

ALMANAK

um árið

1950

eftir

KRISTIS FÆDINGU,

sem er annað ár eftir hlaupár og fimmta ár eftir sumarsauka.

Reiknað hafa

eftir hnattstöðu Reykjavíkur (64° 8,4' n.br. og 21° 55,8' v.l.) og íslenskum miðfima

og búið til prentunar

Ólafur Danielsson dr. phil. og

Porkell Þorkelsson dr. phil.

Reykjavík — Ríkisprentsmiðjan Gutenberg — 1949.

Úr þróunarsögu atómvísindanna.

Menn hafa löngum brotið heilann um gerð heimsins, bæði í smáu og stóru. Alheimurinn er svo stór, að við eigum erfitt með að gera okkur grein fyrir því, nema með stærðfræðilegum útreikningum. Sjónaukinn hefur gert okkur kleift að mæla vegalengdir, sem eru svo stórar, að engum manni hefði dothið í hug að nefna þær, áður en sjónaukinn kom til sögunnar. Sjónaukinn hefur kennt okkur marga merkilega hluti um stærð og byggingu geimsins, en þó er ýmislegt enn, sem við gjarnan vilðum vita. Þannig hefur t. d. stærð alheimsins ekki verið mæld, né heldur hefur verið sýnt fram á, hvort hún sé yfirleitt mælanleg.

Eitthvað svipað má segja um afstöðu okkar til hinnar innri byggingar þeirra hluta, sem við höfum daglega fyrir augunum. En þar sem himingeimurinn varð okkur erfiður viðfangs vegna stærðar sinnar, þá er það hér smæð og finleiki hinnar innri gerðar, sem veldur erfiðleikum. Þó hefur hin stöðugt vaxandi tækni, einkum stöðustu hálfu öld, gefið okkur mörg tæki, sem eru það næm og nákvæm, að þau gera mögulegt að athuga hina finu innri gerð hlutanna. Þessi tæki hafa opnað okkur nýjan og furðulegan heim, hinn smáa heim efnisagnanna, sem að ýmsu leyti minnir á himingeiminn, sem sjónaukinn gerði sýnilegan augum okkar.

Í grein þessari verður reynt að fylgja rás þeirra viðburða, sem orðið hafa til þess að vísa okkur veginn inn í hinn smáa heim efnisins. Viðfangsefnið er nærtækt. Hvaða hlutur sem er í kringum okkur, hvaða efnisarða sem er, gefur tækifæri til athungana á gerð efnisins, athungana, sem eru svo óvæntar og einkennilegar, að okkur hefði aldrei að óvæntu óráð fyrir slíku. En til þess að sjá allt, sem þarna

gerist, þarf meira en augun ein, og hin skíningarvitin nægja heldur ekki. Við verðum að byggja at-
huganir okkar á tækjum, sem fundin hafa verið upp
af hugvissöðmum mönnum, og fá með aðstoð þeirra
óbeinar upplýsingar um það, sem gerist.

Að visu hafa verið og eru kannske enn til manna,
sem hafa svo mikið áhlt á mannlegri skynsemi, að
þeir álíta, að maðurinn með hugsun sinni einni
saman ætti að geta komist að því, hvernig heim-
urinn er gerður, bæði í smáu og stóru. Að minnsta
kosti ætti ekki að þurfa önnur tæki en hin með-
fæddu skíningarvit. Menn þessir ganga út frá því,
að heimurinn verði aðeins byggður upp á einn vegg,
þannig að ekki komi til innri mótisagna og áreksra
og að rökvisin ein nægi til þess að finna, á hvern
hátt þetta má verða.

Á hinn bóginn virðast það þó nokkuð miklar
kröfur til eins mannsheila, sem er svo örflíll hluti
af alheiminum, að hann svo að segja endurspegi í
sér allan heiminn, þannig að hann geti gefið sanna
mynd af gerð hans án frekari athugana.

Það voru fyrst og fremst hinir forngrísku heim-
spekingar, sem höfðu þessa ofurtrú á mætti skyn-
seminnar. Þeir lögðu margt gott til málauna og
gerðu margar miltisverðar uppgötvanir á sviði
náttúruvísindanna. Starf þeirra var þó fyrst og
fremst í því fölgjó að móta hugtökin, sem nota
þurfti, og leggja þannig grundvöll að frekari þróun.

Fyrstu kynni, sem við höfum af atóm- eða frum-
eindahugfakinu, eru þannig af grískum toga spunn-
in. Þess verður fyrst vart hjá heimspekingnum
Levkippos og lærisveini hans Demokritos, sem uppi
voru um 400 árum f. K. Hugmyndir þeirra um efnifö
voru þær, að það væri samsett úr örsnáum ögnum,
sem þeir kölluðu atóm, en það er gríska og merkir
hið ódeilanlega. Atómín hugsnðu þeir sér svifandi
í tómu rúmi og á stöðugri hreyfingu. Þau eru eilíf

(78)

og geta hvorki myndast eða horfið. Misunnandi
hlutir koma fram eða hverfa við misunnandi niður-
róðun misunnandi atóma, en allir hlutir hafa það
sameiginlegt, að þeim verður ekki skipt í hvað smá-
ar agnar sem er, heldur eru takmörk sett við stærð
atómanna, sem ekki er hægt að slípta.

Hin forngríska atómkenning, sem venjulega er
kennð við Demokritos, fer furðulega nálægt því
sanna um byggingu efnisins. Rannsóknir seinni
tíma hafa sýnt, að hún er rétt í öllum meginatrið-
um. Forsendur þær, sem Demokritos byggir ken-
ningu sína á, myndu þó verða léttar á metaskálinum
ú frá sjónarmiði nútíma eðlisfræðinga. Ástæðan til
þess, að atómkenningin kom fram, var ekki fyrst og
fremst athuganir á efninu sjálfu, heldur afleiðing
af þróun þeirri, sem átti sér stað í stærðfræðinni
um þessar mundir. Hin stærðfræðilegi punktur
var hugtak, sem notað var með góðum árangri sem
eins konar frumleind í flatar- og rúmmálfræði, og
þar sem takmörkin milli stærðfræðinnar annars
vegar og efnisheimsins hins vegar voru mjög óljós,
þá var eðlilegt að innleiða tilsvaramandi hugtak til
þess að skýra byggingu efnisins.

