

# SI-MITTAYKSIKÖT

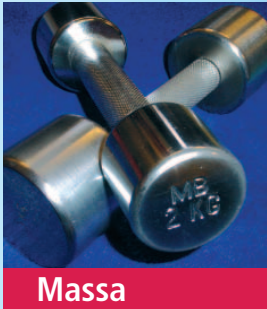


Pituus

**metri / m** Metri on sellaisen matkan pituus, jonka valo kulkee tyhjiössä aikavälissä  $1/299\,792\,458$  s. (17. CGPM 1983). Määritelmä kiinnittää valonnopeuden.

## SI-yksikön realisointi

Metri realisoidaan MIKESissä tällä hetkellä kolmen jodiin stabiloidun punaisen He-Ne-laserin avulla. Kunkin laserin taajuus on  $473\,612\,353\,604$  kHz suhteellisen standardiepävarmuuden ollessa  $2,1 \times 10^{-11}$ . Realisointi siirretään käytännön mittauksiin ja mittanormaaleihin kalibroittujen lasereiden ja interferometrian avulla. Tulevaisuudessa metrin realisointiin käytetään optista taajuuskampaa, jonka avulla esim. cesium-atomikellon mikroaaltoalueella oleva toimintataajuus ja tarkkuus saadaan yhdellä askeleella optiselle alueelle.



Massa

**kilogramma / kg** Kilogramma on massan yksikkö; se on yhtä suuri kuin kansainvälisen kilogramman prototyypin massa. (3. CGPM 1901). Määritelmä kiinnittää kilogramman prototyypin massan.

## SI-yksikön realisointi

Kansainvälisessä painojen ja mittojen toimistossa (BIPM) Ranskassa säilytetään kansainvälistä platina-iridiumista valmistettua kilogramman prototyypin. Suomessa massan kansallinen mittanormaali on kansainvälisen kilogramman kopio n:o 23. Se on saatu BIPM:stä vuonna 1890 ja sitä säilytetään MIKESissä. Sen massa tunnetaan kansainväliseen kilogramman prototyypin nähden suhteellisella epävarmuudella  $12 \times 10^{-9}$ . Aktiivinen tutkimustyö on käynnissä kilogramman realisoinniseksi sähkösuureiden, ajan ja pituuden avulla.



Aika

**sekunti / s** Sekunti on  $9\,192\,631\,770$  kertaa sellaisen säteilyn jakson aika, joka vastaa cesium 133 -atomin siirtymää perustilan yllihenorakenteen kahden energiatason välillä. (13. CGPM 1967). Määritelmä kiinnittää yllihenorakenteen siirtymän taajuuden.

## SI-yksikön realisointi

Ajan ja taajuuden mittayksiköt realisoidaan cesium-atomikellolla. Sen taajuuden suhteellinen epävarmuus on  $1 \times 10^{-13}$ . Epävarmuus vastaa 1 sekuntia 300 000 vuodessa. Suomen kansallinen aika määritetään MIKESissä atomikelloilla, joiden näyttämää verrataan jatkuvasti kansainväliseen koordinoituun yleisaikaan (UTC) GPS-paikannussatelliittien signaaleja käyttäen noin 200 ns epävarmuudella. UTC-aika perustuu noin 230 eri puolilla maapalloa sijaitsevan atomikellon lukemien painotettuun keskiarvoon.



Sähkövirta

**ampeeri / A** Ampeeri on ajallisesti muuttumaton sähkövirta, joka kulkiessaan kahdessa suorassa yhdensuuntaisessa, äärettömän pitkässä ja poikkipinnaltaan mitättömässä pyöreässä johtimessa, jotka ovat metrin etäisyydellä toisistaan tyhjiössä, aikaansaa johtimien välille  $2 \times 10^{-7}$  newtonin voiman johtimen metriä kohti. (9. CGPM 1948). Määritelmä kiinnittää tyhjiön permeabiliteetin  $\mu_0$ .

## SI-yksikön realisointi

Koska sähkövirran yksikkö on hyvin vaikea realisoida suoraan määritelmän perusteella, sähkövirta määritetään käytännössä Ohmin lakia käyttäen jännitteen ja resistanssin kvanttinormaalien kansainvälisesti sovitusta arvoista. Tasajännitteen kvanttinormaali perustuu suprajohteissa esiintyvään Josephson-ilmioon ja sen uusittavuuden suhteellinen standardiepävarmuus on  $1 \times 10^{-9}$ . Resistanssin kvanttinormaali perustuu eräissä puolijohderakenteissa havaittavaan kvantti-Hall-ilmioon ja sen uusittavuuden suhteellinen standardiepävarmuus on  $1 \times 10^{-8}$ . Tutkimustyö sähkövirran tuottamiseksi yksittäisten elektronien avulla on jo pitkällä.



