

# VÍSINDIN EFFLA ALLA DÁÐ

Þorbjörn Sigurgeirsson

*Um eðlisfræði*



AFMÆLISKVEÐJA  
TIL  
HÁSKÓLA ÍSLANDS  
1961

Þróun eðlisfræðinnar

Náttúruvísindin hafa jafnan verið eitt af aðalviðfangsefnum háskólanna, og þar hafa vísindi þessi þróast allt frá hreinni náttúruskoðun og þar til að umt varð að stjórna öflum náttúr-unnar og færa sér þau í nýtt á marga vegu. Háskólarnir gegna hér tvennum hlutverkum. Annarsvegar auka þeir stöðugt við þekkinguna með rannsóknunum sínum. Hinsvegar miðla þeir af þekkingunni til þeirra, sem þess óska, og ala jafnframt upp menn til rannsóknastarfa, sem svo halda áfram að auka við þekkingarforðann.

Náttúruvísindin, eða raunvísindin, fjalla um það, sem við fáum greint með skynfærum vorum, annaðhvort beint eða fyrir milligöngu mælitækja. Það, sem eingöngu gerist í hugum manna, er hinsvegar talið til hugvísinda. Mörkin á milli þessara vísindagreina eru ekki alltaf ljós, og ýmsar skoðanir hafa komið fram um það, hvert vera ætti hlutverk hugans og hvert hlutverk náttúruskoðunarinnar. Menn hafa deilt um, hvort treysta mætti mynd þeirri, sem skynfærin gefa oss af náttúrunni, eða hvort hugurinn geti greint eitthvað dýpra á bak við mynd skynfæraanna.

Nútíma náttúruvísindi hafa gert náttúruna sjálfa að æðsta dómara. Engin kenning, hversu rökrétt og heillandi sem hún kann að vera, er nú talin til náttúruvísinda nema hún fjalli um það, sem skynfæri vor fá greint, og að niðurstöður hennar standist dóm reynslunnar.

Eðlisfræðin fæst við hin einfaldari og auðskildari viðfangs-



HLAÐBÚÐ REYKJAVÍK  
1961

*Gefið út af*  
BANDALAGI HÁSKÓLAMANNA

efni á sviði raunvísindanna, nefnilega hegðun dauðra hluta. Með því að takmarka þannig verksvið sitt og leggja aðaláhervzluna á einföld viðfangsefni, hefur eðlisfræðin náð þeim mun lengra hvað snertir glögga fransetningu og nákvæmar niðurstöður. Langdægnar lýsingar með óljósum orðum hafa vikið fyrir skorinorðum lýsingum, þar sem aðeins eru notuð fastmótuð hugtök. Lögmaðlin, sem stjórna atburðarásinni, eru sett fram sem stærðfræðilegar jöfnur, og atburðunum er lýst með tölum. Í stað hreinnar náttúruskoðunar koma tilrannir, þar sem aðstæðum er hagrætt þannig, að sem auðveldast sé að athuga atburð þann, sem rannsaka skal.

Höfundur þessarar stefnu í náttúruvísindum er talinn Ítalinn Galileo Galilei, sem kom fram með kenningar sínar á fyrri hluta 17. aldar. Kjörorð hans var: Mælið allt, sem mælanlegt er, og gerið það mælanlegt, sem ekki er það. Þessum fyrirætlum hefur eðlisfræðin síðan fylgt dyggilega. Sem dæmi má nefna þróun hugtakanna hiti og kuldi. Upphaflega voru hugtök þessi aðeins tengd við hita og kuldaskeytnu húðarinnar og voru þá ekki mælanleg í venjulegum skilningi, og allur samamburður var erfiður og ónákvæmur. Með tilkomu hitameðisins, sem byggist á miklu reglulegri náttúrufrýrnberum en hitaskynjun mannsilkamans, var hægt að mæla hitastigið og gefa niðurstöðurnar með nákvæmum tölum, og allur samamburður varð auðveldur.

Á vorum dögum þykir aðferð sú, sem hér hefur verið drepið á, eðlileg og sjálfsgöð, en á dögum Galileis voru viðhorfin önnur. Þá táknuðu kenningar hans hvorki meira né minna en byltingu í öllum hugsunarhætti og afstöðu varðandi samband mannsins og náttúrunnar, og Galilei varð að þola hinar herflægustu ofsóknir vegna kenninga sinna. Náttúrufræði mátti þá teljast til trúarbragða, og kirkjunnar menn, sem tekið höfðu að sér að útskýra eðli og tilgang alheimsins, voru a. m. k. ekki í neinum vafa um það, að ef einhverjar athuganir stönguðust á við hinar hefðbundnu kenningar kirkjunnar, þæri að hafna þeim fyrirnefndu og halda sér við trúna.

Þrátt fyrir svefna andstöðu brutust þó náttúruvísindin úr viðjunum kirkjunnar. Þar með var lokrið 2000 ára löngu tímabili stöðunar, sem staðið hafði allt frá dögum gríska heimspekingins Aristotelesar, en hann hafði lagt grundvöllinn að hugmyndakerfi

því, sem kirkjan aðhylltist. Nú tók við ný þróun, sem síðan hefur orðið stöðugt övri allt til vorra daga. Í stað útskýringa kirkjunnar, þar sem aðaláhervzlan var lögð á tilgang atburðanna, kom nú hlutlaus rannsókn, og hlutverk skýrandans var takmarkað við að finna samræmi í rás viðburðanna.

