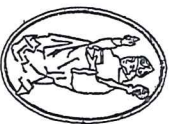


VÍSINDI NÚTÍMANS

VIÐFANGSEFNI PEIRRA
OG HAGNÝTING

DAVÍÐ DAVÍÐSSON · ERNEST HOVMÖLLER
JÓN E. VESTDAL · ÓLAFUR ÞJÖRNSSON · ÞORKELL GRÍMSSON
VILHJÁLMMUR P. GÍSLASON · ÞORBJÖRN SIGURGEIRSSON
SIGURBJÖRN EINARSSON · SÍMON JÓH. ÁGÚSTSSON
HÖRÐUR ÞJARNASON · TRAUSTI EINARSSON
ÞÓRÐUR EYJÓLFSSON



HLAÐBÚÐ · REYKJAVÍK
1958

ÞORBJÖRN SIGURGEIRSSON

EDLISFRÆÐI

Þorjörn Steurgeirsson er fæddur 19. júní 1917. Stúdentspróf frá Menntaskólanum á Akureyri 1937. Magisterpróf í eðlisfræði frá Kaupmannahafnarháskóla 1943. Dvaldist síðan fjögur ár við rannsóknir í kjarnfræði, lífeðlisfræði og geimgeislum í Danmörku, Svíþjóð og Bandaríkjunum. Framkvæmdastj. Rannsóknarráðs ríkisins 1949–1957. Prófessor í eðlisfræði við Háskóla Íslands frá 1957. Hefur ritað greinar um kjarnfræði, lífeðlisfræði, geimgeislaramsóknir og jarðeðlisfræði í innlend og erlend tímarit. Félagi í Vísindafélagi Íslendinga frá 1950.

Eðlisfræði heitir vísindagrein sú, sem fjallar um eðli dauðra hluta og lögmál þau, sem stjórna hegðun þeirra, hreyfingum og ástandsbreytingum.

Í íslenskri þýðingu hefur nafnið á vísindagrein þessari orðið óþarflega víðtækt. Þannig falla t. d. rannsóknir á eðli manna og dýra ekki innan ramma eðlisfræðinnar.

Telja má, að eðlisfræðin í nútímaskilningi þess orðs, sé 300–400 ára gömul vísindagrein. Á þessum tíma hefur hún rutt veginn fyrir hvers konar tæknilegum framförum og lagt grunninn að tæknimenningu nútímans. En áhrif eðlisfræðinnar ná lengra. Með því að skýra á einfaldan hátt eðli og ástand efnisheimsins, hefur hún losað hugi manna úr viðjum hjátrúar og hindurvina og einnig þannig stuðlað að hamingjusamara mannlífi. Á þessum þrem til fjórum öldum er eðlisfræðin orðin harla viðamikil vísindagrein, svo viðamikil, að enginn einn maður mun fær um að fylgjast þar með á öllum sviðum.

Hér verður ekki heldur reynt að gefa neitt heildaryfirlit yfir allar greinar eðlisfræðinnar, aðeins drepist á það helzra og staldrað svoltið við þau atriði, sem einkum hafa vakið almennan áhuga upp á stórkastið.

Segja má, að stofnun eðlisfræðinnar sem nútíma vísindagreinar sé að verulegu leyti eins manns verk. Það var Ítaliinn Galileo Galilei, er uppi var 1564–1642, sem fyrstur beitti þeirri vísindalegu aðferð, sem eðlisfræðin hefur jafnan notað síðan. Meginreglan í náttúruvissóknum Galileis var að lýsa hlutum og fyrirbærum ekki með meira og minna

ónakvæmum orðum, heldur með tölum. Mæling, en ekki skoðun, verður aðalatriði rannsóknarinnar, mæla skal það, sem mælanlegt er, og gera það mælanlegt, sem ekki er það. Galilei lét sér ekki nægja að rannsaka þau fyrirbæri, sem gerast kunna í náttúrunni, heldur framkallar hann með tilraunum þau fyrirbæri, sem hann ætlar að rannsaka. Síðan hefur tilraunin verið eitthvert öflugasta tæki eðlisfræðinnar til þess að ná settu marki. Galilei leggur áherzlu á hið stærðfræðilega sambengi í niðurstöðum mælinganna og síðan hafa eðlisfræðingar beitt stærðfræði við störf sín í stöðugt vaxandi mæli. Viðfangsefni, sem tekið er til rannsókna, er jafnan meðhöndlað á þá lund, að fyrst eru gerðar þær mælingar, sem þurfa þykir. Síðan er reynt að finna stærðfræðilegt sambengi í niðurstöðunum og að því búnu ef til vill gerðar frekari mælingar til þess að staðfesta þær reglur, sem fundizt hafa, eða til þess að prófa aðra hluti, sem af þeim kunna að leiða.

Galilei er þekktastur fyrir rannsóknir sínar á falllögmaíinu, þ. e. a. s. hvernig hlutir falla undir áhrifum þyngdarafsis. Galilei leitar ekki orsaka fallsins, en lætur sér nægja að lýsa hreyfingunni. Síðan tekur Newton við og skýrir sambengið á milli hreyfinga hluta og krafta þeirra, sem á þá verka. Við rannsóknir sínar studdist Newton mjög við stjarnfræðilegar mælingar og komst að raun um, að sömu lögmaí gilda um hreyfingar himintunglanna eins og hreyfingar hluta á jörðu niðri. Á milli allra hluta á himni og jörðu verka aðdráttarafl í samræmi við efnismagn hlutanna, og það er einmitt aðdráttaraflíð frá eini jarðarinnar, sem veldur þyngdaraflinu. Þar með var aflfræðin komin til sögunnar, en hún er enn í dag einn af hornsteinum eðlisfræðinnar og undirstaða alhvar véltekní.