Termodynaaminen lämpötila

**kelvin / K** Kelvin, termodynaamisen lämpötilan yksikkö, on  $1/273,16$  veden kolmoispuheen termodynaamisesta lämpötilasta. (13. CGPM 1967). Määritelmä kiinnittää veden kolmoispuheen lämpötilan.

## SI-yksikön realisointi

Lämpötila määritellään kansainvälisen sopimuksen mukaan termodynaamisena lämpötilana  $T$ . Kelvineinä ilmaistun termodynaamisen lämpötilan lisäksi käytetään celsiuslämpötilaa  $t$ , joka määritellään yhtälöllä  $t = T - 273,15$  K. Sen yksikkö celsiusaste ( $^{\circ}\text{C}$ ) on yhtä suuri kuin kelvin. Termodynaaminen lämpötila on vaikeasti mitattavissa ja siksi käytännön mittauksia varten on sovittu kansainvälisestä lämpötila-asteikosta ITS-90. Asteikon perustan muodostavat termodynaamiset kiintopisteet, joille on sovittu tietyt lukuarvot. Kiintopisteiden välillä lämpötila lasketaan interpolointikaavojen avulla. Alueella  $-259$   $^{\circ}\text{C}$  ...  $+962$   $^{\circ}\text{C}$  lämpötila määritellään kiintopisteissä kalibroittujen platinavastuslämpömittareiden avulla. Lämpötilan  $+962$   $^{\circ}\text{C}$  yläpuolella asteikko toteutetaan Planckin säteilylain avulla.

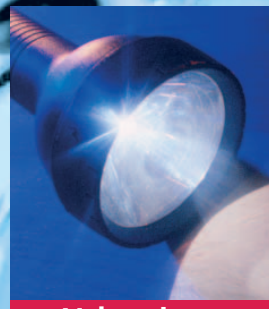


Ainemäärä

**mooli / mol** Mooli on sellaisen systeemin ainemäärä, joka sisältää yhtä monta perusosasta kuin  $0,012$  kilogrammassa hiili 12:ta atomeja. Moolia käytettäessä perusosaset on yksilöitävä, ja ne voivat olla atomeja, molekyylejä, ioneja, elektroneja, muita hiukkasia tai sellaisia hiukkasten määriteltyjä ryhmiä. (14. CGPM 1971). Määritelmä kiinnittää hiiliatomin massan.

## SI-yksikön realisointi

Moolia ei realisoida suoraan sen määritelmästä. Se voidaan realisoida monella epäsuoralla tavalla. Ainemäärän määrittämisen perusmenetelmiksi on valittu: isotoppilaimennusmassaspektrometria, kulometria, gravimetria, titrimetria ja jäätymispisteiden alenema.



Valovoima

**kandela / cd** Kandela on sellaisen säteilijän valovoima, joka tiettyyn suuntaan lähettää monokromaattista  $540 \times 10^{12}$  hertsin taajuisia säteilyä ja jonka säteilyintensiteetti tähän suuntaan on  $1/683$  wattia steradiaania kohti. (16. CGPM 1979). Määritelmä kiinnittää määritellyn säteilijän intensiteetin.

## SI-yksikön realisointi

Valolähteen valovoima määritetään mittaamalla sen aiheuttama valaistusvoimakkuus tunnetulla etäisyydellä valolähteestä referenssifotometrin avulla. Referenssifotometrin vaste on määritetty optisen tehon mittanormaalin, kryogeenisen radiometrin avulla. Referenssifotometrin spektrin herkkyyden noudattava kansainvälisen suosituksen mukaista päivänäkemisen herkkyyssäikä. Käyrän maksimiarvo osuu aallonpituudelle  $555$  nm, joka vastaa kandelan määritelmässä esiintyvää  $540$  THz:n taajuutta.

Vuonna 1875 solmitun kansainvälisen metrisopimuksen perusteella kokoontuva yleinen paino- ja mittakonferenssi CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) hyväksyi vuonna 1960 käyttöönsä kansainvälisen mittayksikköjärjestelmän SI (Système International d'Unités). SI-järjestelmään kuuluvat yllä esitetyt seitsemän perusyksikköä ja niiden avulla ilmaistut johdannaisyksiköt. Suomessa SI-mittayksiköt otettiin käyttöön vuonna 1965. Mittatekniikan keskus (MIKES) on kansallinen metrologian tutkimuslaitos, joka realisoii tärkeimmät mittayksiköt, ylläpitää ja kehittää pääosaa mittanormaaleista sekä koordinoi alan toimintaa Suomessa.

