,973\,731,568\,508(65) \text{ m}^{-1}$, missä e , ϵ_0 , a_0 , h ja c ovat alkeisvaraus, sähkövakio, bohrsäde, Planckin vakio ja valonnopeus. (CODATA 2014)

yksi per metri, käänteismetri m^{-1} .

Spin s

Hiukkasen lajille ominainen sisäinen pyörimismäärä.

kilogramma kertaa metri toiseen per sekunti $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$

Spinkvanttiluku s

Hiukkaslajille ominainen kvanttiluku, yleensä lyhyesti spin. Hiukkasen spinin neliö on $s^2 = \hbar^2 s(s + 1)$. Fermionin spin on aina puolilukuinen, bosonin kokonaislukuinen. Esimerkiksi elektronin spin on $s = 1/2$, fotonin $s = 1$.

yksi 1.

Kvanttiluvut

Kvanttiluvut luonnehtivat hiukkasten ja atomaaristen systeemien stationaarisia tiloja.

Atomien yhden elektronin tilaan atomissa liittyvät kvanttiluvut:

Pääkvanttiluku n , sivukvanttiluku l , magneettinen kvanttiluku m_l ja magneettinen spinkvanttiluku m_s

Bohrin mallissa $n = 1, 2, \dots$ vetyatomin elektronin ratojen säteet ja sidosenergiat ovat $r_n = a_0/n^2$ ja $En = E_H/n^2$.

Elektronin rataliikkeen liikemäärämomentin neliö on $l^2 = \hbar^2 l(l + 1)$, $l = 0, 1, \dots, n-1$.

Rataliikkeen liikemäärämomentin z -komponentti on $l_z = m_l \hbar$, $m_l = l, l-1, \dots, -l$.

Elektronin spinin z -komponentti on $s_z = m_s \hbar$, $m_s = \pm 1/2$.

yksi 1.

Massavaje B

Ytimen sidosenergian massa on $c^2 B$. $B = Zm_H + Nm_n - m_a$, missä Z ja N ovat atomin järjestysluku ja neutroniluku, m_H , m_n ja m_a vetyatomin ^1H , neutronin ja atomin massat.

kilogramma kg,

☉ dalton Da, 1 Da Da = $1,660\,539\,040(20) \times 10^{-27}$ kg. (CODATA 2014)

Hajoamisvakio λ

Radioaktiivisen ytimen hajoamiskanavalle ominainen vakio. Jos näytteessä ei esiinny muita hajoamisia, hajoamisten lukumäärän tilastollinen odotusarvo aikana dt on $|dN| = \lambda N$, jossa N on radioaktiivisten ydinten lukumäärä näytteessä.

yksi per sekunti, käänteissekunti 1/s

Keskielinaika τ

Viritystilan tai pysymättömän hiukkasen elinajan odotusarvo. Radioaktiivisen ytimen hajoamiskanavalle ominainen vakio $\tau = 1/\lambda$.

sekunti s

Puoliintumisaika $T_{1/2}$

Aika, joka keskimäärin kuluu näytteen aktiivisuuden puolittumiseen (tai sen hajoamislain mukainen odotusarvo).

Jos näytteessä esiintyy vain yksi aktiivisuuden muoto (hajoamiskanava), on sen puoliintumisaika $T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$, missä λ on hajoamisvakio.

sekunti s.

☺ *minuutti min, tunti h, vuorokausi d.*

☺ *vuosi a*

Aktiivisuus A

Näytteen radioaktiivisuuden voimakkuutta esittävä suure $A = |dN|/dt$, jossa $|dN|$ on hajoamisten lukumäärä näytteessä aikana dt .

becquerel Bq, 1 Bq = 1 s⁻¹. Tavallisia kerrannaisia: kBq, MBq

☺ *curie Ci*, 1 Ci = 37·10⁹ Bq, tavallinen alikerrannainen mCi.

Ominaisaktiivisuus a

Aineen radioaktiivisuuden voimakkuutta esittävä suure, $a = A/m$, jossa A ja m ovat tätä ainetta olevan näytteen aktiivisuus ja massa.

becquerel kilogrammassa Bq/kg; 1 Bq/kg. Tavallisia kerrannaisia: MBq/kg, kBq/kg

Aktiivisuustiheys c_A

Aineen radioaktiivisuuden voimakkuutta esittävä suure, $a = A/V$, missä A ja V ovat tätä ainetta olevan näytteen aktiivisuus ja tilavuus.

becquerel kuutiometrissä Bq/m³; 1 Bq/m³ = 1/(sm³). Tavallinen kerrannainen kBq/m³.