Á 18. og 19. öldinni eru rannsókuð undirstöðulögmaí varmatfræðinnar og með því lagður grundvöllurinn að smíði aflvéla, sem notferðu orku hitans og töku við erfiðustu

störfunum af verkamönnunum með margföldum árangri. Á þessum tíma voru einnig rannsókuð undirstöðulögmaí rafmagns og segulmagns, en þær rannsóknir urðu til þess, að mankynið fékk rafmagníð í sína þjónustu, en það má nú teljast þarfasti þjónninn, svo mörg og fjölbreytileg sem not þess eru.

Síðustu aldamót marka að ýmsu leyti tímamót í sögu eðlisfræðinnar og áður en við höldum lengra skulum við staldra við og sjá, hvernig þá var um að lílast í þessari vísindagrein.

Um aldamótin var eðlisfræðin orðin mikil og fullkomin vísindagrein, samkvölluð fyrirmynd annarra náttúruvísinda. Hegðun hlutanna stjórnaðist af fáeinum grundvallarlögmaíum, sem sett höfðu verið fram á skýran og einfaldan hátt, en öllum hinum mikla fjölbreytileika í eðli og atburðum mátti gera skil með því að beita stærðfræðilegum aðferðum á hin algildu undirstöðulögmaí.

Varmatfræðin var orðin hluti af afl- og hreyfingatræðinni, þar sem hitastigið var sett í samband við hreyfingu smæstu agna efnisins. Hljóðfræðin var einnig orðin hluti aflfræðinnar, þar sem hljóðið var skýrt sem ölduhreyfing í efninu. Á tilsvarendi hátt hafði ljósið verið skýrt sem bylgjuhreyfing í raf- og segulsviði rúmsins, en segulmagníð hafði einnig hlotið sína skýringu sem afleiðing rafstraums og rafsviðs.

Eðlisfræðin skipist þannig í tvær megingreinar. Önnur fjallaði um hreyfingar hlutanna og krafta þá, sem á þá verka. Hin fjallaði um rafmagníð og það, sem því fylgir.

Um efníð var vitað, að það var byggt upp úr smæstu ögunum, atómum, sem hver um sig voru óbreytanlegar, þannig að efnismagníð í heiminum var alltaf það sama. Það sama mátti segja um orkuna, þótt hún væri ekki eins áþreftanleg eins og efníð, en ef hún var tekin í öllum sínum myndum, hlaut heildarmagn hennar að vera óbreytanlegt. Við vinnu breyrist aðeins ein tegund orku í aðra, en hverfur ekki.

Þegar kúlu er skotið upp í loftið breytist innri orka sprengiefnisins fyrst í hreyfingarorku kúlunnar. Á leiðinni upp breytist hreyfingarorkan í leguorku, en á leiðinni niður verður hún aftur að hreyfingarorku, sem svo breytist í hitaorku, þegar kúlan fellur til jarðar.

Án þess að ýkja mjög mikið mætti segja, að um aldamótin hafi litið þannig út, að eðlisfræðin hafi verið búin að skýra háttalag allra dauðra hluta, bæði á himni og jörðu. Undirstöðulögmálin voru þekkt og aðeins eftir að reikna út í smáatriðum, hvernig rás atburðanna yrði.

Eitt var sameiginlegt í öllum lögmálum eðlisfræðinnar. Undir einum og sömu kringumstæðum var aðeins möguleiki fyrir einni atburðarás. Lögmálin voru orsakalögmál. Sömu orsök fylgdi alltaf sama afleiðing. Samkvæmt slíkum lögmálum er öll atburðarás heimsins ákveðin fyrirfram í minstu smáatriðum og fræðilega séð hægt að segja fyrir um hvers konar óorðna hluti með sömu vissu og sagt er fyrir um göngu himintungla.

Um og upp úr aldamótunum fór að bera á vissum veilum í þeirri framsetningu á lögmálum náttúrunnar, sem fram til þessa höfðu verið talin algild. Ekki mjög áberandi í fyrstu, en nóg til þess, að eðlisfræðingarnir fóru að elast um, að þeir væru komnir á leiðarenda.

Afbrigðilegs háttalags varð vart á tveim stöðum við tímörk hins paulkannaða rannsóknasvæðis eðlisfræðinnar. Annað var hegðun hluta við mjög háan hraða, en hitt hegðun mjög litilla efnisagna.

Þegar Newton setti fram hreyfingarlögmál sín, studdist hann eingöngu við athugun á hlutum, sem fara hægt, miðað við hraða ljóssins, svo sem fallandi steinn, jarðstjarna á braut sinni um sólu eða tunglið á braut sinni um jörðu. Þegar farið var að gefa nánar gætur að háttalagi ljóssins sjálfs, komu hins vegar fram óvæntir hlutir, nefnlega, að útkoma úr mælingu á útbreiðsluhraða ljóssins reyndist al-

veg óháð því, hvort mælitækið var á hreyfingu eða ekki. Það virðist þó eðlilegt, að hraðinn ætti að mælast meiri, ef mælitækið hreyfist á móti ljósinu, heldur en þegar það stendur kyrrt eða hreyfist frá því, en enginn slíkur mismunur kom fram við mælingarnar.

Einstein lagði nú þessa niðurstöðu til grundvallar kenningu sinni. Einnig notaði hann afstæðisregluna, sem fyrir löngu hafði hlotið viðurkenningu á sviði affræðinnar, en nú var einnig talin gilda í rafmagnsfræðinni. Samkvæmt reglu þessari eru öll grundvallarlögmál náttúrunnar óháð því, hvernig hreyfingum athugandans eða mælitækjanna er háttað, ef þau aðeins hreyfast með jöfnum hraða. Við höfum því engan möguleika á því að greina, hvort við stöndum kyrr eða hreyfumst með jöfnum hraða og getum því aðeins talað um hreyfingu með tilliti til eða í afstöðu við einhvern ákveðinn hlut. Af því hlaut kenning Einsteins nafnið afstæðiskenning.