## Esimerkkejä SI-johdannaisyksiköistä, joilla on erityisnimi

Suure	SI-yksikkö	Tunnus	SI-johd.yksikkö	SI-perusyksikkö
tasokulma	radiaani	rad		
avaruuskulma	steradiaani	sr		
taajuus	hertsi	Hz		$s^{-1}$
voima	newton	N		$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
paine, jännitys	pascal	Pa	$N/m^2$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energia, työ, lämpömäärä	joule	J	$N \cdot m$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
teho	watti	W	$J/s$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
sähkövaraus, sähkömäärä	coulombi	C		$A \cdot s$
sähköpotentiaali, potentiaaliero, jännite, sähkömotorinen voima	voltti	V	$W/A$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
kapasitanssi	faradi	F	$C/V$	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$
resistanssi	ohmi	$\Omega$	$V/A$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
konduktanssi	siemens	S	$A/V$	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
magneettivoima	weber	Wb	$V \cdot s$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magneettivuon tiheys	tesla	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
induktanssi	henry	H	$Wb/A$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
celsiuslämpötila	celsiusaste	$^{\circ}\text{C}$		K
valovirta	lumen	lm		$cd \cdot sr$
valaistusvoimakkuus	luksi	lx	$lm/m^2$	$cd \cdot m^{-2} \cdot sr$
aktiivisuus	becquerel	Bq		$s^{-1}$
absorboitunut annos	gray	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
ekvivalenttiannos	sievert	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$

## Esimerkkejä perusyksiköiden avulla ilmaistuista SI-johdannaisyksiköistä

Suure	SI-yksikkö	Tunnus
pinta-ala	neliometri	$m^2$
tilavuus	kuutiometri	$m^3$
nopeus	metri/sekunti	$m/s$
kiihtyvyyden	metri/neliösekunti	$m/s^2$
aaltoluku	1/metri	$m^{-1}$
tiheys	kilogramma/kuutiometri	$kg/m^3$
ominaistilavuus	kuutiometri/kilogramma	$m^3/kg$
virrantiheys	ampeeri/neliometri	$A/m^2$
magneettikentän voimakkuus	ampeeri/metri	$A/m$
konsentraatio (ainemäärän)	mooli/kuutiometri	$mol/m^3$
luminanssi	kandela/neliometri	$cd/m^2$

## Koetulosten avulla määritellyt yksiköt

Suure	Yksikkö	Tunnus	Määritetty arvo
massa	atomimassayksikkö	u	$1,660\,540\,2 \times 10^{-27}$ kg
energia	elektronivoltti	eV	$1,602\,177\,33 \times 10^{-19}$ J

## Mittayksiköiden kerrannaiset

Etuliite	Tunnus	Tekijä, jolla mittayksikkö tulee kerrotuksi
jotta	Y	$10^{24} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
tsetta	Z	$10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
eksa	E	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^3 = 1\,000$
hehto	h	$10^2 = 100$
deka	da	$10^1 = 10$
desi	d	$10^{-1} = 0,1$
sentti	c	$10^{-2} = 0,01$
milli	m	$10^{-3} = 0,001$
mikro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$
atto	a	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$
tsepto	z	$10^{-21} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$
jokto	y	$10^{-24} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$

## Esimerkkejä SI-johdannaisyksiköistä

Suure	SI-yksikkö	Tunnus	SI-perusyksikkö
dynaaminen viskositeetti	pascalsekunti	Pa·s	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
voiman momentti	newtonmetri	N·m	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
pintajännitys	newton/metri	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
lämpövoiman tiheys, säteilyvoimakkuus	watti/neliometri	$W/m^2$	$kg \cdot s^{-3}$
lämpökapasiteetti, entropia	joule/kelvin	J/K	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
ominaislämpökapasiteetti, ominaisentropia	joule/kilogrammamelvin	$J/(kg \cdot K)$	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
ominaisenergia	joule/kilogramma	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
lämmönjohtokyky	watti/metrikelvin	$W/(m \cdot K)$	$kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$

## Esimerkkejä SI-johdannaisyksiköistä

Suure	SI-yksikkö	Tunnus	SI-perusyksikkö
energiatiheys	joule/kuutiometri	$J/m^3$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
sähkökentän voimakkuus	voltti/metri	V/m	$kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
varaustiheys	coulombi/kuutiometri	$C/m^3$	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
permittiivisyys	faradi/metri	F/m	$kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot s^4 \cdot A^2$
permeabiliteetti	henry/metri	H/m	$kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
molaarinen energia	joule/mooli	J/mol	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
moolientropia,			
moolinen lämpökapasiteetti	joule/moolikelvin	$J/(mol \cdot K)$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
säteilyntuotto (röntgen- ja $\gamma$ -säteet)	coulombi/kg	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
absorboitunut annosnopeus	gray/sekunti	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$



**MIKES**  
Mittatekniikan keskus

• [www.mikes.fi](http://www.mikes.fi)