Vaikutusala σ

Vaikutusala kuvaa kohteeseen osuvan hiukkasen aiheuttaman reaktion tai prosessin todennäköisyyttä. Se on kohteeseen osuvalle hiukkaselle ja prosessille ominainen suure ja riippuu hiukkasten energiasta. Efektiivisesti se on ko. prosessien lukumäärän suhde kohteeseen osuvan suihkun hiukkasvuontitiheyteen.

Vaikutusala voidaan spesifioida liittämällä suurenimeen prosessia tarkoittava termi ja suureen tunnuksen vastaava alaindeksi, esimerkiksi sironnan vaikutusala σ_{scat} .

Kokonaisvaikutusala σ_{tot}

Kaikkien samoilla hiukkasilla samassa kohteessa aiheutettujen reaktioiden vaikutusalojen summa. Efektiivisesti se on hiukkasen poistumisen vaikutusala suihkusta.

neliometri m^2 ,

☺ *barn* b , $1 b = 10^{-28} \text{ m}^2$.

Hiukkaskertymä Φ

Säteilyn hiukkaskertymä tietyssä pisteessä on $\Phi = dN/dA$, missä dN on tässä pisteessä olevaan pallonmuotoiseen alkeisalueeseen saapuvien hiukkasten lukumäärä ja dA tämän alueen poikkipinta-ala. Yksisuuntaisessa säteilyssä dA on säteilyn suuntaa vastaan kohtisuoran pinta-alkion pinta-ala ja dN siihen osuvien hiukkasten lukumäärä.

Suure voidaan spesifioida korvaamalla suurenimen ”hiukkanen” hiukkaslajia tarkoittavalla termillä ja liittämällä tunnuksen vastaava indeksi, esimerkiksi neutronikeritymä Φ_n .

yksi neliometrille $1/\text{m}^2$.

Hiukkaskertymänopeus ϑ

Säteilyn hiukkaskertymänopeus tietyssä pisteessä on $\vartheta = d\Phi/dt$, missä $d\Phi$ on hiukkaskertymä aikana dt .

Suure voidaan spesifioida korvaamalla suurenimen ”hiukkanen” hiukkaslajia tarkoittavalla termillä ja liittämällä tunnuksen vastaava indeksi.

yksi neliometrille sekunnissa $1/(\text{m}^2\text{s})$.

Säteilyenergia R

Hiukkas säteilyn energia muodostuu hiukkasten liike-energioista.

joule J

Energiakertymä Ψ

Säteilyn energiakertymä tietyssä pisteessä on $\Psi = dR/dA$, missä dR on tässä pisteessä olevaan pallonmuotoiseen alkeisalueeseen saapuva säteilyenergia ja dA tämän alueen poikkipinta-ala. Yksisuuntaisessa säteilyssä dA on säteilyn suunnalle kohtisuoran pinta-alkion ala ja dR siihen osuvan säteilyn energia.

joule neliömetrille J/m^2 .

Energiakertymänopeus ψ

Säteilyn energiakertymänopeus tietyssä pisteessä on $\psi = d\Psi/dt$, missä $d\Psi$ on energia-kertymä aikana dt .

watti neliömetrille W/m^2 .

Hiukkasvirta J

Säteilyn hiukkasvirta tietyssä pisteessä ilmaisee säteilyhiukkasten virtauksen tiheyden ja suunnan tässä pisteessä siten, että $\mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = dN/dt$, missä $d\mathbf{A}$ on tässä pisteessä olevan pinta-alkion pinta-alavektori ja dN tämän pinta-alkion läpäisevien hiukkasten lukumäärä aikana dt . Suure voidaan spesifioida korvaamalla suurenimen "hiukkanen" hiukkaslajia tarkoittavalla termillä ja liittämällä tunnuksen vastaava indeksi.

yksi neliömetrille sekunnissa $1/(m^2s)$.

Heikennyskerroin μ

Väliaineen heikennyskerroin on säteilylle ja aineelle ominainen suure, joka kuvaa säteilyn hiukkasvirran heikkenemistä väliaineessa. Väliaineessa etenevän hiukkas-säteilyn hiukkasvirran suhteellinen muutos matkalla dx on $dJ/J = -\mu dx$.

käänteismetri m^{-1}

Puoliintumispaksuus $d_{1/2}$

Aineelle ja säteilylle ominainen sellaisen kerroksen paksuus, jonka läpäisseen säteilyn tiettyä voimakkuutta esittävä suure on puolet alkuperäisestä.

Jos heikennyskerroin μ on aineelle ja säteilylle ominainen vakio, pätee $d_{1/2} = (\ln 2)/\mu$ (eksponentiaalinen heikkeneminen).

metri m, tavallisia alikerrannaisia cm, mm

Matkajarrutuskyky S

Väliaineen matkajarrutuskyky on säteilylle ja aineelle ominainen suure, joka kuvaa säteilyn energian heikkenemistä väliaineessa. Väliaineessa etenevän hiukkassäteilyn energian muutos matkalla dx on $dE = -Sdx$.

joule metrillä J/m.