Til grundvallar afstæðiskenningunni liggja aðeins þessar tvær einföldu forsendur, — afstæðisreglan og óbreytanleiki ljóshraðans, — en með rökvísni og reikningslist má sýna fram á, að þessar forsendur hafa hinar ótrúlegustu afleiðingar. Ein er sú, að enginn hlutur geti fengið meiri hraða en ljósið, sem fer 300.000 kílómetra á hverri sekúndu, og að ekki sé nokkur möguleiki til þess að koma skilaboðum á milli tveggja staða á skemmi tíma en ljósið þarf til að komast á milli þeirra. Önnur afleiðing er sú, að öll atburðarás hægi á sér við hraða, sem nálgastr ljóshraðann, en það hefur m. a. í för með sér, að menn, sem sendir væru í langa geimferð með hugsadri eldfang, sem kæmist næstum því eins hratt og ljósið, mundu við heimkomuna hafa elzt minna en bræður þeirra, sem biðu á jörðinni. Enn ein afleiðing afstæðiskenningarinnar, og sú aldrifaríkasta fyrir hegðun hraðskreiðra efnisagna, er sú, að orka og efnismagn séu óaðskiljanlegir eiginleikar, þannig, að orkunni fylgi alltaf nokkurt efnis-

magn eða massi og að efnismagnið megi skoða sem eina mynd orkunnar. Hlutur, sem settur er á mikinn hraða, þyngist vegna þess að efnismagn hreyfingarorkunnar leggst við efnismagn það, sem hluturinn hafði fyrir, en þessa getir ekki að marki fyrir en hraði hlutarins nálgast ljóshraðann. Orka sú, sem þannig er tengd efninu, er ákaflega mikil. Eitt gramm af hvaða efni sem er, myndi við algera umbreytingu verða að orku, sem væri meiri en orka sú, sem fast við brenslu 1000 tonna af kolum.

Þæði þessi og aðrar ályktanir afstæðiskenningarinnar hafa staðfært dóm reynslunnar. Afstæðiskenningin hefur með réttu verið talin með mestu andlegu afrekum mannsins. Afrek þetta var unnið í einni lotu og má að mestu leyti þakka það atgjörvi eins manns, Alberts Einsteins. Kenning hans hefur reynt mikil lyftistöng fyrir aðrar greinar eðlisfræðinnar, en áhrif hennar ná langt út fyrir mörk þeirrar fræðigreinar, þar sem starf Einsteins hefur gefið lýsandi forðami þess, hve langt má ná með rökvisi og skarprí dómgreind.

Samkvæmt afstæðiskenningunni eru hreyfingarlögmálin mjög frábrugðin lögmálum Newtons, ef hraði hlutanna nálgast ljóshraðann, en fyrir hreyfingar þær, sem Newton lagði til grundvallar hreyfingalögmálum sínum, standa lögmál hans enn óhöggð.

Um aldamótin fór líka að koma skrifður á rannsóknir á gerð efnisins. Hér lá málið töluvert öðruvísi fyrir en á sviði afstæðiskenningarinnar. Þar þurfti að skilja þær staðreyndir, sem fyrir lágu, en hér þurfti fyrst og fremst að safna nýjum staðreyndum, gera tilraunir, sem gæfu hugmynd um gerð efnisins.

Á fyrsta áratug þessarar aldar gerði Breiinn Rutherford tilraunir, sem sýndu fram á, að minnstu eindir hvers frumefnis — atómin — væru samsettar úr þungum kjarna, hlöðnum pósitívu rafmagn, og negatívu elektrónum, sem svifu

í kringum kjarnann. Jafnframt varð ljóst, að hegðun elektrónanna í atómnum var ekki í samræmi við hin gamalkunnna náttúrulegmál, og breytingar þær, sem afstæðiskenningin hafði í för með sér, gátu hér ekki heldur orðið að liði.

Á öðrum áratug aldarinnar varð Daninn Niels Bohr, sem þá stíraði með Rutherford, fyrstur manna til þess að höggva á línútin og kveða upp úr um, að hin gamalkunnna náttúrulegmál gætu ekki gilt fyrir hreyfingar elektrónanna í atómnum og benda á, á hvern hátt þyrfti að breyta lögmálum þessum til þess að þau gætu samrýmt staðreyndunum. Það kom í ljós, að það voru ekki aðeins elektrónur, sem sýndu afbrigðilega hegðun, heldur var því þannig varið um allar mjög litlar efnisagnir. Að ýmsu leyti var háttalag agna þessara hið furðulegasta og ólíkt því, sem nokkurn hefði óráð fyrir að óreyndu máli. Þær áttu það til að breyta hreyfingarástandi sínu ekki jafnt og þétt eins og aðrir hlutir gera, heldur í stökkum. Orka elektrónanna í atómnum getur ekki haft hvaða gildi sem er, heldur kemur hún aðeins fyrir í vissum skömmtum, og breytist í stökkum um leið og atómið sendir út ljós. Stundum minnir háttalag agna þessara meira á bylgjur en efnisagnir. Bylgjur, sem sendar eru frá ákveðnum stað í ákveðna átt lenda ekki allar á sama stað, heldur dreifast yfir viss svæði. Reynslan sýnir, að þannig er einnig háttalag hreyfingum smáagnanna. Agnir, sem sendar eru frá sama stað í sömu átt undir nákvæmlega sömu kringumstæðum, lenda ekki allar á sama stað, heldur dreifast yfir viss svæði á sama hátt og bylgjurnar.

Hér er því ekki aðeins um að ræða lítilfjörlega leiðréttingu á hreyfingarlögmálum Newtons, heldur er hér burtu fallin ein af þeim meginreglum, sem eðlisfræðin hafði byggt á — hið eingilda orsakasamband, að undir sömu kringumstæðum gerðist alltaf það sama.