Fyrir lok 17. aldarinnar hafði þin nýja stefna í náttúruvísindum náð fullum sigri og hlotið almenna viðurkenningu. Sigurinn var innsiglaður með verkum Englendingsins Ísaks Newtons.

Galilei hafði gert ýtarlegar athuganir á falli hluta, og einnig lá fyrir alhnákvæm vitaneska um gang himintungla. Með þessi gögn í höndum tókst Newton að sýna fram á, að alla hreyfingu hluta mátti skýra á mjög einfaldan hátt og að fullkomnið samræmi var í hreyfingu himintunglanna og hreyfingu hluta á jörðu niðri. Það er aðeins tvennt, sem haft getur áhrif á hreyfingu hlutar. Annað er hinn hreyfandi kraftur, en án krafts verður engin breyting á hreyfingunni. Hitt er massi eða tregða hlutarins, sem dregur úr áhrifum kraftsins á hreyfinguna. Breyting á hraða hlutar er alltaf í stefnu kraftsins, sem á hann verkar, og verður því övri sem krafturinn er sterkari, en aftur á móti tefur tregðan, sem fylgir efnismagni hlutarins, fyrir breytingunni.

Hreyfingarlögmál Newtons eru sett fram sem orsakatengsl. Það, sem gerist, er skoðað sem afleiðing af ákveðinni orsök, sem var fyrir hendi áður en eða um leið og atburðurinn gerðist. Lítið er á kraftinn sem orsök og hraðabreytinguna sem afleiðingu. Án krafts verður engin breyting á hreyfingarástandinu, en ákveðinn kraftur skapar alltaf ákveðna hraðabreytingu. Samhengið milli orsakar og afleiðingar setti Newton fram í einfaldri stærðfræðijöfnu, sem gefur til kynna að krafturinn sé alltaf jáfn breytingu þeirri, sem verður á hreyfismagni hlutarins á tímaeiningu, en hreyfismagn er margfeldi massa og hraða. Ef krafturinn er þekktur, og auk þess staður og hraði hlutarins á ákveðnum tíma, nægir líking þessi til þess að reikna út alla hreyfingu hlutarins. Þar sem kraftarnir eru yfirleitt ákveðnir við innbyrðis afstöðu og hreyfingu hinna einstöku hluta, felur hreyfingarlíking Newtons í sér möguleika til þess að reikna út fyrirfram stöðu allra hluta í heiminum, ef ástandið er þekkt á einhverjum ákveðnum tíma.

Það reyndist kleitt að reikna út gang himintungla með mikilli

nákvæmni, og ýmsum virtist sem óhjákvæmleg afleiðing af lögmálum eðlisfræðinnar hlýti að vera, að öll rás atburðanna í heiminum væri fyrirfram ákveðin eins og gangur himintunglanna. Aðrir munu þó hafa verið þeirrar skoðunar, að þekking eðlisfræðinga á lögmálum náttúrunnar væri ekki nægilega traust til þess að hægt væri að draga svo víðtækar ályktanir. Algild orsakalögmál eru í samræmi við hina fornu forlagatrú, en þau samrýmast illa ríkjandi lífsskoðunum, þar sem þau hafa ekkert rím fyrir hugtök eins og frjálsan vilja og athafnatræsi.

Upphaflega skiptist eðlisfræðin í nokkrar greinar, sem voru að miklu leyti óháðar, en skiptingin var bundin við skynfærin og þau rannsóknaðar, sem notuð voru. Greinar þessar voru, auk mekanisku eðlisfræðinnar (afl- og hreyfingarfræði), sem þegar hefur verið getið, varmafræði, hljóðfræði, raf- og segulfræði og ljósfræði. Með aukinni þekkingu komast svo greinar þessar á sameiginlegan grundvöll, og öll skörp mörk á milli þeirra þurk-ast út. Það kom í ljós, að hitinn var ekki annað en áhrif frá hreyfingu smæstu agna efnisins, og þar með var mekaniska eðlisfræðin orðin grundvöllur varmafræðinnar. Sama var að segja um hljóðfræðina, þar sem í ljós kom, að hljóðið var ekki annað en bylgjuhreyfing í efninu. Þegar menn höfðu gert sér grein fyrir eðli raf- og segulkrafta, varð affræðin einnig ómissandi fyrir raf- og segulfræði. Að lokum mátti svo skipa ljósfræðinni undir raf- og segulfræði, þar sem ljósið er raf-segulsveiflur.

Hér hafa aðeins verið taldar þær greinar eðlisfræðinnar, sem unnið var að fyrir síðustu aldamót, en af þeirri upptalningu er ljóst, að affræðin, eða mekaniska eðlisfræðin, hefur grundvallarþýðingu fyrir alla eðlisfræðina, en allt fram til síðustu aldamóta hvíldi affræðin algjörlega á hreyfingarlögmálum Newtons. Eins og áður var nefnt, koma tvö frum-hugtök fyrir í lögmálum þessum, kraftur og massi, en af þeim má svo aftur leiða önnur hugtök, svo sem orkuhugtakið, sem alla tíð hefur reynzt eitthvert nýtsamasta hugtak eðlisfræðinnar.