Hér var, um 400 árum f. K., komin fram kenning,
sem gaf í öllum aðalatriðum rétta hugmynd um
gerð efnisins, en það var ekki nóg, það vantaði stað-
reyndir til stuðnings þessari kenningu. Hin mann-
lega skynsemi ein reyndist ófullnægjandi til þess
að skera úr um, hvað væri rétt og hvað rangt. Það
urðu órlög atómkenningar Demokritosar að falla að
mestu í gleymsku í yfir 20 aldir, en á þessum tíma
var kenningin um höfðoskepnurnar fjórar hin við-
urkennnda skýring á byggingu efnisins. Höfðoskepn-
urnar voru eldur, loft, vatn og jörð, en úr þeim áttu
öll efni að myndast. Við vitum nú, að þessi kenning
er fánýt og að hún á sér enga stöð í vortíðinni,
en það var ekki fyrr en mönnum hafði tekið að

(79)

lata náttúruna sjálfa skera úr, í stað eigin skynsemi, að þetta varð ljóst.

Af þróunarsögu atómvísindanna, og reyndar náttúruvísindanna í heild, getum við lært tvennt, sem að haldi getur komið einnig á öðrum sviðum. Annað er að treysta ekki um of á hæfileika okkar sjálfra til þess að draga réttar ályktanir, en hitt er að trúa ekki of blint á kenningar annarra, jafnvel þó að þær séu gamlar og viðurkenndar og höfundur þeirra hafi skarað fram úr á sínum tíma. Slíkur átrúnaður hefur á öllum tímum átt djúgan þátt í að telja fyrir framförum og kefa allar nýjungar í fæðingumni.

Aristoteles var sá hinna grísku heinspeklinga, sem mest áhrif hafði á þróun náttúruvísindanna. Hann má eflaust telja einhvern fremsta mann samtíðar sinnar á því sviði, þó að allar kenningar hans væru ekki réttar, eins og t. d. kenning hans um höfnúskæpnurnar. En honum láðist að innræta lærisveinum sínum að taka alltaf það, sem sannara reyndist, fram yfir kenningar sínar, og afleiðingin varð sú, að kenningar Aristotelesar voru skoðaðar sem óvæfengjanleg sannindi allt til loka miðalda, en á því tímabili, eða í samfleyti 1900 ár, urðu líttar sem engar framfarir í náttúruvísindunum. Undirstaðan, sem Aristoteles hafði lagt, var svo fjarri lagi, að ekki var hægt að byggja áfram og bæta við á þeim grundvelli, en hins vegar vognðu menn sér ekki að reyna að endurbæta kenningar hins mikla meistara. Gælk jafnvel svo langt, að forráðamenn kirkjunnar hófnðu bannfæringum og lífði, ef einhver gerði tilraun í þá átt. Þeim þótti heimasmynd Aristotelesar heppileg fyrir málistað kirkjunnar og lærðu sig ekki um neina breytingu á því. Einkum var þeim lítið gefið um atómkenningu Demokritosar, því að hann hafði látið þá skoðun í ljós, að breytingarnar í heiminum fylgdu föstum reglum — nátt-

(80)

úrulögumálum, og að það þyrfti engan æðri anda til að stjórna því, sem gerðist.

Til þess að ráða bót á því öngþveiti, sem náttúruvísindin voru komin í, þurfti því ekki eingöngu að finna nýjar leiðir út úr ógöngunum, heldur þurfti einnig að berjast við kirkjuvaldið og róigróna hjátru, sem spröttið hafði upp af hinum villandi kenningum Aristotelesar.

Sá sem mest og bezt háði þessa baráttu var Ísalm Gallileo Galilei, sem uppi var í kringum 1600, og þó að hann komi ekki sérstaklega við sögu atómkenningarinnar, þá er hann þó sá, sem gerði frekari þróun hennar mögulega með því að gerbreyta hugum umarhætti og afstöðu manna til náttúruvísindanna. Aðferð sú, sem Galilei notar við vísindaiðkanir sínar, stendur í skarpri mótsögn við það, sem áður þekktist. Fram til hans tíma hafði heilinn verið eina tækid, sem notað var við lausn vandamállanna, þar sem eingöngu skynsemin var spurð ráða, en Galilei leitir eftir svörum við viðfangsefnumum hjá náttúrunni sjálfri. Í stað lauslegra ahugana koma hjá honum nákvæmar mælingar, og þar sem þórf er á framkallar hann með tilraunum þau fyrirbrigði, sem hann óskar að mæla. Einkunnarorð hans háfa síðan verið leiðarskiptarna í öllum náttúruvísindum, en þau eru: — „Mælið allt, sem mælanlegt er, og gerið það mælanlegt, sem ekki er það.“

Gallileo fór engan veginn varhluta af ofsóknunum kirkjunnar. Gælk svo langt, að hann var á gamals aldri neyddur til þess að sverja, að kenningar sínar væru rangar, en engu að síður breiddust þær út, án þess að kirkjan réði við, og kollvörpunu áhrifavaldi því, sem kenning Aristotelesar hafði haft fram til þessa.

Síðan atómkenningin var endurvakin, er nú aðeins lítið hálf önnur öld, en þróun hennar á þessu tímabili hefur verið mjög ör og hefur fært okkur

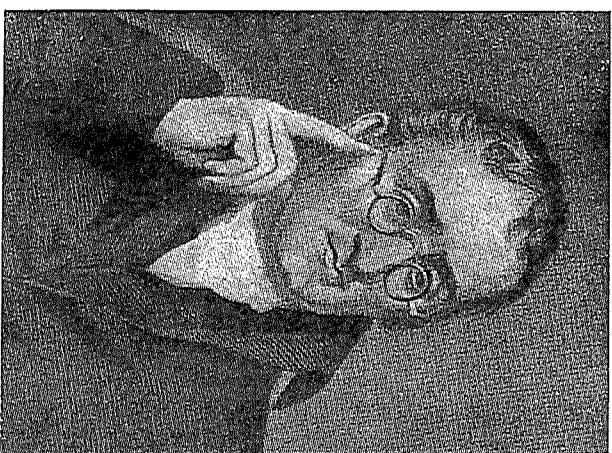
(81)

heim sanninn um, að það borgar sig að fylgja reglu Gallleis og láta náttúruna sjálfa skera úr vandamálunum, í stað þess að trýsta eingöngu á eigin vitsmuni.

Í byrjun voru atómvísindin nátengd efnafræðinni. Það var enski efnafræðingurinn John Dalton, sem fyrstur leiddi rök að því, að öll efni myndu vera byggð upp úr atómum. Þessa kenningu byggði hann á mælingum, sem hann hafði gert á efnasamböndum og efnabreytingum, en við það hefði hann fundið, að í einu og sama efnasambandi eru þungahlutföllin milli þeirra frumefna, sem mynda efnasambandið, alltaf hin sömu. Einnig fann hann, að ef ákveðið magn af einu frumefni myndar mismunandi efnasambönd með öðru frumefni, þá standa þungar þess síðarnefnda, sem finnast í hinum mismunandi efnasamböndum, ávallt í einföldum hlutföllum sín á milli. Í vatni eru t. d. ávallt 2 g af vetni bundin við 16 g af súrefni, en einnig er til annað samband af vetni og súrefni, þar sem 1 g af vetni er bundið við 16 g af súrefni.

