

1. Mælistærðir

Eðlisfræðin lýsir heiminum með *mælanlegum stærðum*. Til eru ýmis afbrigði mælistærða og eru þeirra helstar *stigstærðir* og *vigrar*. Í þessum kafla verður fyrst sagt stuttlega frá stigstærðum, þ.e. fjallað um *mælitölur* og *einingar*, en í kaflalok er stutt yfirlit um vigrar og einfaldan vigurreikning.

1.1 Stigstærðir

Einföldustu stærðir sem eðlisfræðin notar eru samsettar úr *mælitölu* og *einingu*. Slíkar stærðir eru kallaðar *stigstærðir*. Mælitalan getur verið *formerkt*, og í einstaka tilfalli eru eðlisfræðilegar stærðir einingarlausar.

Dæmi um stigstærðir: 25 km/klst; -20°C

Dæmi um stigstærðir eru *hitastig*, *eðlismassi* og *þrýstingur*.

Eðlisfræðin notar einnig flóknari stærðir og eru þar mikilvægastir svonefndir *vigrar*, en þeir hafa eiginleikana *lengd* og *stefnu*. *Lengd* vigurs er jákvæð stærð sem hefur mælitölu og einingu.

Dæmi um vigurstærð: 25 km/klst *í norður*

Dæmi um vigurstærðir eru *hraði*, *hröðun* og *kraftur*.

Í þessari bók er fylgt þeirri venju að hafa tákn fyrir stigstærðir *skáletruð* (t.d. *V* fyrir rúm-mál og *A* fyrir flatarmál).

1.2 Tugveldi og stærðargráður

Mjög stórar og mjög litlar tölur eru iðulega skrifaðar með hjálp tugvelda. Töluna 1230000 mætti skrifa t.d. sem $123 \cdot 10^4$ eða $1,23 \cdot 10^6$. Töluna 0,000123 mætti skrifa á veldisformi t.d. þannig: $1,23 \cdot 10^{-4}$.

Stærðargráða tölu er *næsta heila tugveldi við töluna*. Þannig telst stærðargráða tölunnar 550 vera 1000 eða 10^3 . Stærðargráða tölunnar 0,004 er 10^{-3} . Oft er gripið til hugtaksins stærðargráða þegar nægir að gefa grófa hugmynd um stærð tölu. Þannig má segja að þvermál rót-eindar sé af stærðargráðunni 10^{-15} m eða að aukning í reiknihraða tölva á tilteknu tímabili hafi orðið af stærðargráðunni 100 (stundum er þá sagt að hraðinn hafi aukist um *tvær stærðargráður*). Sum tugveldi hafa stöðluð heiti þegar þau eru tengd einingum og verður gerð grein fyrir þeim síðar í þessum kafla.

1.3 Markverðir stafir

Eðlisfræðistærð er stöku sinnum fastsett með *skilgreiningu* (dæmi um það er ljóshraðinn) en langoftast ákvörðuð með *mælingum*. Nákvæmni mælinga eru ævinlega takmörk sett og þegar niðurstaða mælingar er sett fram eru upplýsingar um *nákvæmnina* jafnmikilvægar og niðurstaðan sjálf.

Í vísindalegri skýrslu er niðurstaða mælingar skrifuð með öllum þeim tölustöfum sem í *raun* eru þekktir með nokkurri vissu, en ekki fleirum! Sú almenna regla gildir þegar niðurstaða mælingar er sett fram, að hún er skrifuð til og með *fyrsta óvissa staf*. Þeir stafir í niðurstöðu sem teljast þekktir (ásamt fyrsta óvissa staf) nefnast *markverðir stafir*. Þegar sagt

er að tiltekin stærð sé þekkt með svo og svo mörgum markverðum stöfum gefur það góða hugmynd um nákvæmnina.

Í venjulegum texta um eðlisfræði eru tölur sjaldnast gefnar upp með öllum þekktum tölustöfum. Þá er *síðasti tölustafurinn* í tölu jafnframt *fyrsti óvissi stafurinn* - því að hann er óviss sem nemur námundarskekkjunni.

1,234
 ↳ fyrsti óvissi stafur
 └─┬─┘
 fjórir markverðir stafir

Við útreikninga þarf að gæta þess að fjöldi markverðra stafa í niðurstöðu sé ekki meiri en fjöldinn í forsendunum gefur tilefni til. Slíkt mat á fjölda stafa fer fram með hjálp *óvissureiknings* en um hann vísast hér til lesningar í bæklingi um verklega eðlisfræði. Við skulum aðeins glöggva okkur á hvornig fjöldi markverðra stafa í tölu er skilgreindur.