Bylgjukenningin eða skammtafræðin eins og hin nýja fræðigrein um háttarni hinna smáu agna hefur verið kölluð,

leyfir ekki slíkt eingilt orsakasamband, heldur verður orsakalögmálið hér á líkindaformi. Undir ákveðnum kringumstæðum er yfirléitt ekki hægt að segja ákveðið um hvað gerist, heldur aðeins hve miklar líkur séu til að þetta eða hitt gerist. — Þá var um leið sýnt, að ekki var í raun og veru fyrir hendi grundvöllur til þess að hægt væri að segja fyrir í öllum smáatriðum, hvernig atburðarás heimsins yrði um alla framtíð.

Bygging efnisins reyndist frjósamt viðfangsefni og segja má, að það hafi verið höfuðviðfangsefni eðlisfræðinnar það, sem af er þessari öld. Frjósemin er í því fólgin, að lausn eins vandamáls hefur jafnan fætt af sér mörg ný vandamál, sem eftir var að svara. Verkefni, sem framundan eru, virðast því miklu fleiri nú en nokkru sinni fyrir og ekkert sem bendir til þess, að við nálgumst leiðarenda.

Hátterni hinna smáu agna hafði sýnt fram á, að lögmál Newtons þurftu lagfæringar við, ekki aðeins þegar um miklím hraða var að ræða, heldur einnig þegar lýsa átti hreyfingu mjög smárra efnisagna. Á sviði því, sem lögmál þessi voru samreynð á á sínum tíma, standa þau þó óhögguð enn þann dag í dag. Svo er jafnan um verk, sem til er vandað, þau halda gildi sínu, enda þótt við þau sé bætt og á þau byggt, en þróun þessara mála hefur kennt okkur, að varhugavert er að treysta því, að framsetning okkar á lögmálum náttúrunnar sé algild, enda þótt þau hafi verið samreynð innan vissra ramma. Það væri algjört ofmat á vitsmunalegri getu mannsins að ætla, að hann gæti af hugviti sínu og rökvlási einni saman sagt fyrir, hvernig heimurinn hlýti að vera.

Skammta- eða kvantafræðin, sem hefur að geyma undirstöðulögmál fyrir hátterni hinna smáu agna, komst í fast form á þriðja tug aldarinnar og þá var einnig samreynt, að þessi nýja fræðigrein gaf sanna og rétta lýsingu á hegðun

elektrónanna innan atómsins. Þar með mátti segja, að einafræðin væri orðin ein grein af eðlisfræðinni, því að hin einafræðilegu lögmál mátti öll leiða af lögmálum kvantafræðinnar. Einnig fékkst hér tæmandi lýsing á því, hvernig ljósið myndast í atómum efnisins.

Á fjórða tug aldarinnar beindist athyglin fyrst og fremst að atómkjarnanum sjálfum og breytingum þeim, sem hann var undirorpinn. Það kom í ljós, að kjarnar frumefnanna voru samsettir úr tvenns konar efnisögnum, prótónum, hlöðnum pösítívum rafmagni, og hleðslulausum neutrónum, sem liggja þétt saman í kjarnanum. Kjarnaögnum þessum er haldið saman af sérstökum kjarnakröftum. Kraftar þessir eru öflugri en nokkrir aðrir, sem menn þekkjá, og þar af leiðandi eru samfara breytingum á niðurröðun kjarnaagna orkubreytingar, sem eru miklu stórkostlegri en þekkt er annars staðar frá. Við slíkar kjarnabreytingar er það algengt, að um einn þúsundasti af efnismagninu breytist í orku, og hér hefur afstæðiskenningin komið í góðar þarfir, hvað snertir samband efnis og orku. Þegar kjarni geislar frá sér orku, létist hann að sama skapi. Það sama gerist, þegar orka er framleidd við venjulegar efnabreytingar, þar sem um er að ræða nýja niðurröðun atómanna í efninu, en þá er hún ekki meiri en svo, að rýrnun efnisins nemur aðeins um það bil einum þúsund-milljónasta hluta, en það er of lítið til þess að hægt sé að mæla það.

Orkuhugtakið hefur ekki aðeins verið einn af hornsteinum eðlisfræðinnar allt frá upphafi, heldur hefur það í stöðugt vaxandi mæli verið tengt menningu okkar og lífsafkomu. Nútímaþenning er óhugandi án þess, að menn hafi á að skipa vinnuafli eða orku, sem er margfalt meiri en afkastageta eigin líkama. Orkuþörf þessari hefur verið fullnægt fyrst og fremst með brennslu kola og olfu og að litlu leyti með virkjun vatnsfalls. Þó er fyrirsjanlegt, að vatnsafl-

ið getur ekki fullnægt nema litlu af hinni ört vaxandi orku-þörf mannkynsins og að kola- og oluforðinn getur ekki enzt nema mjög takmarkaðan tíma.

Án nýrra orkulinda gat nútímanningin aðeins orðið sem bóla í þróunarsögu mannkynsins, sem hlýti að hjaðna innan skamms.

Uppgötvun eðlisfræðinganna á hinni miklu orku atóm-kjarnans gaf því mikil fyrirheit um að menning okkar þyrfti ekki að lifa undir lok af orkuskortri, en lengi vel varð ekki séð, hvernig hægt væri að hagnýta orku þessa og framkalla kjarnabreytingarnar í nægilega stórum stíl. Fjöldinn allur af kjarnabreytingum var rannsakaður á fjórða tug þessarar aldar, en engin þeirra þótti líkleg til þess að hægt væri að hagnýta hana til orkuvinnslu í stórum stíl. Það, sem á skorti, var að umbreyting eins atómkjarna hefði í för með sér umbreytingu annars kjarna, svo að breytingin gæti náð til alls efnisins, eins og þegar venjuleg efnabreyting dreifist um eldsneytið við bruna.

