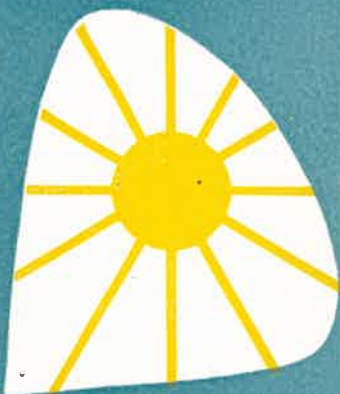


KJARNORKAN Í ÞJÓNUSTU MANNKYNSINS



SÝNING Á VEGUM
UPPLÝSINGAÞJÓNUSTU
BANDARÍKJANNA
OG
RANNSÓKNARÁÐS
RÍKISINS



4.-14. FEBRÚAR 1956

333.7924
Kja

G b

Hagur hvers ríkis og velgengni þegna þess hafa löngum verið háð orkulindum þeim, sem þeir áttu yfir að ráða og gátu notað sér í hag.

Tekjur og orkunotkun haldast enn í hendur, þrátt fyrir gífurlega aukningu í orkunotkun upp á síðkastið.

Í upphafi grundvallaðist iðnbyltingin á gufuvélinni, sem breytti orku kolanna í afl og hagnýta vinnu. Önnur bylting stendur nú fyrir dyrum, þar sem mannkynið er að taka í þjónustu sína orkulind, sem er langtum öflugri en orkulindir þær, sem því hafa áður staðið til boða. Hagnýting kjarnorkunnar opnar áður óþekkta möguleika til hagsælda og velmegunar fyrir mannkynið. Hún færir soltnum brauð, sjúkum bata og örvar til framfara á ótal sviðum.

Þó að leitt sé til þess að vita, hefur athyglin undanfarið einkum beinzt að hernaðarlegri notkun kjarnorkunnar, en skilningur vex nú óðum á því, hve miklu góðu má til leiðar koma með skynsamlegri notkun þessa nýja afls, sem mönnum hefur tekizt að beizla. Sýningu þessari er ætlað að auka skilning þennan og hraða með því þróun þeirri, sem óhjákvæmilega leiðir af almennum skilningi á málefnum þessum. Sýningin fjallar eingöngu um skynsamlega notkun eða hagnýtingu kjarnorkunnar, en notkun hennar í þágu ófriðar og eyðilegginga verður varla kölluð hagnýting.

Allar myndir og aðrir sýningarmunir eru eign Upplýsingaþjónustu Bandaríkjanna, sem sendir sýninguna land úr landi, svo að sem flestir verði fræðslu þessarar aðnjótandi.

Hér er sýningin haldin á vegum Upplýsingaskrifstofu Bandaríkjanna í Reykjavík og Rannsóknarráðs ríkisins.



ORKUPÖRF MANNKYNSINS

Orkunotkun mannkynsins hefur aukizt ótrúlega mikið á seinni tímum, og samfara þeirri aukningu hafa almenn lífsskilyrði stórum batnað. Fyrr á öldum, þegar orkuframleiðslan byggðist á afli manna og dýra, var hún mjög lítil. Það var ekki fyrr en á 18. öld, þegar farið var að nota orku kola og annars eldsneytis til að knýja stórvirkar vélar, að veruleg aukning varð á framleiðslu orku. Þessi aukning hefur farið sívaxandi, svo að nú er orkunotkunin á einum áratug jafnmikil og öll orkunotkun mannkynsins fram til 1750, að ágizkun fróðra manna.

Árið 1952 var orkuframleiðsla heimsins sem svarar 29 þúsund milljónum megavattstunda rafmagns (megavattstund er 1000 kílóvattstundir), en það samsvarar 3,6 þúsund milljónum tonna af kolum eða 1160 tonnum af úraníum—235. Rúmlega 80% var fengið frá eldsneytisbirgðum jarðarinnar, kolum o. s. frv., sem ekki endurnýjast, en það sem eftir er frá vatnsafla o. s. frv. Af allri þessari orku nýttist þó aðeins rúmur þriðjungur, en hitt fór forgörðum. Langmest af þessari orku var notað í hinum iðnþróuðu löndum heimsins. Í Norður-Ameríku voru notuð 36% af orkunni, þó að þar búi aðeins 7% af íbúum jarðarinnar, en í Asíu var notkunin aðeins 13%.