Fjöldi markverðra stafa í tölu er talinn frá fyrsta staf vinstra megin í tölunni sem ekki er núll. Ef um er að ræða *heila tölu* er *síðasti stafurinn* í tölunni sem ekki er núll talinn síðasti markverði stafurinn. Ef talan inniheldur *brotkommu* er síðasti stafurinn í tölunni jafnframt síðasti markverði stafurinn, jafnvel þótt hann sé núll. Allir stafir milli fyrsta og síðasta markverða stafs teljast markverðir stafir. Þetta skal nú skýrt með dæmum:

1234	Hér eru <i>fjórir</i> markverðir stafir. 1 er fyrsti og 4 sá síðasti.
12340	<i>Fjórir</i> markverðir stafir. 1 er fyrsti og 4 síðasti markverði stafur.
1234·10 ²	<i>Fjórir</i> markverðir stafir.
12,34	<i>Fjórir</i> markverðir stafir.
123,400	<i>Sex</i> markverðir stafir. 1 er fyrsti og síðara núllið sá síðasti.
0,0123400	<i>Sex</i> markverðir stafir. 1 er fyrsti og síðasta núllið sá síðasti.

Í tölu eins og 12340 sem telst skv. skilgreiningunni hér að ofan hafa aðeins fjóra markverða stafi gæti núllið í raun verið nákvæmlega ákvarðaður stafur. Til að taka af öll tvímæli um fjölda réttra stafa má í slíkum tilfellum skrifa töluna með tugveldi, t.d. þannig:

1,2340·10⁴ *Fimm* markverðir stafir

1.4 Grunneiningar

Allar stærðir eðlisfræðinnar má túlka með örfáum *grunneiningum* - þ.e. einingum sem eru skilgreindar án tilvísunar í aðrar. Ýmis einingakerfi eru við lýði sem nota mismunandi grunn-einingar, en í SI-kerfinu svonefnda (fyrir *Système International d'Unités*) sem notað er í þessari bók, eru grunneiningarnar sjö. Ein þeirra *candela* fyrir ljósstyrk er gjörsamlega óþörf í eðlisfræði og verður hennar ekki getið frekar hér. Hinar eru **metri** fyrir *lengd*; **sekúnda** fyrir *tíma*; **kilógramm** fyrir *massa* (efnismagn); **amper** fyrir *rafstraum*; **kelvín** fyrir *hitastig* og **mól** fyrir *fjölda*. Hér á eftir fer stutt yfirlit um grunneiningarnar.

Metri [m] er grunneining *lengdar*. Metrinn var upphaflega (árið 1790) hugsaður þannig að fjarlægðin frá miðbaug jarðar til norðurpóls yrði 10 milljón metrar. Vegalengdin var ákvörðuð með landmælingum og niðurstaðan skráð með tveim rispum í stöng úr sérstökum málm. Lengi var notast við þessa svonefndu *staðalstöng* til að skilgreina metrann, eða allt til ársins 1960. Þá tók við *ljósfræðileg* skilgreining þannig að metrinn var ákveðinn sem viss fjöldi *öldulengda* af tilteknu ljósi. En árið 1983 var metrinn skilgreindur enn á ný - og væntanlega í síðasta sinn. Sú skilgreining er merkileg að því leyti að hún *fastsetur ljóshraðann* óháð því hvornig mælitækni mun þróast í framtíðinni, og festir þar með vissa mikilvæga fasta í rafsegulfræði. *Metri er nú vegalengdin sem ljós fer í tómi á brotinu 1/299 792 458 úr sekúndu.*

Sekúnda [s] er grunneining *tíma*. Hugmyndin að skipta sólarhringnum í 24 klst., klukkustund í 60 mín. og mínútu í 60 sekúndur er ævafor, komin frá Babýloníumönnum. Þar sem sólarhringar eru breytilegir að lengd var sekúndan lengi vel skilgreind sem ákveðið brot af árinu 1900, en sú skilgreining reyndist ekki nógu nákvæm er mælitækni fleygði fram. Sekúndan er nú (síðan 1967) skilgreind á grundvelli *sesíum-atómklukku*, nánar tiltekið sem ákveðinn fjöldi

sveiflutíma í vissri geislun frá Cs-137 atómi. Sveiflur sesíum-atóma tempra gang atómklukku líkt og pendúll gerir í pendúklukku, en með gifurlegri nákvæmni.

Kílógramm [kg] er grunneining *massa*, þ.e. efnismagns. Kílógrammið er massi tiltekins lóðs - hins alþjóðlega staðal-kílógramms - sem geymt er í París. Upphaflega (um 1790) var lóðið gert til að líkja eftir efnismagninu í einum lítra vatns við 4°C. Athugið að kílógrammið er eina grunneiningin sem er *forskeytt*, þ.e. hefur tugaforskeytið *kíló*.

Æskilegt væri að geta skilgreint grunneiningu massa á almennari hátt en nú er gert með því að vísa til massa atóma eða öreinda þannig að allir hafi aðgang að staðlinum. Í atómeðlisfræði er t.d. mikið notuð svonefnd *atómmassaeining* en hún er skilgreind sem 1/12 af massa C-12 atóms. Vandinn við að bera massa í stórheimi saman við slíka staðla í smáheimi atóma hefur þó hingað til reynst óyfirstíganlegur og því sitjum við enn uppi með staðalkílóíð í París.