Þetta skýrði Dalton með því að hugsa sér, að öll efni væru byggð upp úr óbreytanlegum atómum. Atóm hvers frumefnis væru öll eins, en atóm mismunandi frumefna væru mismunandi þung. Efnasamböndin eru blanda af atómum þeirra frumefna, sem þau innihalda, en hin ákveðnu og einföldu hlutföll koma fram við, að tilförléga fá atóm bindast saman í heild, sem við köllum mólekúl. Þannig má t. d. hugsa sér, að í vatni sé 1 atóm af vetni bundið við eitt atóm af súrefni, og eitti þá atómpungu súrefnisins að vera áttfaldr atómpungu vetnisins, eða að tvö vetnisatóm væru bundin einu súrefnisatómi, en þá væri atómpungu súrefnis 16-faldr atómpungu vetnis. Hitt efnasambandið af vetni og súrefni, sem minnst var á, gæti þá annaðhvort verið eitt atóm af vetni bundið við tvö af súrefni, eða eitt atóm

(82)



John Dalton.

af vetni bundið við eitt atóm af súrefni. Efnabreytingar voru samkvæmt því eingöngu í því fölgjar, að atómin blönduðust og röððu sér saman á mismunandi vegu.

Atómkenningin gaf einfalda og samferandi skýringu á athugunum Daltons. Þó er engan veginn hægt að segja, að hún sé sjálfsgöð afleiðing þeirra, og það er vafasamt, hvort Dalton hefði dottið þessi ágæta skýring í hug, ef atómhugtak Demokritosar hefði ekki verið honum kunnugt.

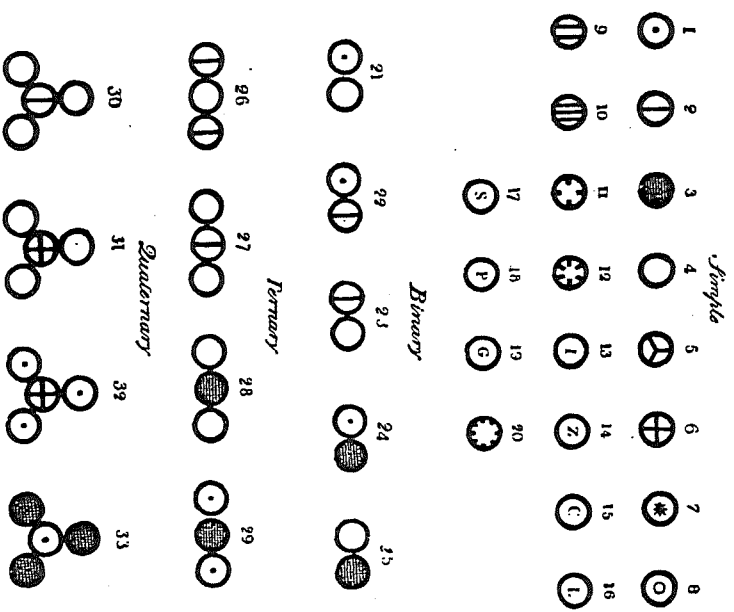
Eftir því sem tíminn leið sýndi það sig þó betur og betur, að atómkenningin átti rétt á sér, því að hún reyndist öruggur leiðarvísir til nýrra upp-

(83)

göivana. Næsta spor var stigið af hölskum eðlisfræðingji, Avogadro að nafni. Honum var kunnugt um, að mismunandi lofttegundir haga sér allar á sama hátt hvað viðvikur sambandinu milli rúmtaks, þrýstings og hita og einnig, að þegar loftkennð efni ganga í efnasambönd sín á milli, þá er það alltaf í mjög einföldum hlutföllum hvað rúmtakið snertir. Til þess að mynda vatn þarf t. d. alltaf 2 rúmtök af vetni á móti hverju einu af súrefni, en af því myndast alltaf 2 rúmtök af vatnsgufu, ef hitinn er það hár, að hún þéttist ekki, en rúmtak allra lofttegundanna verður að mælast við sama þrýsting og hitastig. Til skýringar þessu kom Avogadro fram með þá líklegu tilgátu, að rúmtak lofttegunda, mælt við ákveðinn þrýsting og hitastig, væri aðeins komið undir því, hve mörg mólökil þar væru, en að öðru leyti óháð, hvaða lofttegund um væri að ræða. Hin einföldu rúmtakshlutföll við efnabreytingar lofttegunda fengu á þennan hátt einfalda skýringu. Við myndun vatns verðum við þá að hugsa okkur, að 2 mólökil af vetni gangi í samband við 1 mólökil af súrefni og myndi 2 mólökil af vatni. Þar af leiðir aftur, að súrefnismólökilið skiptist á milli tveggja vatnsmólökla og hlýtur því að innihalda minnst tvö súrefnisatóm. Á svipðan hátt má finna, að einnig vetnismólökilið er samsett úr tveim atómum.

Á táknamáli efnatræðinnar, sem Svinn Berzelius innleiddi, er eitt atóm einhvers frumefnis táknað með skammstöfun af hinu lænaska heiti efnisins, venjulega aðeins fyrsta stafnum. Þannig er vetnisatómið táknað með H (Hydrogenium) og súrefnisatómið með O (oxigenium). Mólökil þessara eina fá þá tákni H₂ og O₂, miðað við að tvö atóm séu í mólöklinu, og myndun vatnsins er skrifuð á líkingar-formi 2H₂+O₂=2H₂O. Útkoma efnabreytingarinnar er tvö mólökil af vatni, sem hvort um sig innihalda tvö atóm af vetni og eitt af súrefni.

(84)



Hluti af atómtöflu Daltons (frá 1808) með táknum fyrir frumefni og efnasambönd.

Frumefni: 1 vetni, 2 köfnuræfni, 3 kolefni, 4 sírefni, 5 fosfór, 6 brennisteinn, 7 magnesia, 8 kalk, 9 natron, 10 kalli, 11 strontian, 12 baryt, 13 járn, 14 zink, 15 kopar, 16 blý, 17 stífur, 18 platína, 19 gull, 20 kvikasilfur. Efnasambönd: 21 vatn, 22 ammoniak, 23, 26, 27 og 30 sírefnissambönd köfnuræfnis, 24, 29 og 33 kolbrenni, 25 og 28 sírefnissambönd kolefnis, 31 sírefnissamband brennisteins, 32 brennisteinsuvefni.