Á árinu 1939 fannst svo loks kjarnabreyting, sem sérsíðu hafði hvað þetta atriði snerti, en það var kjarnabreyting sú, sem hin hleðslulausa kjarnaögn, nevtónan, kemur af stað, þegar hún rekst á úraníumkjarna. Þegar nevtónan sam-einast kjarnanum, kemst þar allt í uppnám, sem endar með því að hann klofnar í tvennt, en það, sem mestu máli skiptir í þessu sambandi er að um leið hrökkva úr kjarnabrotunum nokkrar nevtónur, sem geta haldið kjarnabreytingunni við með því að rekast á nýja úraníumkjarna. Á fimmta tug ald-arinnar var svo sannprófað, að kjarnabreyting þessi gat raunverulega framleitt orku í stórum stíl. Fram til þessa hafði verið tiltölulega hljótt um kjarnfræðilegar rannsóknir og almenningur ekki gefið þeim mikinn gaum. Fréttin um hinn mikla tæknilega sigur, sem hér var unninn, barst al-menningi sumarið 1945 á þann óhugnanlega hátt, að búið hefði verið til kjarnorkusprengja, sem notuð var til þess að

tortíma fjölda mannslífa. Þetta mun eiga sinn djúga þátt í því, að æ síðan hefur mönnum staðið nokkur beygur af kjarnorkurannsóknunum og orðið óeðlilega starsýnt á þá bölv-un, sem hægt er að koma til leiðar með þessari nýju þekk-ingu. Það varð þó fljótt ljóst, að orku úraníumkjarnans mátti nota til gagnlegra hluta engu síður en eyðileggingar og að mankynið hefði hér eignast þann orkuforða, sem nægja mundi til þess að halda við menningu þess um langan aldur, jafnvel um óýrissjállega framtíð. Raunar mátti það teljast einskær tilviljun, að hægt var að vinna kjarnorkuna á þennan hátt. Af öllum þeim aragrúa mismunandi atóm-kjarna, sem finnast í náttúrunni, er aðeins ein gerð, sem hægt er að leggja til grundvallar þessari kjarnorkuvinnslu, en það er kjarninn U 235, sem aðeins myndar tæplega 1% af venjulegu úraníum, eins og það kemur fyrir í náttúr-unni. Ef þessi sérsstaða kjarnategund hefði ekki verið meðal þeirra, sem fyrir koma í náttúrunni, hefði þessi leið ekki verið opin til hagnýtingar kjarnorkunnar og kjarnorkuöld-in hefði ekki haldið innreið sína fyrir en aðrar leiðir voru fundnar. En eins og málum er háttað, er leiðin opin, ekki aðeins til þess að hagnýta þennan sjaldgæfa úraníumsótóp til orkuvinnslu, heldur gerir hann einnig mögulegt að vinna orku úr þeim ísótóp úraníums, sem algengastur er, og auk þess má einnig nota birgðir jarðar af frumefninu þóríum til orkuvinnslu og er það vel til fallið, því að efni þetta heitir eftir hinum forna guði máttarins, Þór. Þó að efni þessi séu ekki meðal hinna algengari í jarðskorpunni, þá er orkuinnihald þeirra um milljónfalt á við kol og orku-forðinn í þekktum úraníum- og þóríumnámunum er talinn tvíugfaldur á við orkuforða kola- og olunáma, og ef hægt er að endurbæta vinnsluaðferðir þessara efna, svo að kleift yrði að vinna mun rýrari námur en nú eru taldar arðberar, margfaldast magnið og orkuforðinn verður allt að því óþrjótandi.

Kjarnorkusprengrinn hafði sýnt á eftirminnilegan hátt, að með kjarnaklofnun er hægt að framleiða óhemju háan hita. Þetta kom mönnum til þess að hugsa um aðra leið til orkuvinnslu, sem áður hafði verið talin óhugsandi. Það var vitnað, að orka kjarnakraftanna losnaði ekki aðeins, þegar þungir atómkjarnar klofnuðu í tvennt, heldur var það einnig reglan, að orka losnaði, þegar tveir léttir atómkjarnar sameinuðust. Í létustu og algengustu frumefnunum er þannig um að ræða alveg óræmandi orkulind og það er raunar þessi orkulind, sem við njótum góðs af í geislum sólarinnar, því það er einmitt samruni léttu atómkjarna, sem heldur við hita sólar og annarra stjarna. Samruna tveggja léttu atómkjarna er auðvelt að framkvæma í smáum stíl. Annar kjarninn er settur á mikla ferð í sterku rafsviði og síðan er honum beint að hinum kjarnanum. Ef hraðinn er nægur, yfirvinnur hann hina fráhrindandi rafkrafta, er ríkja á milli kjarnanna, sem báðir eru hlaðnir pósitívu rafmagni, og kjarnarnir koma svo nálægt hvor öðrum, að kjarnkraftanna fer að græta og draga þeir þá hina tvo kjarna saman síðasta spólinn. Í raun og veru er framkvæmdin sú, að straumur af atómkjörnum lendir á efni, sem inniheldur atómkjarna þá, sem þeir eiga að sameinast. En atómkjarnarnir eru ákaflega smáir og ekki er hægt að miða á einn ákveðinn kjarna. Árangurinn verður eftir því, langflestir kjarnarnir í straumninum missa marks og stöðvast í efninu áður en þeir rekast á nokkurn kjarna þess. Þetta er orsökinn til þess, að ekki er hægt að hagnýta orku kjarnanna á þennan hátt. Orkan, sem fer í að koma hinum mörgu atómkjörnum á ferð er miklu meiri en orka sú, sem hinir fáu kjarnar, sem renna saman við aðra, gefa frá sér. En nú eru rafkraftarnir ekki þeir einu, sem geta komið kjörnum um á hraða hreyfingu. Eins og áður var að vikið, stafar hitinn af því, að atóm efnisins og þar með atómkjarnarnir eru á innbyrðis hreyfingu, þeim mun hraðari sem hitastigið er