Í mekanisku eðlisfræðinni er lítið á kraftinn sem verkandi á milli ákveðinna efnisagna, og orkan er einnig bundin við efnid sem orka einstakra efnisagna. Við nánari athugun kom þó í ljós, að þetta þarf ekki að vera svo.

Á síðari hluta nítjándu aldar fékkst Breðinn James Clerk Maxwell við rannsókna á segul- og rafverkunum ratstranna og rafhláðinna hluta og komst að þeirri niðurstöðu, að einfaldast væri að meðhöndla kraftverkanir þessar óháð þeim stránum og hleðslum, sem orsaka þær. Til þess notar hann hugtakið kraftsvið, en með því er átt við þann eiginleika rúmsins, að einhver hlutur verði fyrir ákveðnum kraftverkunum í hverjum punkti þess. Rafrakfurinn, sem verkar á hláðna ögn, er þá ekki rakinn til þeirrar rafhleðslu, sem veldur honum, heldur aðeins til rafsviðsins í þeim punkti rúmsins, þar sem ögnin er. Viðfangsefnið að finna kraftverkun milli tveggja hláðinna hluta, er þannig klofið í tvennt. Fyrst er fundið það rafsvið, sem annar hluturinn skapar í kring um sig. Síðan er fundin sú kraftverkun, sem hinn hluturinn verður fyrir í þessu sviði.

Samkvæmt því, sem sagt hefur verið, er hér aðeins um að ræða nýtt form eða nýja reikningsaðferð, en óbreytt innihald. Hið eðlisfræðilega gildi sviðshugtaks Maxwells liggur í því, að hann kemst að þeirri niðurstöðu, að sviðið breiðist út með endanlegum hraða frá þeim hlut, sem skapar það, og að orka fylgi sjálfu sviðinu. Maxwell tókst að finna stærðfræðilegar líkingar, sem lýsa breytingum þeim, sem verða í raf- og segulsviði, og sýndi fram á, að svona svið breiðist út með sama hraða og ljósið. Hann var þó svo bundinn hinum newtonska hugsunarhætti, að hann taldi nauðsynlegt að skýra sviðið sem verkun einhvers efnis, hins svonefnda eters, og ljósið taldi hann sveifluhreyfingu í þessu efni. Fyrir kynslóð Maxwells var kenning hans um raf-segulsviðið mjög tor-skilin, og fullyrða má, að sjálfur hafi hann varið miklu meiri tíma og kröftum í að hugleidda eiginleika etersins heldur en til að leiða út sviðslíkingar sínar. Næsta kynslóð komst þó að þeirri niðurstöðu, að allar bollaleggingar um eterinn væru óþarfar, en það væru líkingarnar, sem máli skipðu.

Það, sem olli þessum sinnaskiptum, var afstæðiskenning Alberts Einsteins. Hún var fram komin laust eftir síðustu aldamót, vegna þess að kenningar Newtons og Maxwells höfðu ekki reynzt færar um að gera grein fyrir rás viðburðanna, þegar hlutir fóru með hraða, sem nálgast ljóshraðann. Það, sem einkum knúði fram hina nýju kenningu, voru niðurstöður nákvæmra mælinga

á hraða ljóssins. Niðurstöðurnar gáfu til kynna, að hraði ljóssins væri alltaf sá sami, óháð hreyfingum mælitæksins, en það samræmdist ekki þeirri skoðun Maxwell's, að ljósið væri bylgjuhreyfing í efri. Með afstæðiskenningunni skapaðist hið hreina sviðshugtak, þar sem sviðið er viðurkennt sem sjálfstæður, eðlisfræðilegur veruleiki, án þess að vera tengt efni eins og eternum. Áhrifa afstæðiskenningarinnar gætti víða, og af henni leiddi margar veigamiklar niðurstöður. Ein afleiðing afstæðiskenningarinnar er að efnis- og orkuhugtakið renna saman í eitt. Efnið er aðeins eitt form orkunnar, og allri orku fylgir massi eða efnismagn. Áður var orkulögmálið notað um óbreytanleik heildarorkunnar, og einnig var reiknað með að heildarmassinn hældist óbreyttur. Nú runnu þessar tvær setningar saman í eina, sem segir, að heildarorkan haldist óbreytt, ef massinn er einnig talinn með til orkunnar, eða að heildarmassinn sé óbreyttur, ef massi orkunnar er einnig talinn með.

Um síðustu aldamót tóku menn einnig að rekast á aðra veltu í kenningum Newtons, sem kom í ljós, þegar fengizt var við mjög smáar efnisagnir, svo sem elektrónur. Það varð smátt og smátt ljóst, að ekki varð hjá því komizt að gera mjög róttækar breytingar á grundvallaratriðum aflfræðinnar, ef skýra átti hegðun hinna smáu efnisagna. Kenning sú, sem viðleitni þessi hafði í för með sér, hlaut nafnið skammtakenning, en nafnið er af því dregið, að vissar eðlisfræðilegar samstæður, svo sem atóm, geta ekki tekið til sín eða látið frá sér eðlisfræðilegar stærðir, eins og t. d. orku, nema í vissum skömmtum.

Höfundar skammtakenningarinnar eru margir, og má þar nefna Max Planck, Niels Bohr, Erwin Schrödinger og Werner Heisenberg, sem hver um sig hafa lagt fram veigamikinn skerf til þróunar þessarar fræðigreinar.