(85)

Samkvæmt kenningu Avogadros var auðvelt að mæla hlutfallslega mólékúlpunga mismunandi lofttegunda. Þeir hlutu að standa í réttu hlutfalli við eðlisþunga lofttegundanna. Með aþhugnum á efnaþreytingum og samsetningu efnasambanda mátti svo finna atómpunga bæði þeirra frumefna, sem fyrir komu í lofttegundunum, og einnig þeirra frumefna, sem bundust þeim í efnasamböndum. Léttastra frumefnið er veltið. Atómpungi súrefnisins er 16 sinnum meiri og þyngrstu frumefnið hafa atóm, sem eru meira en 200 sinnum þyngrri en veltisatómið.

Atómpungarnir voru gefnir með þunga veltisatómsins, eða $\frac{1}{6}$ af atómpunga súrefnis sem einingu. Nákvæmni mælinganna var mikil, en hins vegar var fyrst um sinn stærð einingarrinnar, sem notuð var, óþekkt, svo að ekki varð sagt, hve mikill þungi hvers atóms væri í grömmum.

Það magn af einhverju frumefni, sem vó jafnmörg grömm og atómpunginn sagði til um, var kallað eitt grammatóm. Ákvörðun þungaeiningarrinnar var þá það sama eins og að finna, hve mörg atóm væru í einu grammatómi.

Þegar kom fram um miðja síðustu öld, fékk atómkenningin aukitð líf við það, að þá fóru menn að gefa gaum að afleiðingum hennar einnig á öðrum sviðum en því efnatræðilega. Þar má einhnum nefna Þjóðverjann Clausius, sem var einhver helzti forvísamaður hinnar svokölluðu mekanísku varmakennningar. Samkvæmt þessari kenningu eru allir hlutir byggðir upp úr mólékúlum, sem hafa vissa stærð og vissan massa og eru á stöðugri hreyfingu. Hreyfing þessi er því meiri því hærra sem hitastigið er. Þegar fjarlægðin er stór á milli mólékúlanna, eru mjög litlar kraftverkanir frá einu mólékúli til annars, en ef þau nálgast hvort annað, verkar aðdráttarafl á milli þeirra, en síðan fráhrindandi kraftur, ef þau svo að segja rekast hvort á annað.

(86)

Í föstum hlutum liggja mólékúlín þétt saman og eru svo fast bundin, að þau breyta ekki afstöðu sinni innbyrðis, en hreyfingin er aðeins fölgín í smásvæiflum í kringnum jafnvægisstöðuna. Ef hluturinn er hitaður upp, verða sveifflurnar stærri og stærri, unz kraftarnir geta ekki lengur haldið mólékúlunum á sinnum stað og þau fara í ferðalag eftir mjög kröfóttum brantum, því að þau beygja í hvert skipi, sem áreksstur verður á milli þeirra. Þetta ástand svarar til þess, að hluturinn sé fljótlandi. Vegna þess að mólékúlín eru hér ekki bundin í ákveðnar stillingar, veitir vökvinn engu mótsþyrnu gegn þreytíngu í lögun, eins og föstu hlutirnir. Áttur á móti eru hreyfingararnar ekki nógu hraðar til þess að yfirvinnu aðdráttaraflitð á milli mólékúlanna, svo að þau liggja mjög þétt saman, en þar af leiðir, að erlitt er að breyta rúmtaki vökvans.

Að lokum, ef hitinn vex enn meira, getur hraði mólékúlanna orðið svo mikill, að aðdráttaraflitð milli þeirra haldi þeim ekki lengur saman, en það svarar til þess, að vökvinn gufi upp. Eftir það ferðast mólékúlín að mestu án kraftverkana hvort frá öðru, nema rétt á meðan þau rekast á. Á milli áreksstranna fara þau í þessar línur, en breyta snöggelega en stefnu við hvern áreksstur. Þetta er einföld mynd af ástandinu eins og það er í hvaða lofttegund sem er, en hún gefur góða skýringu á flestum fyrirbrigðum í sambandi við hegðun lofttegunda yfirleitt, og gerir í mörgum tilfellum nákvæma útreikninga mögulega.

Ef loft er lokað inni í fláti, þá rekast loftmólékúlín stöðugt á veggina og kastast til baka frá þeim. Hvert mólékúl gefur veggnum smáhögg við árekssturinn, en höggín eru svo þétt, að þeirra verður ekki vart hvers um sig, heldur virðist vera um stöðugan þrýsting að ræða. Út frá hinum mælda þrýstingi og eðlisþyngd lofttegundarrinnar má auðveldlega reikna

(87)

meðalhraða mólékúlanna. Það sýnir sig, að hraðinn er þeim mun meiri því léttara sem loftið er í sér, þ. e. a. s. því léttari sem mólékúlin eru, og að hann verður að aukast með hækkandi hitastigi. Útkoman úr þessum reikningum er mjög há. Meðalhraði vahnismólékúlans við venjulegt hitastig er um það bil 2 km á sekúndu, og hraði snrefnismólékúlans verður ferlati mínni, eða um 500 m/sek. Þessi mikli hraði kemur þó vel heim við útbreiðsluhraða hljóðsins, sem er nokkru mínni, en þó af sömu stærðargræðu, og einkum vekur það traust á atómkenningunni, að hinn meðli hljóðhraði breytist á sama hátt með hitastigi og mólékúlpunga eins og hinn reiknaði meðalhraði mólékúlanna.

Frekari útreikningar og samanburður við það, sem áður var þekkt um samband milli hita, rúmfats og þrýstings í lofttegundum, gátu til kynna, að breytingarorka einstakra mólékúla ykist í réttu hlutfalli við hitastigið og gerðu mögulega útreikninga á eðlisvarma loffsins, með útkomum, sem komu vel heim við mæld gildi. Þegar kælingin er orðin það mikil, að mólékúlin hafa algertlega misst breytingarorku sína og standa kyrr, þá er engin frekari kæling möguleg. Það er því ekki hægt að kæla hlut takmarkalaust á sama hátt og hægt er að hita hlutinn upp meira og meira. Kyrrstaðari kennt á við hitastig, sem á Celsiusmæli svarar til ± 273 gráða, og þetta er því lægsta hitastig, sem hugsanlegt er. Við mestu kælingar, sem framkvæmdar hafa verið í kælivélum, hefur hitastigið aðeins verið broti úr gráðu hærra en þetta gildi, sem kallast hinn absolúti nillipunktur.