☺ *elektronivoltti metrillä eV/m*

Keskikantama R

Keskimääräinen (suoristettu) matka, jonka säteilyhiukkanen kulkee väliaineessa ennen pysähtymistään (tai energian pienenemistä valittua kynnsarvoa pienemmäksi).

metri m.

Energianluovutus ε

Energia, jonka ionisoiva säteily luovuttaa aineen tiettyyn alueeseen.

joule J.

Absorboitunut annos D

Suure kuvaa ionisoivan säteilyn fysikaalista vaikutusta aineeseen: $D = d\varepsilon/dm$, jossa $d\varepsilon$ on säteilyn ainealkiolle luovuttama energia ja dm alkion massa.

gray Gy, 1 Gy = 1 J/kg = 1 m²/s². Tavallinen alikerrannainen: mGy. **(1) rad, 1 rad = 0,01 Gy**

Annosekvivalentti H

Suure kuvaa ionisoivan säteilyn säteilyannoksen biologista vaikutusta kudokseen. Se määritetään absorboituneen annoksen perusteella käyttämällä eri säteilylajien vaarallisuutta kuvaavia painotuskertoimia.

sievert Sv, 1 Sv = 1 J/kg = 1 m²/s². Tavallinen alikerrannainen: mSv. **(1) rem, 1 rem = 0,01 Sv.**

Säteilytys X

Ilmaisee röntgen- tai gammasäteilyn aiheuttaman ionisoitumisen "voimakkuuden". $X = Q/m$, missä Q on säteilyn kuivassa ilmanäytteessä synnyttämien yhdenmerkkisten ionien kokonaisvaraus (sen jälkeen, kun kaikki säteilyn irrottamat tai synnyttämät elektronit ja positronit ovat pysähtyneet) ja m on näytteen massa.

coulombi kilogrammassa C/kg; 1 C/kg. Tavallinen alikerrannainen: mC/kg

☺ *röntgen R, 1 R = 2,58·10⁻⁴ C/kg*

7.9 Dimensiottomat suureet

Suureiden, joiden dimensio on yksi, eli nk. dimensiottomien suureiden samakantainen yksikkö on luku yksi.

Tällaisia suureita on hyvin monenlaisia. Suuretta *lukumäärä* lukuun ottamatta ne ovat johdannaissuureita. Joissakin tapauksessa yksiköllä 1 on tällöin erityisnimi, kuten *radiaani*, $1 \text{ rad} = \text{m}/\text{m} = 1$ ja *steradiaani*,

$$1 \text{ sr} = \text{m}^2/\text{m}^2 = 1.$$

Näitä ovat erityisesti suhteelliset tai osuutta ilmaisevat suureet, kuten *massaosuus*, *hyötysuhde* ja *suhteellinen atomimassa*, erilaiset kertoimet, kuten *kitkakerroin* μ ja *taitekerroin* n , ja erityisesti kaikki nk. karakteristiset luvut (ISO 80000-11), kuten *Reynoldsin luku* Re .

Dimensiottoman suureen yksikön tunnusta 1 ei merkitä näkyviin tällaisten suureiden arvoja ilmoitettaessa (esimerkki 35).

Yksiköstä yksi ei voi muodostaa kerrannaisia eikä alikerrannaisia etuliitteiden avulla. Niiden sijaan käytetään kymmenen potensseja (esimerkki 36). Alikerrannaisia tarkoittavia lyhenteitä, kuten ppm, pphm tai ppb, ei pidä käyttää.

Prosentti %, $1 \% = 0,01$, on joillekin dimensiottomille suureille sopiva alikerrannainen. Monissa maissa on käytössä myös promille ‰, $1 ‰ = 0,001$ (esimerkki 37).

Koska nämä yksikön 1 alikerrannaiset ovat lukuja, ei ole mielekästä puhua esimerkiksi paino-, massa- tai tilavuusprosentista. Yksikön tunnukseen ei, yleisten periaatteiden mukaisesti, saa liittää tällaisia lisätietoja, kuten % (m/m) tai % (V/V).

HUOM: Prosenttia ei pidä sekoittaa prosenttiyksikköön, jota käytetään tarkasteltaessa prosentteina ilmaistun (dimensiottoman) suureen lukuarvojen erotuksia.

Esimerkki. Puolue sai vaaleissa 20 % kaikista annetuista äänistä. Edellisissä vaaleissa se oli saanut 17 % äänistä, joten sen ääniosuus kasvoi 3 prosenttiyksikköä ja $100 \times (3/17) \approx 17,6 \%$.

Esimerkki 35. Kitkakerroin $\mu = 0,6 \cdot 1 = 0,6$, taitekerroin $n = 1,33 \cdot 1 = 1,33$.