Hinar smáu agnir haga sér að ýmsu leyti mjög ólíkt því, sem vænta mætti samkvæmt hinum gamalkunnu lögmálum Newtons. Það, sem einlum ber á milli og hefur viðtækar afleiðingar, er það að strangt orsakalögmál gildir ekki um hegðun þessara agna. Sem dæmi mætti nefna geislavirka kolefniskjarnann C-14. Allir slíkir kolefniskjarnar eru eins, og við venjulegar að-

stæður verða þeir ekki fyrir neinum ytri áhrifum, sem máli skipta. Kjarnar þessir eru geislavirkir, og við og við sendir einhver þeirre frá sér elektrónu og breyrist í köfnunarefniskjarna. Hjá sumum kjarnanna gerist þetta innan einnar mínútu, hjá öðrum eftir nokkrar klukkustundir eða nokkra daga, og hjá einn öðrum ekki fyrir en eftir þúsundir ára. Ekki er hægt að segja fyrir um, hvenær einn ákveðinn kjarni mun senda frá sér elektrónu. Hið eina, sem hægt er að segja um fyrirfram í sambandi við þennan atburð er, hve miklar líkur séu til þess að hann gerist á vissu tímabili.

Svipaða sögu er að segja af elektrónum, sem sendar eru í gegnum þunnan kristal. Sumar þeirra breyta þá um stefnu, en í stað þess að dreifast jafnt um upphallegu stefnunna, leita elektrónur þessar aðeins í vissar stefnur, en það er ómögulegt að segja um það fyrirfram, hvaða stefnu hver einstök elektróna tekur. Hið eina, sem hægt er að segja um fyrirfram, eru líkurnar fyrir því að elektrónan fari í einhverja ákveðna átt eftir að hún er komin í gegnum kristalinn. Það kemur í ljós, að líkur þessar svara alveg til myndar þeirrar, sem röntgengeislur með vissa bylgjulengd gefa, efur að hata farið í gegnum sama kristal. Þetta bendir til þess, að hægt sé að nota einhvers konar bylgjulíkingu til þess að reikna út líkurnar fyrir því að elektróna eða önnur lítil ögn lendi á vissum stað. Schrödinger kom fram með slíka líkingu árið 1926 og hefur sú líking leyst hreyfingarlíkingu Newtons af hólmi þegar um lítlar agnir er að ræða.

Sé háttalag röntgengeisla athugað gaumgefillega, kemur í ljós, að það minnir í sumu tilliti meira á agnir en bylgjur. Þannig eru verkanir þeirra í raun og veru staðbundnar eins og elektrónanna, en yfirleitt var lítið svo á, að bylgjur verkuðu á stóru svæði samfimis. Staðbundnar verkanir röntgengeisla og einnig ljósgeisla koma fram, ef veikir röntgengeislar eða dauft ljós fellur á ljósmyndaplötu. Ljósmyndaplatan svertist þá ekki jafnt, heldur koma hér og þar fram svört korn, nákvæmlega eins og þegar elektrónur rekast á ljósmyndaplötna.

Af þessu varð ljóst, að hinar gömlu hugmyndir um hegðun efnisagna annarsvegar, og bylgna, t. d. ljósbylgna, hinsvegar, svör-

núð ekki til veruleikans. Í raunverulegum hlutum eru báðir þessir eiginleikar samtengdir, og það er hægt að beita sömu aðferðum við að reikna út hegðun ljósgæsla og efnisagna. Bylgjuflikningum má beita bæði á ljós og efnisagnir, og fleiri aðferðir eru þekktar til þess að reikna út hegðun efnisins, eða orkunnar, í hvaða formi sem hún birtist.

Aðalnumurinn á hreyfingarflíkingu Newtons og bylgjuflikningu Schrödingers er sá, að líking Newtons gefur ákveðin svör um, hvað gerast munni, en Schrödingarflíkingin gefur aðeins líkunar fyrir því, að eitthvað gerist. Ýmsum finnst, eða fannst a. m. k. fyrst í stað, að það sé óviðunandi, að geta ekki gefið grunnvallarlögmálum eðlisfræðinnar það form, að hægt sé að segja ákveðið um, hvað gerast munni undir ákveðnum kringumstæðum. Með öðrum orðum, að náttúrulögmálin ættu að byggjast á ákveðnum orsakatengslum. Bent hefur verið á, að óvissa sú, sem speglast í bylgjuflikningunni og athugunum á hegðun líflíða efnisagna, geti átt rætur sínar að rekja til ófullhægjandi þekkingar á ástandinu. Að ef til vill mætti reikna út aldur ákveðins kolefniskjarna, ef ástandið innan kjarnans væri nægilega vel þekkt, og segja fyrir stefnu elektrónu eftir að hafa farið í gegnum kristal, ef vitað væri nægilega nákvæmlega, hvar elektrónan fer í gegnum kristalinn, og hvar atóm kristalsins liggja.