Þessar athuganir og margar fleiri gerðu menn æ sannfærðari um gildi atómkenningarinnar. Hér er ekki hægt að reykja það allt, og oft verður heldur ekki komið fram hjá löngum og flóknum reikningum til þess að notfæra sér þessa kenningu við skýr-

(88)

ingarnar, en það liggur fyrir utan tilgang þessarar greinar. Þó rekurst við daglega á ýmsa hluti, sem við náhari ihugun mundu reynast forskildir út frá okkar venjulega sjónarmiði, en liggja í augum uppi, ef við höfum í huga, að efnið er samsett úr atómum og mólékúlum. Ef sykur er settur í bolla með vatni og vatnið er látið standa kyrrt, þá sekur sykurrinn til botns, vegna þess að hann er þyngri en vatnið, en smátt og smátt leysist hann þó upp og blandast hægt og hægt saman við vatnið. Þetta er nokkuð einkennilegt séð frá venjulegu sjónarmiði. Vatnið er kyrrt og sykurrinn sekur. Hvaða kraftur er það þá, sem lyftir sykurrinum aftur upp frá botninum og blandar honum í vatnið? — Það sem gerist verður auðskildara, ef við litum á það með atómkenninguna fyrir augum. Mólékúl vatnsins rekast á sykurmólékúlin, sem losna við árekssturinn og fara út í vatnið. Áframhaldandi áreksrar við vatnsmólékúlin geta svo orðið til þess að lyfta sykurmólékúlunum og blanda þeim saman við vatnið. Það, sem fljótt á litit gæti vakið mesta undrun okkar, er, að sykurrinn skuli ekki blandast vatninu fljótar en hann gerir, því að hraði sykurmólékúlanna í vatninu er um 100 m/sek., en það getur tekið marga klukkutíma eða jafnvel daga fyrir sykurrinn að jafnast í bollanum, ef vatnið er kyrrt. Þetta verður þó skiljanlegt þegar við minnumst þess, að sykurmólékúlin fara mjög stutt á milli áreksra, svo að breantin verður mjög krókótt og þeim gengur því hægt að komast langt frá staðnum, þar sem þau voru upphaflega, jafnvel þó að hraðinn sé mikill.

Eftir af þeim fyrirbrigðum, sem mest styrkti trúna á atómkenninguna, voru þinar svolíluðu Browns breytingar. Þær eru kenndar við enskan grasafraeðing, sem uppi var snemma á síðustu öld. Hann hafði stráð frjódufti frá plöntum í vahn og athugað frjórnunin í smásjá. Það kom þá í ljós, að þau voru

(89)

á einlæggu iði og staðnæmdust aldrei. Það lá nærri að ætla, að þetta væru einhverjar lífsreyfingar hjá frjókorunnum, en það var titilokað með því að athuga smáagnir úr ýmsum dauðum efnunum, svo sem málnústi, en þær höguðu sér á nákvæmlega sama hátt eins og frjókorin, ef þær aðeins voru nógu smáar, um eða undir einum þúsundasta úr millimetra. Það var heldur ekkert sérstakt við vatnið, sem framkallaði þessar hreyfingar. Þeirra varð vart í hvaða vökvu sem var. Orsök hreyfinga þessara var lengi vel óráðin gáta. Þær sýndu greinilega, að efnið var ekki eins dautt og menn höfðu ætlað og að í vökvu, sem látin hafði verið standa lengi í lokuðu glasi, án utanaðtkomandi áhrifa, var þó um einhverja hreyfingu að ræða. Það, sem mestum undrunum sæfti, var, að hreyfingar agnanna héldu stöðugt áfram, án sýnilegra orsaka. Ef einhver hlatur hreyfir sig í vökvu, þá eigum við því að venjast, að núningmótstaða vökvans stöðvi hreyfinguna smám saman, ef enginn kraftur er til þess að halda henni við, en hér var um hreyfingu að ræða, sem aldrei stöðvaðist. Þegar atómkennningin hafði hlotið almenna viðurkenningu, lá skýring þessa fyrirbrigðis beint við. Það eru mólekúl vökvans, sem á hreyfingu sinni rekast á agnirnar og halda þeim á óreglulegri hreyfingu fram og aftur. Hreyfingar þessara agna, sem eru sjáanlegar í smásjá, endurspegla því hreyfingu vökvamólekúllanna, sem sjálf eru of smá til þess að sjást. Athuganir á slíkum ögnum gerðu Frakkannum Perrin það kleift að reikna út stærð og þunga einstakra mólekúla, en áður höfðu þessar stærðir verið reiknaðar út af Þjóðverjanum Loschmidt í sambandi við núningsmóstið í lofttegundunum.

Niðurstöðunum þar eins vel saman og hægt var að vænta, og þær gáfu til kynna, að stærð atómanna væri um einn hundradö milljónasti hluti úr sentimetra, og að þungi vetrísatómanna væri aðeins einn

(90)

billjón billjónasti hluti úr grammí (ein billjón er milljón milljónir).

Enn meiri skilningur á eðli atómanna fékkst við athuganir á rafmagninu og sambandi þess við efnið. Englendingurinn Faraday tók upp á því að senda rafstraum í gegnum upplausnir ýmissa efna í vatni, og kom þá í ljós, að rafstraumnum var jafnan samfara efnisflutningur bæði að pósitíva og negatíva skautinu. Þetta sýnir, að rafmagnnið er hér bundið við efnið, og Faraday fann, að eitt grammatóm af eingildu efni flytur alltaf með sér 96500 coulombeningar af rafmagni. Þessi hleðsla hlaut að stíplást jafnt niður á milli atómanna, sem fluttu rafhleðsluna, þannig að hvert þeirra bæri með sér ákveðna hleðsluend.

Englendingurinn Thompson gerði nokkru síðar, eða laust fyrir síðustu aldamót, tilsvarendi tilraunir með að senda rafstraum í gegnum þynnt loft, sem lokað var inni í glerþjpu. Hér kom í ljós, að það var mikill munur á pósitíva og negatíva rafmagni. Pósitíva rafmagnnið var alltaf samfara állka miklu efnismagní eins og það flutti með sér við rafgreiningu upplausna, en negatíva rafmagnnið gat flutt með sér miklu minna efnismagn. Þegar loftinu var dælt út úr þjpuinni, svo vel að litíð sem ekkert loft varð eftir, þá var samt hægt að senda rafmagn á milli skautanna, en það er aðeins negatívt rafmagn, sem fer frá negatíva skautinu, katóðunni, til þess pósitíva, anóðunnar. Það er líkt og geislar gangi út frá mínusskautinu, og ef þeir lenda á glerinu, þá lýsir það með grænu ljósi. Geislar þessir hlutu nafnið katóðugeislar. Fyrst í stað var ekki vitað, hvers konar geislar þetta væru, hvort það væru efnisagnir eða bylgjuhreyfing á borð við ljósgesla. Úr því fékkst skorin þegar sýnt var fram á, að geislar þessir beygja bæði fyrir áhrif raf- og segulkrafta, en það sýndi, að þeir voru í raun og veru efnisagnir