Ómögulegt er að gera nákvæmar áætlanir um orkupörf í framtíðinni, en ef litið er á framleiðslu helztu orkugjafa síðan 1860, er augljóst, að orkupörfin fer ört vaxandi. Sumir telja, að orkupörfin árið 2000 verði um átta sinnum meiri en nú, en þeir, sem varfærnastir eru, gera ráð fyrir fjórfaldri aukningu.

Orkulindir þær, sem fram til þessa hafa verið nýttar, eru kol og fast eldsneyti, olía og gas úr jörðu og vatnsföll.

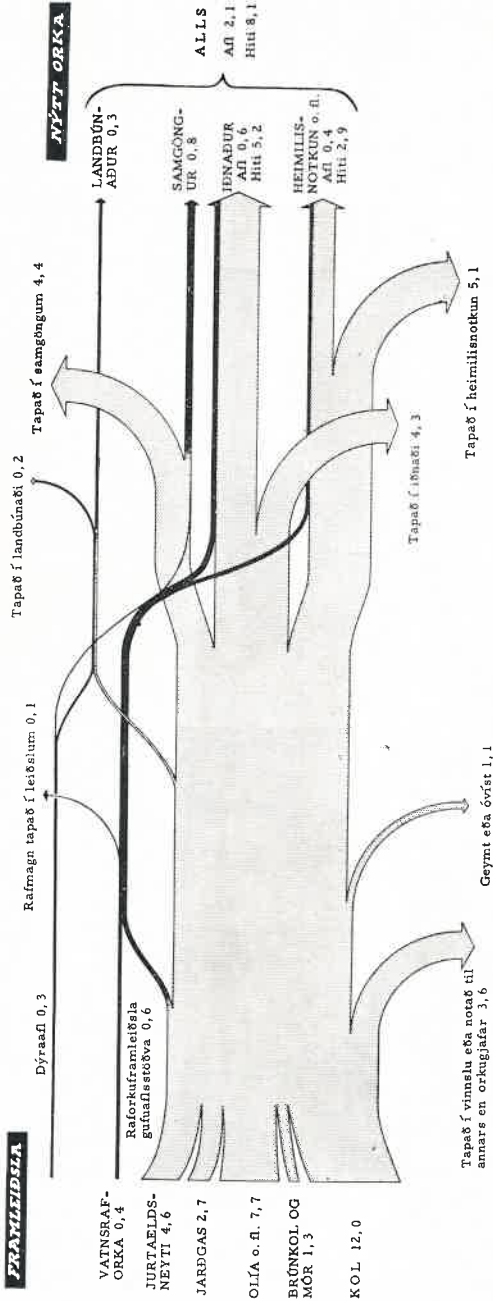
ORKULINDIR OG ORKUNOTKUN HEIMSINS 1952

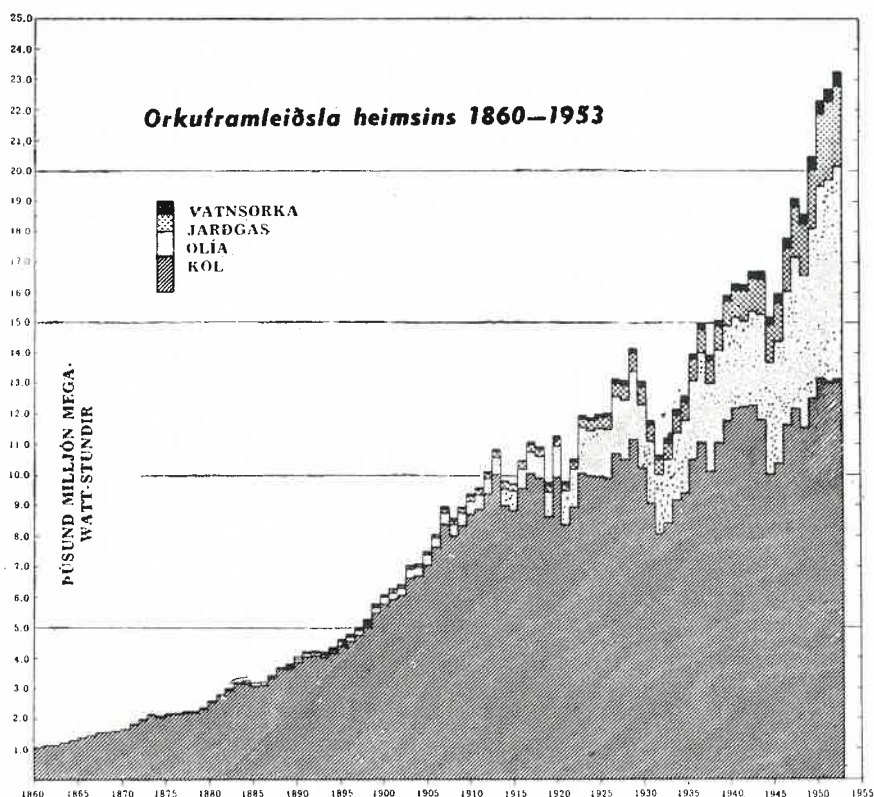
TÖLUR Í ÞÓÐUND MILLJÓN MEGAVATTSTUNDUM RAFMAGNS.

1 megavattstund = $\begin{cases} 1.000 \text{ kílóvattstundir} \\ 125 \text{ kg. af kolum} \\ 851 \text{ kg. olía} \\ 0,04 \text{ gr. af úraníum-235} \end{cases}$

■ Að
□ Hiti

FRAMLISÐLA





Kolabirgðir í jörðinni eru enn mjög miklar, en æ erfiðara og dýrara er að vinna kolin, þegar hagkvæmustu kolalögin eru fullunnin. Þegar almenn lífskjör batna, er einnig erfiðara að fá menn til námuvinnu. Kolaframleiðslan hefur heldur ekki aukizt jafnmikið og orkuþörfin. Árið 1950 fékkst 