Sú óvissa í þekkingu ástandsis, sem veldur hinum óákveðnu svörum skammtakennningarinnar, á sér þó dýpri rætur en venjulegar mæliskekkjur, sem stafa af ófullkomleika mælitækja og unnt er að draga úr með bættum tækjum og breyttum aðferðum. Heisenberg hefur fært rök að því, að nákvæmni í ákvörðun ástandsis sé ákveðin takmörk sett, sem ekki verði fram hjá komizt, hvorki með bættum tækjum né bættum mælingaraðferðum. Ef ákveða skal stað og hraða líftillar agnar, þá hafa þessar tvær ákvarðanir áhrif hvor á aðra, þannig að mjög nákvæm staðarákvörðun leiðir af sér ónákvæma hraðarákvörðun, og nákvæm hraðarákvörðun hefur í för með sér ónákvæma staðarákvörðun. Hingað má rekja rætur óvissunnar í spádómnum skammtakennningarinnar. Nauðsynleg forsenda fyrir því, að líking Newtons geti gefið öruggan spádóm um ástandið í framtíðinni er, að ástandið sé þekkt nákvæmlega á ákveðnum tíma, t. d. staður og hraði efnisagnar.

Þegar um lítlar efnisagnir er að ræða, þrestur þessa forsendu og þar af leiðandi er ekki unnt að gera öruggan spádóm.

Ástæðunnar fyrir hinni ónákvæmleigu ónákvæmni í ákvörðun ástandsis er að leita í gagnverkunum á milli mælitækja og þess, sem mælt er. Mælingin truflar hið melda ástand og þess vegna er ekki hægt að segja nákvæmlega um hvernig ástandið er að mælingunni lokinni. Þetta vandamál er einnig áberandi í mörgum öðrum vísindagreinum, svo sem líffræði og sálfræði. Þannig mun varla unnt að rannsaka sálarástand manns án þess að það verði um leið fyrir verulegum truflunum.

Enda þótt sálfræðin heveri ekki undir eðlisfræði, mætti þó ætla, að reynsla sú, sem fengið hefur í skammtafræðinni, gæti einnig orðið sálfræðinni að nokkru líði. Eðli hugsunarinnar er lítt þekkt, en ætla má, að þar séu að verki lítlar efniseindir, sem hlífa lögmálum skammtakennningarinnar. Auk þess er hugsunarstarfsemin mjög opin fyrir yfri truflunum. Með hljóðsón af þeim afleiðingum, sem áþekkar aðstæður skapa í eðlisfræðinni, mætti þá ætla, að um hugsunina giltu engin ströng orsakalögmál. Hin nýju viðhorf skammtakennningarinnar hafa þannig leyst vísindin úr slæmri klípu og opnað áttur svigrúm fyrir hugtök eins og athafnafrelsi og frjálstan vilja.

En jafnvel þótt ekki yrði við komið að notfæra sér innihald skammtakennningarinnar, má vel vera að aðferðir þær, sem þar er beitt, gætu hentað öðrum vísindagreinum, og væri æskilegt að miklu fleiri kynntust grundvelli þessarar vísindagreinar heldur en þeir, sem fást við eðlis- og efnifræði.

### Eðlisfræði og tæknivísindi

Hér hefur einkum verið fjallað um hin almennu sjónarmið eðlisfræðinnar og jafnframt drepið á, hvað aðrar vísindagreinar mættu af henni læra. Það, sem valdið hefur mestu um vöxt og viðgang eðlisfræðinnar síðustu áratuginna, er þó hin nánu tengsl hennar við tæknivísindin. Áður fyrir liðu venjulega mannsaldrar frá því að eðlisfræðileg uppgötvun var gerð og þar til að tæknin tók

hana í sína þjónustu, en nú líða oft ekki nema örfá ár þangað til slíkar uppgötvunar hafa fengið útbreidda, hagnýta þýðingu. Þannig hafa undirstöðurrannsóknir í eðlisfræði meiri beina þýðingu nú en nokkru sinni fyrir fyrir almenna velmegun og afkomu manna.

Háskólarinn, þar sem mikill hluti þessara rannsókna fer fram, eru um leið orðnir tengdari atvinnuvegunum en þeir hafa áður verið. Kemur þar bæði til, að oft er hægt að hagnýta beint niðurstöður þeirra rannsókna, sem gerðar eru við háskólana, og eins hitt, að háskólarinn þjálfar menn fyrir atvinnuvegina. Í iðnþróðum löndum er það algengt, að eðlisfræðingar vinni að rannsóknum og stundi kennslu við háskóla framan af ævinni, en starfi síðan í atvinnulífinu og beiti þá þekkingu sinni og reynslu til þess að ná hagnýtum árangri af uppgötvunum, sem þeir og aðrir hafa gert í rannsóknstofum háskólanna.

Nú er svo komið, að háskólarinn hafa ekki lengur undan að fullnægja þörfinni fyrir grundvallarrannsóknir í eðlisfræði, og mög íðnfyrirtæki reka sínar eigin rannsóknarstofnanir, þar sem unnið er að grundvallarrannsóknnum engu síður en hagnýtum rannsóknum. Slík starfsemi hefur oft reynzt íðnfyrirtækjum ábata-söm, þar sem hún gerir þeim kleift að koma fram með margvíslegar nýjungar löngu á undan keppinautum, sem engar rannsóknir hafa.

Þýðingu rannsókna í háþröðuðu iðnaðarlandi má markna af því, að í Bandaríkjunum starfar nú á að gízka helmingur þjóðarinnar að framleiðslu og dreifingu á vörum, sem framleiddar eru á grundvelli vísindalegra uppgötvana, sem gerðar hafa verið síðustu hálfu öld, og gert er ráð fyrir, að eftir 25 ár verði helmingur þjóðarinnar startandi við framleiðslu og dreifingu á vörum, sem framleiddar verða á grundvelli uppgötvana, sem ekki hafa verið gerðar embá.