(91)

hlæðnar negatívu rafmagni, sem streymdu út frá katóðunni. Hlutfallið á milli efnismagns og rafhleðslu tókst einnig að finna, en útkoman var hér um bil 2000 sinnum minni en tilsvareandi hlutfall þegar veini flytur með sér rafmagn í upplausnum. Ef við reiknum með því, að rafeindin sé jafnstór í báðum tilfellum, þá hlýtur massi agnanna í katóðugeislunum að vera um 2000 sinnum minni en massi veinistömsins. Þessar negatívu rafeindir hafa hlotið nafnið elektrónur. Efni katóðunnar virtist engin áhrif hafa á eiginleika katóðugeislanna, en af því mátti draga þá ályktun, að elektrónurnar væru í öllum efnum og væri aðeins um eina gerð af elektrónum að ræða. Nú verður þess yfirleitt ekki vart, að efniin séu hlæðin rafmagni, og hljóta þau því að innihalda pósitívar hleðslur, til þess að vege upp á móti hinum negatívu elektrónum. Thompson hugsaði sér atómið sem einhvers konar kúlu, sem sjálf væri hlæðin pósitívu rafmagni, en inn í hana væru svo elektrónurnar greypjar, svo að heildarhleðsla atómsins yrði engin.

Þessi atómhugmynd stóð þó ekki lengi, en var fljótlega endurbætt samkvæmt nýrri rannsóknunum af Englendingnum Rutherford, sem var einhver fremsti maður atómvísindanna í byrjun þessarar aldar. Rutherford fékkst aðallega við rannsóknir geislavirkra efna, en þau höfðu fundizt rétt fyrir aldamótin síðustu. Sum þessara efna senda frá sér hraðskreiðar agnir, hlæðnar pósitívu rafmagni, svokallaðar alfa-agnir. Agnir þessar komast í gegnum þunnar efnishinnur og flestar þeirra fara í gegn án þess að beygja frá réttu línu. Sumar þeirra verða þó auðsjáanlega fyrir árekstrum, sem fá þær til að víkja frá hinni beinu línu, og það var við að athuga þessi frávik, sem Rutherford gat gert sér grein fyrir, hvernig atómin sjálf væru gerð. Þar sem langflestar agnurnar komust í gegn án stefnubreytinga, dró

(92)

Rutherford þá ályktun, að mestur hluti þess rúms, sem efnið tekur, væri í raun og veru tóm, en hin fáu frávik sýndu, að í atómnum hlutu að vera örhlitir þungir kjarnar, hlæðir pósitívu rafmagni. Alfa-agnirnar breyttu stefnu, þegar þær rákust beint á einhverna kjarnann eða komu svo nálægt honum, að hinna fráhrindandi rafkræfta fór að gefta. Út frá fjölda þessara árekstra mátti svo finna stærð kjarnans, en hann reyndist um 10 000 sinnum minni en sjálft atómið. Atómmynd Rutherford's var því sú, að í miðju atóminu væri órlitill pósitívu kjarni, þar sem svo að segja allt efnismagn atómsins væri samnan komið, en í kringum hann svifu svo máttulega margar elektrónur til þess að upphæfja hleðslu kjarnans. Atómið er því mjög áþekkt sólkerfinu. Kjarninn svarar til sólarinnar og elektrónurnar til plánetanna. Sameiginlegt bæði sólkerfinu og atóminu er, að efnisagnirnar fylla aðeins örlitinn hluta rúmsins. Rutherford gat einnig ákveðið hleðslu kjarnans og sýnt fram á, að hún fór eftir því, hvaða frumefni kjarninn tilheyrir. Létta frumefnið, veinið, hefur kjarnahleðslu, sem svarar til einnar elektrónuhleðslu, en þyngsta frumefnið, sem finnst í nátturunni, úraníum, hefur kjarnahleðslu, sem samsvarar 92 elektrónuhleðslum. Á þessu bili liggja öll hin þekktu frumefni. Kjarnahleðslan er alltaf heilt margfeldi af hleðslu elektrónunnar, og fjöldi elektrónanna, sem svifur í kringum kjarnann, þegar atómið er í sínu venjulega ástandi, nægir einmitt til þess að upphæfja verkanir kjarnahleðslunnar út á við. Hverju frumefni má því gefa númer, sem gefur til kynna kjarnahleðsluna eða elektrónufjöldann í atóminu. Númer þetta er nefnt atómnúmerið og gengur frá 1 hjá veini upp í 92 hjá úraníum.

Atómmynd Rutherford's var þó vissum vandkvæðum bundin, sem komu í veg fyrir, að hún gæti hlotið almenna viðurkenningu fyrst í stað.

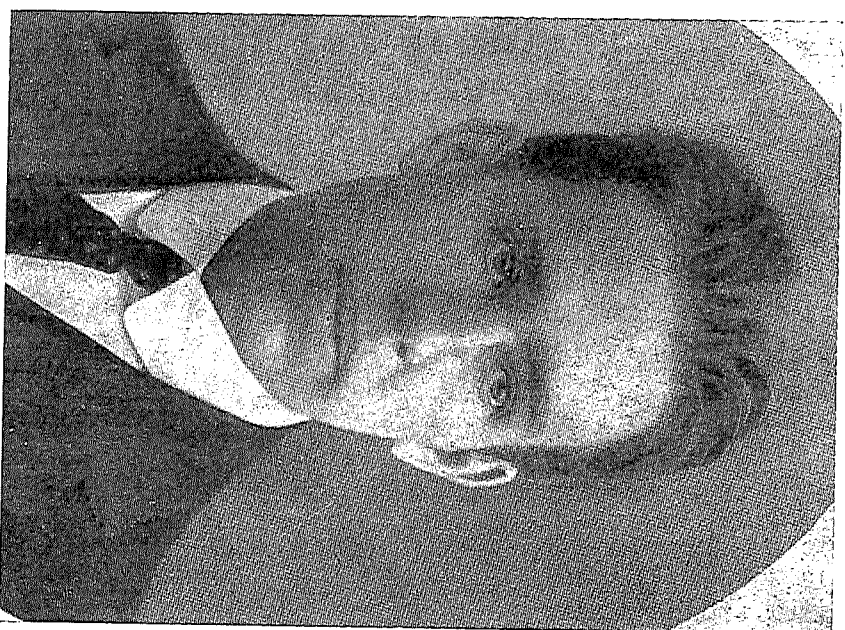
(93)