Esimerkki 36. Reynoldsin luku $Re = 1,32 \times 10^3$.

Esimerkki 37. Massaosuus on $67 \% = 0,67$. Hyötysuhde on $27 \% = 0,27$.

7.10. Ordinaalisuureet

Monilla luonnon olioiden ja ilmiöiden ominaisuuksilla on selvästi havaittavia erilaisia suuruuksia tai voimakkuuksia, joita voidaan esittää lukuarvoisesti vain sovittuun mittausten perustuvilla empiirisillä asteikoilla. Näin määriteltyjä suureita sanotaan *ordinaalisuureiksi*. Samankin ominaisuuden voimakkuutta voidaan tutkia erilaisilla mittausten menetelmillä, jolloin jokainen menetelmä määrittelee oman riippumattoman suurensa. Ordinaalisuureet eivät kytkeydy suurejärjestelmiin dimensiollisiksi suureiksi, niiden erotuksilla tai muuntosuhteilla ei ole fysikaalista merkitystä, eikä niillä voi suorittaa suurelaskentaa. Niillä ei myöskään ole mittayksiköitä, vaikka joissakin tapauksissa mittausten menetelmälle tai sen määrittelemälle asteikolle annettu nimitys on tapana liittää asteikon mukaiseen lukuarvoon ikään kuin tämän suureen yksikkönä.

Esimerkki 1. Maanjäristyksen voimakkuus eli magnitudi.

Yleisimmin käytetty *Richterin asteikko* on pyritty määrittelemään siten, että se esittäisi maanjäristyksessä vapautuvaa tehoa 10-kantaisella logaritmisella asteikolla samaan tapaan kuin desibeliasteikko esittää äänenvoimakkuutta. Nimitystä richter käytetään yksikön tapaan. Esimerkiksi maanjäristys, jonka magnitudi on 6 richteriä, on voimakkuudeltaan noin 10-kertainen 5 richterin ja 100-kertainen 4 richterin järjestykseen verrattuna.

Esimerkki 2. Aineen kovuus.

Kiinteiden aineiden kovuuksien vertailulla on tärkeä merkitys tarkasteltaessa materiaalien soveltuvuutta erilaisiin teknisiin tarkoituksiin. Tätä varten on kehitetty lukuisia eri materiaalityypeille soveltuvia asteikkoja. Ne perustuvat puhtaasti kokemusperäisiin menetelmiin, joilla tutkitaan materiaalin kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia esimerkiksi mittaamalla tietynsuuruisen muutoksen aikaansaamiseen tarvittavaa voimaa. Muodonmuutos saadaan aikaan yleensä painimella, jonka muoto vaihtelee menetelmästä riippuen. Standardisoituja menetelmiä ovat Rockwell, Brinell, Vickers ja Knoop metalleille sekä Shore ja IRHD elastisille materiaaleille. Kukin niistä määrittelee oman asteikkonsa.

Standardit ja muut julkaisut

Standardeja

ISO 80000-1 *Quantities and units – Part 1: General*

ISO 80000-2 *Quantities and units – Part 2: Mathematics* ISO 80000-3:2013 *Quantities and units – Part 3: Space and time*

ISO 80000-4:2013 *Quantities and units – Part 4: Mechanics*

ISO 80000-5 *Quantities and units – Part 5: Thermodynamics*

IEC 80000-6 *Quantities and units – Part 6: Electromagnetism*

ISO 80000-7 *Quantities and units – Part 7: Light and radiation*

ISO 80000-8 *Quantities and units – Part 8: Acoustics*

ISO 80000-9 *Quantities and units – Part 9: Physical chemistry and molecular physics*

ISO 80000-10 *Quantities and units – Part 10: Atomic and nuclear physics*

ISO 80000-11 *Quantities and units – Part 11: Characteristic numbers*

ISO 80000-12 *Quantities and units – Part 12: Condensed matter physics*

IEC 80000-13 *Quantities and units – Part 13: Information science and technology*

Kirjallisuus

SFS-OPAS 99 *Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit*

BIPM SI Brochure: *The International System of Units (SI)*

SI-opas

SI-järjestelmä on kansainvälisesti hyväksytty mittayksikköjärjestelmä ja se on kuvattu kansainvälisissä ISO-standardeissa.

SI-järjestelmän perusyksiköiden määritelmiä on uusittu ja uudistukset ovat voimassa toukokuusta 2019 lähtien.

Tämä opas sisältää viimeisimmän tiedon ja kuvaa havainnollisesti koko SI-järjestelmän.

Standardit ja käsikirjat ovat tekijänoikeuslain suojaamia teoksia. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:llä on SFS-standardien ja -käsikirjojen tekijänoikeus.

SFS

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Malminkatu 34, PL 130, 00101 Helsinki
p. 09 149 9331
www.sfs.fi, sales@sfs.fi