Þróun eðlisfræðinnar er tæknivísindunum stöðug hvatning og endurnýjun. Þaðan sækja þau byggingarefnið og þar er undirstaða þeirra löggö. En hin hvefjandi áhrif eru gagnkvæm. Tæknileg viðfangsefni hafa iðulega orðið þess valdandi, að ráðizt var í umfangsmiklar eðlisfræðilegar rannsóknir. Einnig endurbætur tæknin rannsóknartæki eðlisfræðinnar og lyftir þannig undir rannsóknarstarfsemina.

## Eðlisfræðimentun á Íslandi og erindi eðlisfræðinnar til Íslendinga

Hér á landi, eins og annarsstaðar, byggist afkoma þjóðarinnar í vaxandi mæli á sérmentuðum mönnum á sviði raunvísinda og tækni. Það hefur löngun verið viðurkennt, að auður hvers lands liggur öðru fremur í þrótniklu og dugandi fólki. Þessi ummæli eru nú sannari en nokkru sinni fyrir, en þar sem áður valt á líkamshreysti, eru það nú einkum hæfileikarnir til þess að tileinka sér tækni og vísindi, sem ráða úrslitum. Í framtíðinni verða það ekki staðbundnar auðlindir, svo sem dýrir málmar, sem velgengni þjóðanna byggist á, heldur þekking á lögmálum náttúrunnar og menn, sem kunna að beita henni.

Til þess að búa sem bezt í huginn fyrir framtíðina verður að nýta þá vísindahæfileika, sem með þjóðinni búa, og beina sem flestum hæfileikamönnunum inn á þessar brautir. Enn er langt frá því, að hæfileikar íslensku þjóðarinnar til raunvísinda og tækni njóti sín sem skyldi. Til þess að ráða bót á þessu þarf fyrst og fremst að auka og bæta stærðfræði- og eðlisfræðikennslu í landinu, en tilfinnanlegur skortur ríkir nú á kennurum í þessum greinum. Bezta ráðið til þess að bæta úr þessum skorti virðist vera að auka æðri mentun í stærðfræði og eðlisfræði hér á landi.

Við Háskóla Íslands eru þessi fög nú kennd verkfræðinemum og auk þess kennaræfnum fyrir unglingaskóla, en kennslu við háskólann í þessum greinum þarf að auka, og æskilegt væri, að menntaskólakennarar í stærðfræði og eðlisfræði gætu einnig hlotið menntun sína að miklu eða öllu leyti hér á landi. Einnig verður að telja það hlutverk háskólans að mennta og þjálfar menn í raunvísindum til þess að atvinnulífið gei síðan notíð góðs af þekkingu þeirra. Auka þarf verkfræðikennslu við háskólann, en okkur nægir ekki til frambúðar að ætla verkfræðingum einum saman að fullnægja þörfum atvinnulífsins fyrir tæknimentaða menn. Auk þess sem verkfræðingarnir þurfa sér til hjálpar fjölmennan hóp tæknilega þjálfaðra aðstoðarmanna, þurfa þeir einnig á aðstoð sérmentaðra vísindamanna, svo sem stærðfræðinga og eðlis- og efnifræðinga, að halda.

Til þess að geta gegnt hlutverki sínu á þessu sviði verður háskólinn að tryggja sér nokkurn hóp af vel færnum vísindamönnum í undirstöðugreinum tæknivísindanna. Slíkt má því aðeins takast, að mönnum þessum séu þáin hér starfskilyrði, sem þoli samannburð við það, sem þeim býðst erlendis. Hér verða þeir að geta aukit þekkingu sína og auðgað anda sinn, enda þótt sambandið við umheiminn þurfi að sjálfsgöðu einnig að vera náit. Við háskólann þarf að starfa myndarleg rannsóknarstofnun, sem sé miðstöð vísindalegrar starfsemi í landinu hvað snertir undirstöðugreinar tæknivísindanna.

Nokkur undanfarnir ár hafa eðlisfræðirannsóknir verið reknar á vegum háskólans og fer sú starfsemi ört vaxandi. Í væntanlegri rannsóknarstofnun þarf einnig að starfa hópur stærðfræðinga, og auk þess virðist eðlilegt, að þar séu reknar rannsóknir í efnaræði. Þar sem aðstæður eru hér hagstæðar til margháttaðra jarðeðlisfræðilegra rannsókna, kemmi einnig til greina, að rannsóknarstofnunin annaðist rannsóknir á því sviði.

Samkeppni þjóða um sérfræðinga á sviði raunvísinda fer nú mjög harðandi. Ef ekkert er að gert, er hætt við að okkar færustu menn í tækni og vísindum flytjist úr landi, en þá getur orðið torsótt að lyfta þjóðinni á það stíg tæknimentunar, sem nauðsynlegt er nútíma menningarþjóðfélagi til tryggingar viðunandi lífskjara. Með þeim aðgerðum, sem hér hafa verið nefndar, ætti að mega stöðva þessa hættulegu þróun og fá menn þessa til starfa hér á landi. Þeir mundu þá verða lyftistöng fyrir menningu þjóðarinnar og tækniþróun og hvatning ungunn mönnum til þess að leggja stund á þessi vísindi. Einnig mundu þeir auka hróður landsins út á við með því að leggja sinn skerf til þróunar vísindanna í heiminum.