Samkvæmt öllu, sem þekkt var um hegðun elektrónanna, og hláðina hluta yfirleitt, þá áttu þær ekki að geta snúizt um kjarann, án þess að senda stöðugt frá sér orku sem rafsegul eða ljóshljá, en við það mundu elektrónurnar færast nær og nær kjaranum, þangað til þær að síðustu væru allar komnar inn í kjarann og stærð atómsins væri á borð við stærð kjarans. Atómmynd Rutherford var því í mótsögn við hin almennt viðurkenndu náttúrulögmál, en á hinn bóginn virtist hún vera rökrétt afleiðing af rannsóknunum hans. Í þili virtist svo sem atómvisindin væru hér komin í sjálfheldu, en þess var þó ekki langt að þíða, að úr því rættist. Einn af lærisveinum Rutherford, Daninn Niels Bohr, varð fyrstur til þess að kveða upp úr með þá skoðun, að hér hlýti að vera um það að ræða, að elektrónurnar í atómunum högðu sér ekki samkvæmt hinum vel þekktu hreyfingarlögmálum, sem höfðu unnið sér auknið traust manna allt frá dögum Newtons og voru á þessum tíma skoðuð sem allt að því óyggjandi sannindi. Orkugeislunin frá elektrónunum gat heldur ekki fylgt þeim lögmálum, sem fundin höfðu verið fyrir staerri hluti.

Orkugeislun elektrónanna er ljóshljáur. Samkvæmt þeirra tíma hugmyndum hlaut sveiflutíðni bylgjunnar að vera jöfn tíðninni í hreyfingu elektrónunnar í atóminu, en hún hlaut að breytlast við tilgeislunina, svo að vænta mátti, að ljósið, sem atómin sendu frá sér, hefði mjög breytilega tíðni og væri samsett úr öllum mögulegum litum. Mælingar höfðu þó sýnt, að þetta er ekki svo. Það er langt frá því, að ljósið, sem atómin senda frá sér, hafi alla mögulega lit, heldur er þar aðeins um nokkrar fastakveðnar tíðnir eða bylgjulengdir að ræða.

Með ályktun sinni virtist Bohr hafa kippt fótun-

(94)



Niels Bohr.

um undan atómkenningunni. Því að hreyfingarlögmál Newtons voru undirstaðan, sem allir reikningar byggðust á. Til þess að geta framkvæmt reikninga, sem giltu fyrir hegðun elektrónanna í atómnum, varð Bohr að finna nýja undirstöðu í samræmi við þær staðreyndir, sem þekktar voru.

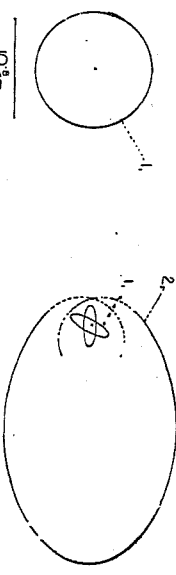
Þetta var erfitt viðfangsefni og það þurfti næman skilning á mikilvægi hinna viðurkenndu nátturlögmála til þess að meta, hvað af þeim væri svo veigamikilt, að það hlýti einnig að gilda í atóminu, og hverju kæmi til mála að breyta. Mjög djúptækar setningar, eins og t. d. orkusetninguna, lætur Bohr halda sér, en gerir breytingar á öðrum ekki eins veigamiklum, eins og t. d. lögmálinu um útgeislun frá hlöðnum hlut á hreyfingu.

Í grein sinni um vahnisatómið, sem út kom 1913, tengir Bohr saman atómmynd Rutherford's og litrof vahnisins með því að setja tíðni ljóssins, sem vahníð sendir frá sér, í samband við orku vahnisatómsins. Aður hafði verið bent á það, bæði af Planck og Einstein, að í vissum tilfellum væri um slíkt samband að ræða.

Bohr gerir ráð fyrir, að elektrónan geti hreyfzt á vissum þrautum í atóminu, án þess að útgeislun eigi sér stað, og að ljósið komi fram um leið og elektrónan stöðkvi frá einni þraut á aðra, sem liggur innan. Tíðni ljóssins, sem myndast, á að vera í réttu hlutfalli við orkuna, sem atómið tapar.

Fyrirfram gat Bohr ekki vitað, hvort þessar tilgátur væru réttar. Hann varð að reikna út afleiðingar þeirra og bera þær saman við mældar stærðir. Reikningar hans á bylgjulengdum eða tíðnum vahnisljóssins gáfu útkomur, sem þóssuðu mjög nákvæmlega við mælingar, sem gerðar höfðu verið á þessum bylgjulengdum, en reikningar Bohrs studdust aðeins við stærðir, sem ákveða mátti óháð öllum bylgjulengdamælingum. Þetta sýndi ótvíreit, að

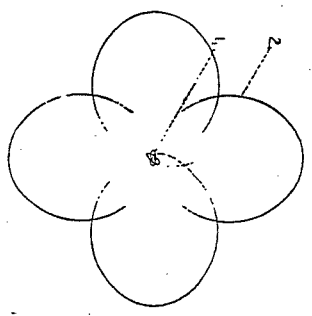
(96)



LITHIUM(3)



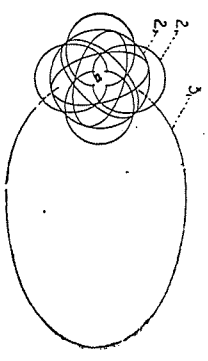
HELLIUM(2)



KULSTOF(6)



NEON(10)



NATRÍUM(88)

Atómbygging nokkurra léttu frumefna samkvæmt hugmyndum Bohrs (frá 1922).

Atómkeranin er tekið á með spórtum depli. Línnar eru elektrónþrautirnar í atóminu. Mismunandi elektrónþrautir eru merktar með mismunandi tölum. Talan, sem stendur á eftir frumefnissetlinu, er atómmærtað.

(97)

Bohr var á rétttri leið, og nú var leiðin opin fyrir frekari rannsóknnum á hegðun elektrónanna og annarra litilla hluta.

Mismunurinn á hegðun hinna smáu og stóru hluta er mjög áberandi. Í heimi hinna smáu hluta er yfirleitt ekki hægt að segja fyrir um það, hvað munni gerast, með neinni vissu. Undir sömu kringumstæðum getur oft verið um margt að ræða, og engin orsök verður færð fyrir því, hvort það er þetta eða hitt, sem gerist.

Hér verður rás viðburðanna ekki heldur fylgt eins órugglega í öllum smáatriðum og þegar um stærri hluti er að ræða. Bohr reynir ekki að skýra, hvernig elektrónan stekkur af einni brant á aðra í atóminu, og það hefur enginn gert síðan. Sú fræðigreini, kvantfræðin, sem fjallar um hreyfingu hinna smáu agna, gerir okkur mögulegt að reikna út, hve milklar líkur séu til þess, að þetta eða hitt gerist undir vissum kringumstæðum. Ef við höfum upplýsingar um reiknað út, hverjar líkurnar séu fyrir því, að ögnin komi á annan ákveðinn stað, en við getum ekki sagt um, hvaða leið hún fari.