57% af orkunni frá kolum, en áætlað er, að kol geti ekki fullnægt meira en 25% af orkuþörfinni árið 2000. Kol geta því ekki verið meiri háttar orkulind í meira en eina öld og í sumum löndum enn skemur. Þekktar birgðir af olíu og jarðgasi eru fremur litlar, en nýjar koma þó stöðugt í leitirnar.

Vatnsorka heimsins hefur tiltölulega lítið verið hagnýtt fram til þessa. Mikill hluti hennar er á afskekktum stöðum, t. d. inni í Mið-Afríku, en það gerir hagnýtingu hennar auðvitað óhagkvæmari. Rafmagn frá hagstæðum vatnsvirkjunum er það ódýrasta, sem völ er á,

svo að mikil áherzla verður lögð á ýrustu nýtingu vatnsorku, en hún er þó takmörkuð.

Það er því ljóst, að hinar venjulegu orkulindir geta ekki fullnægt aukinni orkuþörf mannkynsins um langan aldur enn og nægja ekki til að skapa íbúum þeirra landa, sem eru enn vanþróuð, sömu lífsskilyrði og íbúum í hinum þróuðu löndum heims. Ef ekki kæmu nýjar orkulindir, hlyti að draga úr framþróuninni og siðmenningunni, sem ein-kennist af hinni geysimiklu orkunotkun, mundi hnigna. En nú er fundin ný orkulind, atómkjarninn.