hærra. Það er því hugsanlegur möguleiki, að hægt sé að hækka hitastigið, þangað til hraðinn er nægur og áreksrannir á milli kjarnanna svo kröftugir, að þeir ná að renna saman. Hér skiptir ekki máli, þó að kjarni missi marks í eitt skipti, því hann heldur áfram að sveima með svipuðum hraða, og fyrir eða síðar rekt hann á annan kjarna og rennur saman við hann, ef aðeins hitastigið er nógu hátt og tinninn nógu langur, sem hægt er að henna efnið, en það er enginn hæðarleikur við þau hitastig, sem hér eru nauðsynleg. Til þess að lá nægilega kröftuga árekstra verður hitinn að vera samberilegur við hitastig það, sem ríkir í miðju sólar og nema milljónum eða jafnvel hundruðum milljóna gráða. Kjarnabreyting sú, sem talið er að haldi við hita sólar, er í stuttu máli samruni fjögurra venjulegra vetniskjarna eða prótóna í heljum. Kjarnabreyting þessi er þó allflokkin og mjög hæfara og kemur vart til greina sem orkugjafi í jarðneskum orkuverum, enda þótt hiti sá, sem hún þarfnast, sé tiltölulega lágur, eða um 20 milljón gráður. Hæppilegra viðlíst að nota herra hitastig og einfaldari kjarnabreytingu, sem getur gengið hratt fyrir sig, og koma þar einkum til greina þyngri gerðir vetniskjarna — tvíþungt og þríþungt vetni —. Slík efni hafa verið snöggríttuð með venjulegum kjarnorkusprengrum og með tilæðuðum árangri. Vetniskjarnarnir renna saman og mynda helumkjarna. Við samrunann losnar kjarnorka í stórum stíl, magnar sprenginguna um allan helming og hækkar hitastigið. Hér er um að ræða hina margumtöluðu vetnisprengju. En hér með var björninn ekki unninn. Ef hagnýta á orku hinna létu atómkjarna, verður að lá samrunann til þess að gerast jafnt og þétt, án þess að um neinar meiri háttar sprengingar sé að ræða, í þar til gerðum tækjum, sem jafnframt tappa af orku þá, sem myndast við kjarnabreytingarnar. Við fyrstu sýn virðist hér vera um að ræða algjörlega vonlaust viðfangsefni. Hitastig þau, sem hér um ræðir, eru þúsundum sinn-

um hærri en svo, að nokkurt efni þoli þau án þess að bráðna og gufa upp á augabragði. Ekkert efni getur hett útbreiðslu svona ósælega heitra efna og þau mundu á svipstundu eyðileggja allt, sem þau snerta.

Fyrir fimmtán til tuttugu árum voru menn að velta fyrir sér, hvernig háttað væri hreyfingum efnisins úti í geimnum á milli stjarnanna og einnig efnisins í sólinni, og komust að þeirri niðursöðu, að á báðum þessum stöðum hlýti segulsviðið að vera mjög snar þáttur varðandi allar hreyfingar efnisins. Á báðum þessum stöðum er efnið mjög vel leiðandi fyrir rafstraum, en það hefur það í för með sér, að efni og segulsvið tengjast saman traustum böndum og verða fyrir gagnkvæmum áhrifum hvort frá öðru. Í framhaldi af þessum hugleiðingum hefur nú sprottið upp ný fræðigrein, sem nefna mátti segulmekanik eða segulflæði, en sem raunar er ekki annað en sameining tveggja gamalkunnra greina eðlisfræðinnar, hreyfingafraði vökvra og lofttegunda og lögmálanna um samband rafstraums og segulsviðs. Fræðigrein þessi kemur víða við. Hún leitast við að skýra segulsvið jarðar og sólar út frá þessu samspili segulsviðsins, efnisstraumsins og rafstraumsins. Undirstöðulögmálin eru öll vel þekkt. Leiðandi efni, sem hreyfist í segulsviði, kemur af stað rafstraum og rafstraumurinn skapar um sig segulsvið, sem aftur verkar með krafti á efni það, sem flytur rafstrauminn og breytir hreyfingu þess. Þannig eru segulsvið og rafstraumur og efnisstraumur nátengd hvert öðru. En þó að grundvallarlögmálin fyrir víxlverkunum þessum séu vel þekkt, verða stærðfræðilegar torfærur á veginum, þegar segja á fyrir atburðarásina. Þannig hefur ekki tekist að útskýra í einstökum at-riðum, hvernig vökvastaurnar í bráðnum jarðkjarnanum haldi við segulsviði jarðar, þótt líklegt megi telja, að hér sé orsakanna til segulsviðsins að leita. Í einfaldari tilfellum má þó skapa sér skýra mynd af atburðarásinni og t. d. sjá að

efni, sem leiðir vel rafstraum, hreyfist mjög treglega þvert á segulsvið, enda þótt straumar þess komist greiðlega í stefnur, sem liggja samhlíða segulsviðinu.