Skýringar Bohrs passa ekki eingöngu á vahnisatómið, heldur einnig á atóm, sem innihalda margar elektrónur. Hann gat sagt fyrir um, hvernig elektrónurnar ræða sér á mismunandi stórar brautir, og út frá því mátti svo reikna út bylgjulengdir ljóssins, sem þessi atóm sendu frá sér, og einnig segja fyrir um efnafræðilega eiginleika frumefnanna.

Vér höfum hér kynnt lauslega kafla úr þróunarsögu atómvísindanna. Hér skal ekki haldið lengra, enda þótt ekki hafi verið komið inn á starf það, sem leyrt hefur verið af höndum síðustu áratugina, þar sem aðalviðfangsefnið hefur verið sjálfur atómkjarinn. Af því, sem sagt hefur verið, má sjá,

(98)

að þekking okkar á efninu og eiginleikum þess vex hraðar og hraðar, og að sama skapi vex vald okkar yfir hinu dauða efni og möguleikarnir til þess að nota það í þágu okkar. Hinar örsmáu elektrónur, sem enginn kunnir skili á fyrir nokkrum mannsöldum, þjóna okkur nú með því að lýsa hlyðli okkar, stjórna matinu, gera okkur mögulegt að tala við fjarlægga kunningja og hlusta á hjómleika, sem leiknir eru í fjarlægum löndum, og þær knýja fram hvers konar rafvélar, sem við notum. Þekking okkar hefur nú náð því stigi, að líkanleg vinnu ætti að vera óþörf til þess að afla okkur lífsnauðsynja, því að orkulindir þær, sem við ráðum yfir, eru svo milklar, að okkar eigin líkamsorka verður hverfandi í samanburði við þær.

Vér sáum, að þróun atómvísindanna tafðist lengi vel vegna þess að hugsunin var notuð of einhlíða, en síðan á dögum Galileis, er mönnum lærdist hið rétta samstarf milli hugsunarinnar annars vegar og umheimsins hins vegar, þá hefur þróun atómvísindanna miðað hraðar og hraðar áfram. Það er erfið að spá nokkru um, hve lengi þetta stendur, en enn þá eru engin takmörk sjáanleg, og vissulega er enn mjög langt frá því, að við vitnum allt, sem vitað verður um umheiminn og það sem í honum gerist.

Lífðisfræðin, sem fjallar um lögmál þau, sem glíða fyrir hegðun hinna lifandi hluta, er enn á byrjunarstigi. Við kunnum enga skýringu á þeim eiginleika, sem er undirstaða lífsins og skilur lifandi hluti frá dauðum, nefnilega þeim eiginleika hinna lifandi hluta, að þeir geta fjólgæð og fætt af sér aðra eins. Náin þekking á eiginleikum hins lifandi efnis væri þó eflaust engu síður árðvænleg fyrir mannkynið en þekkingin á hinu dauða efni hefur verið. Sem eitt einfalt dæmi nefna nefna kolsýruvinnslu grænu plantnanna. Á henni byggist öll matvælaframleiðsla okkar, en með þeirri fólks-

(99)

fiölgjum, sem nú á sér stað í heiminum, er fyrirsjáanlegt, að innan langs tíma verður fólklið orðið svo margt, að matvealin nægja ekki. Ef einstök atriði kolsýrvinnumstunnar væru skilin að fullu, er vel hugsanlegt, að hægt væri að finna leiðir, sem nýttu sólarljósið margfalt belur en jurttinar gera, og margfalda þannig afköstin og þar með matveilaframleiðsluna. Enn verður ekki sagt um, hvort hinareðlisfræðilegu aðferðir reynast einhlítar í lífeðlisfræðinni, en hún hefur nú að minnsta kosti fengist trausta undirstöðu, sem ekki varð án veris, en það er þekkingin á hegðun hins dauða efnis.

Það blandast víst engum hugur um, að þekkingin ein á lögmálum náttúrunnar og vald á náttúruöfnumum nægir ekki til þess að tryggja velferð mannlýnsins. Þar til kemur einnig annar enn veigameiri þáttur, en það er hin andlega hlif málsins. Á andlega sviðinu hefur ekki orðið tilsvarendi hröð þróun eins og á því efnislega, en án andlegrar þróunar, eða ef hin andlega þróun gengur ekki í rétta átt, þá er vafasamt, að hve miklu haldi kemur þekking okkar á efnisheiminum. Enn sem komið er stöndum við þó mjög ráðþrota gagnvart þessu atriði. Þekking okkar á starfi hugans, þessa tækis, sem við verðum að nota við allar okkar rannsóknir á umheiminum, er mjög lítil. Okkur grunur, að hér sé ákaflega mikilvægt rannsóknarefni fyrir vísindi framtíðarinnar, en enn þá þekkjum við engar starfsaðferðir, sem arðvænlegar megi reynast, né heldur undirstöðu, sem við getum byggt á.

Þorbjörn Sturgetsson.

Úr hæskýrslum Íslands.

Mannföldi (1 árslok).	1947	1948
Reykjavík	51 690	53 384
Aðrir kaupstaðir	26 799	27 380
Kaupþún með yfir 300 íbúa	16 294	17 427
Sveir	41 152	40 311
A öllu landinu	135 935	138 502

Giftir, fæddir, dánir.

Hjónavígslur	1 121	1 220
Hjónastílnaðir	111	92
Fæddir lifandi	3 703	3 820
Fæddir andvana	56	77
Fæddir alls	3 759	3 897
Par af óskilgetnir	965	1 012
Dánir alls	1 162	1 112
Par af á 1. ári	83	100
Fæddir umfram dána	2 541	2 708
Hlutfallstöður:		
Hjónavígslur á 1000 íbúa ¹⁾	8.3	8.9
Fæddir lifandi	27.6	27.8
Fæddir andvana - - -	0.4	0.6
Dánir alls	8.6	8.1
Fæddir umfram dána - - -	18.9	19.7
Dánir innan 1 árs af 100 lif. fæddum	2.3	2.6
Óskilgetnir af 100 fæddum alls	25.7	26.0

Kvikfjendur (1 árslok).

Kýr og kelddar kvígur	27 225	28 836
Annar nautpeningur	12 129	12 797
Nautgripir alls	39 354	41 633
Hross	47 876	46 106
Sauðfé	495 956	454 255

¹⁾ Miðað við meðalmannfjölda (meðaltal af mannföldunum í ársbyrjun og árslok).