Fyrir nokkrum áratugum mátti segja, að eðlisfræðirannsóknir væru nánast taldar til munaðar, á borð við listir, en kostnaðarsamari, sem smáar og fátækar þjóðir hefðu ekki ráð á að veita sér. Síðan hefur þetta snúit við. Nú munu þeir, sem hezt skynbera á þessi mál, telja það ómissandi fyrir hverja þjóð að rekastilka starfsemi. Þr þá fyrst og fremst miðað við áhrif rannsóknarstarfseminnar á athafnalíf í landinu, en ekki má heldur gleyma

hinum menningarlegu áhrifum. Eðlisfræðin hefur átt drjúgan þátt í því að móta lífskæðanir hins menntaða heims, og það hlýtur að vera metnaðarmál hverri menningarþjóð að fylgjast með þróun þessarar vísindagreinar og leggja þar nokkuð af mörkum.

### Framtíðarhorfur

Framan af þessari öld var aðalviðfangsefni eðlisfræðinnar rannsóknir á eiginleikum atómanna, sem þróuðust samhliða skammtakenningunni. Þessi kenning gefur mjög nákvæma lýsingu á hátt-erni elektrónanna innan atómsins, og má þetta svið eðlisfræðinnar nú teljast vel kannað, ekki aðeins hvað snertir eiginleika einstakra atóma, heldur einnig mólekúla, en þar með má segja að efnaræðin sé orðin ein grein eðlisfræðinnar.

Á grunni atómvísindanna beindist síðan þróunin í tvær meginstefnur. Annarsvegar inn á við með rannsóknnum á atómkjörnumnum og eiginleikum þeirra. Hinsvegar út á við með rannsóknnum á sahnseigihleiknum margra atóma eða mólekúla í loftkenndu, fljóttandi eða föstu ástandi, og samspili efnisins í ýmsu formi við sveiflur rafsegulsviðsins. Á stöustu árum hafa bæzt við rannsóknir á fjórða eðlisástandi efnisins, hinu svokallaða plasmástandi, sem efnid kemst í við mjög hátt hitastig.

Sem stendur er unnið ótullega að rannsóknnum á eiginleikum fastra efna, en þær rannsóknir hafa þegar skilað hagnýtum niðurstöðum, sem m. a. eru að gjörbreyta alvri elektrónutækni, svo sem fjarskipta- og útvarpstækni. Samverkan rafsegulsvæiflna og efnis hefur einnig leitt til uppþótvana, sem mikla þýðingu hafa fyrir hátfönitæknina, og hafa nú jafnvel gert það mögulegt að útvíkka svið hátfönitækninnar allt upp í tíðni ljósblygna. Rannsóknir á þessum sviðum munu halda áfram að vaxa í náinni samvinnu við þann iðnað, sem á þeim byggist. Af hagnýtum afleiðingum, sem vænta má af slíkum rannsóknum, má, auk þess sem áður er talið, nefna fullkomna reikningsheila, sjálfvirk stjórntæki, margskonar mælitæki, tæki til að hagnýta orku sólarljóss-

ins og hentug tæki til þess að breyta varmaorku í raforku. Líklegt má telja, að rannsóknir af þessu tagi verði stundaðar hér á landi og að í kjölfar þeirra fylgi iðnaður, sem byggir á niðurstöðum þeim og reynslu, sem fæst í rannsóknastráfinu.

Rannsóknir á plasmastandinu hafa ekki verið reknar að marki fyrir en síðasta áratugin og mega enn teljast á byrjunarstigi. Í þessu ástandi eru efnin klofin í atómkjarna og elektrónur, en vegna hins háa hitastigs eru tæknilegir erfiðleikar við framkvæmd rannsókna. Af rannsóknum þessum má veenta tæknilega mikilvægra uppgötvana, en enn er ekki ljóst, hvaða notkun þessa ástands efnisins verður notadryggt. Áhla má að samverkan plasma og rafsegulsvellna fái þýðingu fyrir hátíðnitékna, en djörfustu vonirnar eru tengdar við beizlun orku léttra atómkjarna með samruna þeirra í plasmastandinu.

Segja má að atómkjarnarannsóknir hefjist um síðustu aldamót með rannsóknum á geislavirkum efnum, en verulegur skriður komst ekki á kjarnarannsóknirnar fyrir en á fjórða tug aldarinnar. Í lok þess áratugs var hægt að benda á hugsanlega leið til þess að hagnýta mikinn orkuforða vissra þungra atómkjarna. Á stýrialdarárnum var svo sannprófað, að þessi leið var fær og að unnt var að losa orku atómkjarnanna, hvort heldur sem var í sprengingu eða á skipulagðan hátt. Eftir að þessi vahneskja barst út um heiminn að heimsstyrjöldinni lokinni, jukust rannsóknir á þessu sviði um allan helming og leiddu einnig af sér mjög aukna rannsóknastarsemi á öðrum sviðum eðlisfræðinnar. Nú orðið má telja mest af starfsemi þeirri, sem fram fer til undirbúnings hagnýtingar kjarnorkunnar, til verkfræðilegra framkvæmda. Framkvæmdir þessar eiga enn eftir að aukast eftir því sem kjarnorkan er tekin til notkunar í stað annarra orkugjafa, sem ganga til þurrðar. Enn sem komið er, er aðeins unnið markvisst að hagnýtingu orku þungra atómkjarna, en hugsast getur, að fundnar verði leiðir til þess að hagnýta orku léttra atómkjarna, og má þá vel vera að sú leið reynist hagkvæmari, og fallið verði frá því að nýta orku þungu kjarnanna í stórum orkuverum þegar fram í sækir.