Kelvín [K] er grunneining *hitastigs*. Það er skilgreint þannig að svonefnt *þrípunktshitastig vatns* er fastsett 273,16 K. Þrípunktshitastig vatns fæst þegar ís, vatn og mettuð vatnsgufa eru öll í snertingu hvert við annað og í varmajafnvægi.

Amper [A] er grunneining *rafstraums*. Það er skilgreint út frá kraftinum sem verkar milli tveggja mjög langra, mjórna og beinna leiðara sem liggja samsíða hvor öðrum og flytja jafnstraum. Nánar tiltekið er amper sá straumur sem þarf að fara um slíka leiðara til að valda kraftinum $2 \cdot 10^{-7}$ N á hvern lengdarmetra leiðaranna þegar bilið milli þeirra er 1 m. Sérstakar *straumvogir* eru notaðar til að mæla straum beint út frá þessari skilgreiningu og þar með til að kvarða handhægari gerðir straummæla.

Mól er grunneining fyrir *fjölda*. Mól er fjöldi atóma í 12 grömmum af kolefnissamsætunni C-12. Þessi tala (þ.e. fjöldinn í móli) nefnist *Avogadros-tala*, táknuð N_A .

1.5 Samsettar einingar

Allar einingar aðrar en grunneiningarnar teljast vera *samsettar* eða *afleiddar*. Svo er t.d. um SI-eininguna fyrir *hraða*, hvort sem hún er tjáð í m/s eða km/klst.

Einingar haga sér í reikningum eins og hverjar aðrar stærðir í bókstafareikningi. Þ.e.a.s. þær stytast út hver á móti annarri og margfeldi þeirra má tákna með veldum. Hér á eftir verða sýnd nokkur dæmi um þetta - síðasta dæmið sýnir tvo möguleika á að skrifa "metra á sekúndu í öðru":

$$a) 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4\text{s} = 60\text{m}$$

$$b) 10\text{m} \cdot 20\text{m} = 200\text{m}^2$$

$$c) \frac{20\text{m/s}}{2\text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10\text{ms}^{-2}$$

Til að hægt sé að "reikna" þannig með einingum þurfa þær að vera samstæðar. Ekki er t.d. umhugsunarlaust hægt að margfalda saman hraða í km/klst og tíma í sekúndum. Ef bíll fer með hraðanum 60 km/klst í 10 s, fer hann að vísu $600 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{klst}}$, en það er ekki augljóst hvað

þessi niðurstaða þýðir - við erum óvön að nota þessa samsettu einingu fyrir vegalengd! Eðli-legra er að breyta hraðanum fyrst í SI-einingar, þannig:

$$60 \frac{\text{km}}{\text{klst}} = 60 \frac{1000\text{m}}{3600\text{s}} \approx 17\text{m/s}$$

og margfalda svo með tímanum í sekúndum: $17\text{m/s} \cdot 10\text{s} = 170\text{m}$.

Í sýnidæmum þessarar bókar er yfirleitt sett inn í jöfnur í SI-einingum og ekki alltaf hirt um að birta einingar ásamt tölunum í stæðum því vitað er að útkoman verður þá einnig í SI-einingum.

Sumar afleiddar einingar eru svo mikið notaðar að ástæða hefur þótt til að gefa þeim sérstök heiti sem venjulega eru leidd af nöfnum frægra vísindamanna. Slík heiti eru innleidd í þessum bókum eftir því sem ástæða er til, en í töflunni hér á eftir eru nokkur um slíkar "aðlaðar" einingar.

Stærð	Samsett eining	Heiti	Tákn
tíðni	1/s	hertz	Hz
kraftur	kg·m/s ²	newton	N
orka	N·m	joule	J
afl	J/s	watt	W
þrýstingur	N/m ²	pascal	Pa
raffhleðsla	A·s	coulomb	C
(raf)spenna	J/C	volt	V
viðnám	V/A	ohm	Ω
leiðni	Ω ⁻¹	siemens	S
rýmd	C/V	farad	F

Þess skal loks getið að rúmmálseiningin *lítri* er einn rúmdesímetri og massaeytingin *tonn* er 1000 kg eins og alkunna er.

1.6 Forskeyttar einingar

Í stað þess að rita mjög stóra eða mjög litla tölu með tugveldi (eða mörgum núllum) og einingu er oft heppilegt að leiða stærri eða minni einingar af SI-einingunni með því að nota *stöðluð forskeyti* fyrir tugveldið. Dæmi úr daglegu máli er að við tölum frekar um 25 km en 25000 m. Hin stöðluðu forskeyti SI-kerfisins eru sett upp í eftirfarandi töflu.

Tugveldi	Heiti	Tákn
10 ¹⁸	exa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	gíga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kíló	k
10 ²	hektó	h
10	deka	da
10 ⁻¹	desí	d
10 ⁻²	sentí	c
10 ⁻³	millí	m
10 ⁻⁶	míkró	μ
10 ⁻⁹	nanó	n
10 ⁻¹²	píkó	p
10 ⁻¹⁵	femtó	f
10 ⁻¹⁸	attó	a