KJARNORKA OG HAGNÝTING HENNA

Atómkjarninn er settur saman úr tvenns konar ögnum, prótönnum, sem hlaðnar eru pösítífu rafmagni, og nevtrönnum, sem eru óhlaðnar. Kjarnar hvers frumefnis hafa ákveðinn fjölda prótóna, en fjöldi nevtróna getur verið breytilegur. Kjarni vetnisatóms hefur eina prótónu, en getur haft enga, eina eða tvær nevtrónur. Af vetni eru því til þrír svokallaðir ísótópar, venjulegt vetni með einni prótónu og engri nevtrónu, þungt vetni með einni prótónu og einni nevtrónu og þríþungt vetni með einni prótónu og tveim nevtrönnum.

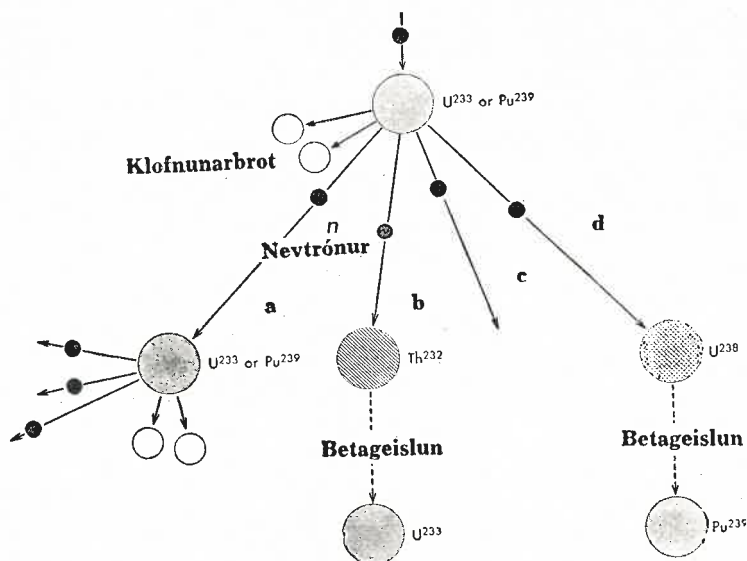
Úraníumkjarnar hafa 92 prótónur, en geta haft 146, 143 eða 141 nevtrónu. Samanlagður fjöldi agnanna í kjarnanum, sem kall-aður er massatala hans, er þá 238, 235 og 233 fyrir þessa kjarna. Þessir úraníum ísótópar eru aðgreindir með því að tilgreina massatölu þeirra, þ. e. úraníum-238, úraníum-235 og úraníum-233. Nevtrónur og prótónur eru jafnþungar, svo að massatalan gefur líka til kynna þunga kjarnans með þunga prótónu eða nevtrónu sem einingu.

Milli prótónanna í kjarnanum virka fráhrindandi rafkraftar. Ef ekki væru aðrir kraftar milli agnanna í kjarnanum, mundi hann sundrast. Þeir aðdráttarkraftar, sem halda kjarnanum saman, hinir eiginlegu kjarnkraftar, virka jafnt milli allra agna, prótóna og nevtróna. Kjarnkröftunum svipar til samloðunarkrafta þeirra, sem halda vökva saman, en eru miklu sterkari. Það má því líta á kjarnann sem vökva-dropa. Alveg eins og tveir litlir vökva-dropar samlagast í einn stærri, ef þeir snertast, renna tveir kjarnar saman og mynda einn stærri kjarna, ef þeir ná að snertast. Við þetta losnar geysimikil orka. Á þessum sam-

runa byggist orka sólarinnar og vetnissprengjunnar. Það, sem yfirleitt hindrar, að kjarnarnir snertist og renni saman, er, að þeir eru hlaðnir rafmagni og hrinda því hvor öðrum frá sér. Léttir kjarnar, sem innihalda fáar prótónur og hafa því litla rafhleðslu, geta þó runnið saman, ef hitastigið er um milljón gráður. Þetta háa hitastig, sem með þarf, gerir það miklum erfiðleikum bundið að hagnýta þessa orku til friðsamlegra nota. Stöðugt er unnið að rannsóknnum á þessu vandamáli, og álit þeirra manna, sem við þær fást, er, að það sé leysanlegt, þó að þeir vilji ekki tilgreina ákveðinn tíma, sem það taki.