Með hafa nú allgóða hugmynd um uppbyggingu atómkjarnanna og helztu eiginleika þeirra. Þó skortir enn mikið á að hægt

sé að gera sér skipulega grein fyrir háttalagi frumagna efnisins við vissar aðstæður, einkum þegar agnirnar nálgast mikið hver aðra eins og verður í mjög hörðum árekstrum. Slíkar aðstæður skapast, þegar hinar hraðskreiðu agnir geimgeislanna rekast á atómkjarna í loftþjúp jarðarinnar, og upp á síðkastið hafa menn einnig tekið að rannsaka þessi fyrirbæri með því að framleiða hraðskreiðar kjarnaagnir í þar til gerðum tækjum. Í venjulegu ástandi eru efnin samsett úr þrenns konar efnisögnum, elektrónum, sem mynda ytri hluta atómanna, og prótónum og neutrónum, sem mynda atómkjarnana. Við harða árekstra skapast margar fleiri efnisagnir, en gagnvart þeim fyrirbærum standa menn nú állka ráðþrota eins og gagnvart hinum skammtafræðilegu fyrirbærum fyrir 50 árum. Ljóst er orðið, að fyrirbæri þessi verða ekki skýrð á grundvelli skammtakenningarinnar í núverandi mynd, en engin forskrift er tilkækt um, hvernig leggjja skuli hinn rétta grundvöll til þess að lýsa og finna innra samræmi í því, sem þarna gerist. Vel má vera að nú vanti aðeins skarpskyggni og örflita andagitt til þess að draga réttar ályktanir af staðreyndum þeim, sem fyrir liggja, og koma fram með kenningu, sem opni inn-sýn í innra eðli hinna svokölluðu frumagna efnisins. Kenningu, sem ef til vill gæti haft állka þýðingu fyrir þróun eðlisfræðinnar næstu hálfa öld eins og skammtakenningin hefur haft undanfarna hálfa öld.

Eftir því sem grundvöllur annarra greina náttúruvísindanna verður traustari, verða aðferðir og niðurstöður eðlisfræðinnar æ þýðingarmeiri fyrir þessar vísindagreinar. Áður var þess getið, að efnafreðin stæði nú á grunni eðlisfræðinnar, og jarðeðlisfræði og lífeðlisfræði eru ört vaxandi vísindagreinar. Í upphafi fékkst eðlisfræðin við einföldustu þætti í hegðun hlutanna, en með tímanum hefur hún látið til sín taka flóknari og flóknari viðfangsefni, og ekki virðist útilokað að unnt verði að gefa eðlisfræðilega skýringu á jafnflögnu fyrirbæri og kviknun lífs og viðhaldi frumstæðra lífvera. Innan hinnar eiginlegu eðlisfræði fer viðfangsefnum einnig stöðugt fjölgandi. Þegar einni spurningu er svarað, vakna jafnan margar aðrar í staðinn. Svið eðlisfræðinnar er nú orðið svo víðfeðmt, að enginn einn maður getur fylgt með öllu



því, sem þar gerist. Fjölbreytileikinn fer sívaxandi, og það er síður en svo, að nokkurra ellimarka verði vart hjá þessari vísindagrein.

Gunnar Böðvarsson

### Hagnýti stærðfræði



#### Inngangur

Stærðfræðin er valalaust elzt vísindagreina, og margir munu telja hana mesta afrek mannsandans. Þúsundum ára fyrir upp-haf tímatalis vors höfðu ýmsar menningarþjóðir í austri tekið í notkun einfaldar stærðfræðilegar aðferðir. Hin forna stærðfræði nær hámarki hjá Grikkjum á blómasteiði þeirra. Síðan taka Arabar við og skapa þýðingarmikil undirstöðuhugtök.

Upp úr myrkri miðaldanna helst þróun í Norðurválfu. Þar nær stærðfræðin smám saman þeirri mynd og rökfestu, sem við þekkjum í dag. Samhlíða framvindu hreinnar stærðfræði eykst og notkun stærðfræðilegra aðferða í öðrum greinum vísinda og tækni.

Og enn er sótt fram hröðum skrefum, ef til vill hraðar en nokkru sinni áður. Áhrif stærðfræðinnar á aðrar greinar, einkum eðlisfræði og tækni-fræði, verða æ meiri. Segja má, að þessar greinar taki æ meir á sig mynd hagnýtrar stærðfræði.

En þrátt fyrir mikla menningarlega og hagnýta þýðingu hefur stærðfræðin aldrei orðið almenningseign. Að þessu leyti hefur hún haft sérstöðu.

Fyrir á tínum var stærðfræði iðknúð af fáum útvöldum. Og sá, sem nú ætlar að hafa einhver kynni af þessari fræðigrein, verður að leggja á sig margra ára strit. Þeir eru því fáir, sem þannig fara að. Fyrir þessu liggja einkum tvær ástæður.

Í fyrsta lagi er stærðfræðin rökleg keðja. Enginn getur skilið og numið einn hlekk án þess að nema það, sem á undan er farið.