Þetta var nú útdrúður frá umræðuefninu — hagnýtingu vetnisorkunnar — en þó engan veginn því óviðkomandi. Eins og áður var frá greint, er það algerlega vonlaust að ætla sér að halda milljón stíga heitu gasi innilokuðu í láti, þannig að veggir látsins hefði útbreiðslu gassins, en var þá ekki hægt að smíða láti, þar sem veggirnir voru ekki úr neinu efni, heldur aðeins segulsvið, sem hindraði að hið heita gas gæti breiðt út? Þessu veltu eðlisfræðingarnir fyrir sér í nokkurn tíma, og nú er kominn sönnun þess, að þessar fluganir hafa ekki orðið árangurslausar. Fyrir skömmu birtu enskir og amerískir eðlisfræðingar árangur rannsókna sína á möguleikum til hagnýtingar vetnisorkunnar. Það kom heiminum mjög á óvart, hversu miklum og skjóttum árangri menn þessir höfðu náð í starfi sínu. Tekið hafði að framleiða hita, sem skipti milljónum gráða í þungu vetnisgasi án þess að þar kæmi nokkur sprenging til. Þessu hitastigi hefur að vísu ekki verið haldið stöðugu, en þó nægilega lengi til þess að nokkrir hinna þungu vetniskjarna hafi fengið tíma til að renna saman. Vetnisgasið, sem haft er í hringlaga þípu, er hitað upp með því að senda rafstraum í gegnum það, en segulsvið þjappar hinu heita gasi saman í miðri þípunni og hindrar, að það geti snert veggj hennar. Vísindamennirnir telja, að engin vandkvæði séu á að hækka hitastigið upp í hita þann, sem ríkir í miðju sólarnar eða um 20 milljón gráður, og telja líklegt, að hægt sé að komast miklu hærra — upp í hundruð milljóna gráða — eða álka hita og ríkir í miðjum allra heitustu stjarna geimsins. Við slík hitastig ætti samruni hinna þungu vetniskjarna að ganga nægilega hratt til þess að orka losnaði í stórum stíl.

Ef tilraunir þessar takast vel, má búast við því, að þungt

van verði aðalorkugjafi framtíðarinnar, en af því er alls staðar nóg, því að einn sjö þúsundasti hluti af öllu vatni er þungt vatn.

En uppgötvanir þessar gefa ekki aðeins fyrirheit um óþrjótandi orku mannkyninu til handa, heldur virðist einnig hugsanlegt, að vetnisorkuver til rafmagnsframleiðslu verði einaldari en rafstöðvar nútímans. Eins og áður var getið, þarf segulsvið til þess að hennja hið heita gas, en líklegt virðist, að hitinn, sem myndast í gasinu, geti magnað segulsviðið og valdið stöðugum breytingum á því, á svipaðan hátt og talið er, að upphitun jarðkjarnans haldi við segulsviði jarðar.

Í venjulegri rafstöð, og einnig í kjarnorkurafstöð nútímans, er rafstraumurinn framleiddur með því að láta breytilegt segulsvið verka á spólur undnar úr koparþræði. Segulsvið þetta stafar frá snúðnum, segulmögnuðu járnstykki, sem snýst innan í rafalnum.

Í vetnisorkuverinu er hugsanlegt, að segulsviðið frá hinu heita gasi geti verkað beint á þræðarspólurnar, án þess að nokkur hlutur hreyfist í rafalnum.

Að svo stöddu verður vitanlega ekkert sagt um það með vissu, hvort vænta megi í framtíðinni mun ódýrari raforku en nú er á boðstólum, en bjartsýni vísindamannanna bendir til þess, að ekki líði langur tími, þar til spurningu þessari verður svarað.

Enda þóit almenningur láti sig mestu skipta hinar hagnýtu greinar kjarnfræðinnar, og þá einkum kjarnorkuna, er þó engu síður stöðugt unnið í kyrrþey að enn frekari rannsóknunum á byggingu efnisins. Innri gerð og eiginleikar atómsins liggja nú ljóst fyrir. Bygging atómkjarnanna úr kjarnaögnunum og helztu eiginleikar þeirra eru nú einnig allvel þekkt og á báðum þessum sviðum taka nú verkfræðingarnir óðfluga við af eðlisfræðingunum og sjá um að hagnýta þá þekkingu, sem unnit hefur.

En hinir sönnu framherjar eðlisfræðinnar eru komnir lengra. Viðfangsefni þeirra eru ekki lengur gerð atómsins eða atómkjarnans, heldur eðli kjarnakraftanna og kjarnaagnanna sjálfra.

Í kjarnabreytingum er um að ræða breytingar á niðurröðun kjarnaagnanna, en í nýjustu tilraunum um eðli kjarnaagnanna er blátt áfram um að ræða sköpun og eyðingu slíkra agna. En slíkir aburðir gerast ekki fyrirhafnarlaust. Tækin til þessara rannsókna verða æ risavaxnari, svo að lengd eins tækis getur jafnvel skipt hundruðum metra. Hér er um að gera, að hver kjarnaögn komist á sem allra mestan hraða, og í tækjum þessum er hinum pósitívu kjarnaögnunum, prótónunum, þeytt áfram eftir hringlaga braut, einn hringinn eftir annan, þar til massi þeirra er orðinn margfaldur vegna hinnar miklu hreyfingarorku. Síðan eru þessar orkuþrungnu agnir látnar rekast á aðrar kjarnaagnir, en í þeim árekstrum gerast ýmsir furðulegir hlutir. Hér skapast mikill fjöldi af nýjum ögnum af ýmsu tagi, sem eru gjörólíkar hinum gamalkunnu kjarnaögnunum og elektrónum. Yfirleitt endast agnir þessar aðeins mjög skamma stund, en eyðast sjálfkrafa og verða að einhverjum hinna þekktu atómagna. Þar af leiðandi koma þessar nýju agnir, sem hlotið hafa nafnið mesónur, hýperónur og ýmislegt fleira, að öllum jafnaði ekki fyrir sem frumagnir efnisins. Þó var mönnum ekki allsendis ókunngt um tilveru sumra þeirra, áður en hinar risavöxnu vélar komu til sögunnar. — Á fjórða tug aldarinnar var japanskur eðlisfræðingur, Yukawa að nafni, að spreyta sig á því að ráða reikningslega fram úr gátum kjarnakraftanna og komst þá að þeirri niðurskiðun, að kræftar þessir hlýtu að vera tengdir áður óþekktir efnisögn og sagði til um, hvernig eiginleika hún þyrfti að hafa. Skömmu síðar fundu eðlisfræðingar, sem stöfðuðu að geimgeislaranáðunum, agnir með svipaða eiginleika og var nú tekið til óspilltra málna við að rannsaka

Þessar nýju agnir, bæði fræðilega og með mælingum á geimgeislum. Geimgeislarnir eru eins og nafnið bendir til geislar, sem koma utan úr geimnum. Upphaf þeirra er óviss, en hér er aðallega um að ræða orkuþrögnar kjarnaagnir, með hraða, sem nálgast ljóshraðann. Í gufulhvolfinu rekast þær á atómkjarna, en við það skapast hinar umræddu agnir, mesónurnar. Eftir tíu ára rannsóknir var það ljóst orðið, að agnir þessar gátu ekki skýrt eðli kjarnakraftanna, en þá fundust einnig í geimgeislunum aðrar agnir, sem betur hæfðu. Agnir þessar, sem hlutu heitið pí-mesónur, voru svo skömmu síðar framleiddar með þar til gerðum tækjum og hafa nú verið rannsakaðar gaumgæflega.

Þeim, sem við rannsóknir þessar fast, kemur saman um, að hér sé ekki allt með felldu. Hin þekktu náttúrulögmál bregðast, þegar orka hinna einstöku agna vex upp úr öllu valdi. Það er þó síður en svo, að þeir harni þessar niðurstöður sínar. Enn hefur ekki tekið að færa náttúrulögmálin í það form, sem gildir í áreksrum hinna orkuþrögnar agna. En hér má vænta nýrra uppgötvana og nýrra óvæntra tækifæra. Tímum þróunar og framfara í eðlisfræði er ekki lokið. Við rannsóknir þessar eru engin hagnýt sjónarmið höfð fyrir augum. Hér gildir aðeins að auka við þekkinguna og rannsaka atburðina frá öllum hliðum. En ef dæma má af reynslu liðinna ára og alda, verður þess þó ekki langt að bíða, að þessar nýju og dularfullu agnir verði einnig notaðar til hagnýtra hluta ásamt hinum eldri og ráðsettari stall-systurum þeirra.

Tíminn, sem liður frá því, að uppgötvun er gerð og þar til hún er hagnýt, verður stöðugt styttri. Aður gátu uppgötvanir legið ónotaðar áratugum eða jafnvel öldum saman, en nú stefnir allt í þá átt, að það séu framhejar vísindanna, sem takmarka hraða hinnar teknilegu þróunar.

Hin öra þróun vísinda og tekni bylir um öllu mati á verðmætum, og það er atriði, sem holt er að átta sig á í

tíma, einkum fyrir ráðamenn þjóðanna og aðra þá, sem taka þurfa ákvarðanir, sem áhrif hafa langt fram í tímann.

Þróunin gengur öll í þá átt, að hinar fornu auðlindir missa mál sinn. Í stað sjaldgæfra og dýrra efna koma gevefni uminn úr algengum hráefnum. Hráefnalindir, eins og sjörinn og loftið, taka við af námun, sem aðeins eru til á einstaka stað.

Sem stendur er orkan ef til vill einna eftirsóknarverðust slíkra auðlinda og það land vel á vegi statts, sem á auðugar orkulindir, en ef vettisorkan verður hagnýt á hagkvæman hátt, er orkugjafinn fyrir hendi í hverjum vatnskranu. Óþarft ætti þá að verða að heyrja fleiri styrjaldir út af yfirráðum yfir olíusvæðum eða kolanámum.

En hvað er það þá, sem einkum verður eftirsótt í framtíðinni? Það er þekkingin. Vísindaleg og teknileg þekking og menn, sem kunna að beita henni. Auðug verður talin sú þjóð, sem á mörgum vel menntuðum vísindamönnum á að skipa, en ekki hin, þar sem gull og ginsteinar liggja í jörðu.

Það er áriðandi fyrir framtíð þessa lands, að sem flestir ungir menn og konur, sem hæfileika hafa til vísindaðlkana, velji þá braut og helgi líf sitt slíku starfi. Að því verður bezt unnið af hálfu hins opinbera með því að veita efnilegum nemendum styrki til vísindanáms, svo að námið verði þeim ekki fjárhagslegur baggi, og með því að skapa þeim vinnuskilyrði að námi loknu.

Sú skoðun, að við Íslendingar höfum ekki ráð á því að leggja okkar skerf til þróunar vísindanna í heiminum, og að hér eigi aðeins rétt á sér rannsóknir, sem miða að því að hagnýta uppgötvanir annarra, þarf að hverfa, og það sem allra fyrst. Af slíkri stefnu leiðir aðeins andlegan kotbúskap, sem orðið getur örлагartkur, einnig á efnahagsviðinu. Til þess að verða hlutgegnir meðal annarra menningarþjóða þarf framlag okkar til náttúruvísinda að fimma- eða tífalda, bæði hvað fjármagn og starfskrafta snertir. Það væri ekki

ÞORBJÖRN SIGURGEIRSSON

Óeðlilegt, að það væri einn af stærri útgjaldaliðum ríkisins. Þeim, sem best þekkja til mála þessara í mörgum löndum, kemur saman um, að varla verði fjármagni ráðstafað á annan arðvænlegri hátt en að leggja það í rannsóknarstarfsemi, svo að hér ætti ekki að vera um neitt áhættusamt fyrirteki að ræða.

Ég þakka svo þeim, sem hlýddu, en bið menn að íhuga, hvern reginmun það gerir í samskiptum þjóða í milli og innan hvers þjóðfélags, ef hinar staðbundnu auðlindir hverfa og hinnar einu sönnu auðsuppsprettu verður að leita í fólkinu sjálfu, þekkingu þess og hæfileikum til þess að hagnýta lögmál náttúrunnar, sem ekki þekkja nein landamæri.

ERNEST HOVMÖLLER

ÞRÓUN OG HAGNÝTT GILDI LOFTLAGSFRÆÐINNAR