Þungir kjarnar innihalda margar prótónur, t. d. hefur úraníumkjarninn 92 prótónur, en léttasti kjarninn, vetniskjarninn, hefur aðeins eina. Í þungum kjörnum gætir því hinna fráhrindandi rafkrafta mjög mikið. Sumir þeirra, eins og kjarni úraníum-235 ísótópsins, þurfa litla röskun, til að þeir klofni í tvo smærri kjarna. Ef nevtróna hittir slíkan kjarna, raskar hún honum nægilega til þess, að hann klofnar. Við þessa klofnun losnar einnig geysimikil orka. Við klofnun eins úraníumkjarna kemur fram mörgum milljón sinnum meiri orka en frá einu atómi við bruna kola. Jafnframt koma fram nevtrónur, 2–3 við hverja klofnun. Þessar nevtrónur geta svo klofið nýja kjarna, og á örskömmum tíma getur feikilegur fjöldi kjarna klofnað. Þessari keðjuklofnun er hægt að stjórna með því að láta sérstök efni gleypa í sig meira eða minna af þeim nevtrónum, sem fram koma við klofnanir. Á slíkum klofnunum byggist orka atómsprengjunnar og þeirra kjarnorkuvera, sem nú eru fyrirhuguð.

Ekki geta allir þungir kjarnar klofnað jafnauðveldlega. Úraníum-235 ísótópurinn er kjarnkleyfur með hægfara og orkulitlum nevtrónum, en úraníum-238 ísótópurinn ekki. Í venjulegu úraníum er aðeins 0,7% af úraníum-235, en 99,3%, af úraníum-238. Mjög erfitt og dýrt er að skilja þessa ísótópa að til að fá hreint úraníum-235. Ef úraníum-238 er með úraníum-235, tekur það ekki þátt í keðjuklofnuninni. Það getur þó tekið í sig nevtrónu, en klofnar ekki. Í stað þess breytist það í annað efni, plútóníum, sem er kjarnkleyft eins og úraníum-235. Enn eitt kjarnkleyft efni er úraníum-233. Af þessum þrem kjarnkleyfu efnum er aðeins U-235 til í náttúrunni. Plútóníum myndast úr U-238, þegar það tekur í sig nevtrónu, og U-233 á sama hátt úr þóríum-232, en það efni er til í náttúrunni.



Skýringarmynd til að sýna, hvernig hægt er að framleiða jafnmikið af eldsneyti og brennt er. Efst hittir nevtróna U—233 eða plútóníum kjarna. Fram koma 2—3 nevtrónur. Ein viðheldur keðjuklofnuninni með því að kljúfa sams konar kjarna (sjá a). Önnur hittir U—238 kjarna, sem breytist í plútóníum (sjá d), eða þóríum—232 kjarna, sem breytist í U—233 (sjá b). Eitthvað af nevtrónum glatast (sjá c).

Ef U—238 eða þóríum—232 er haft með kjarnkleyfu efni, geta þau tekið í sig eitthvað af þeim nevtrónum, sem fram koma við klofnun, og á þann hátt myndast nýir kleyfir kjarnar í stað þeirra, sem klofna, þ. e. nýtt eldsneyti myndast um leið og öðru er brennt. Sú spurning vaknar, hvort hægt sé að framleiða jafnmikið eða jafnvel meira af eldsneyti en brennt er við keðjuklofnunina. Skilyrði til þess er, að við hverja klofnun komi fram meira en tvær nevtrónur, því að eina þarf til að kljúfa nýjan kjarna og halda þannig við keðjuklofnuninni og aðra til að mynda nýjan kleyfan kjarna úr U—238 eða þóríum—232. Eitthvað af nevtrónum glatast, svo að meira en tvær þurfa að koma fram við hverja klofnun. Nú vill svo vel til, að nevtrónurnar eru 2—2,75 að meðaltali, mismunandi eftir því, hvert kjarnkleyfa efnið er og eftir hraða nevtrónanna, sem valda klofnun. Það er því mögulegt að framleiða meira eldsneyti en brennt er.

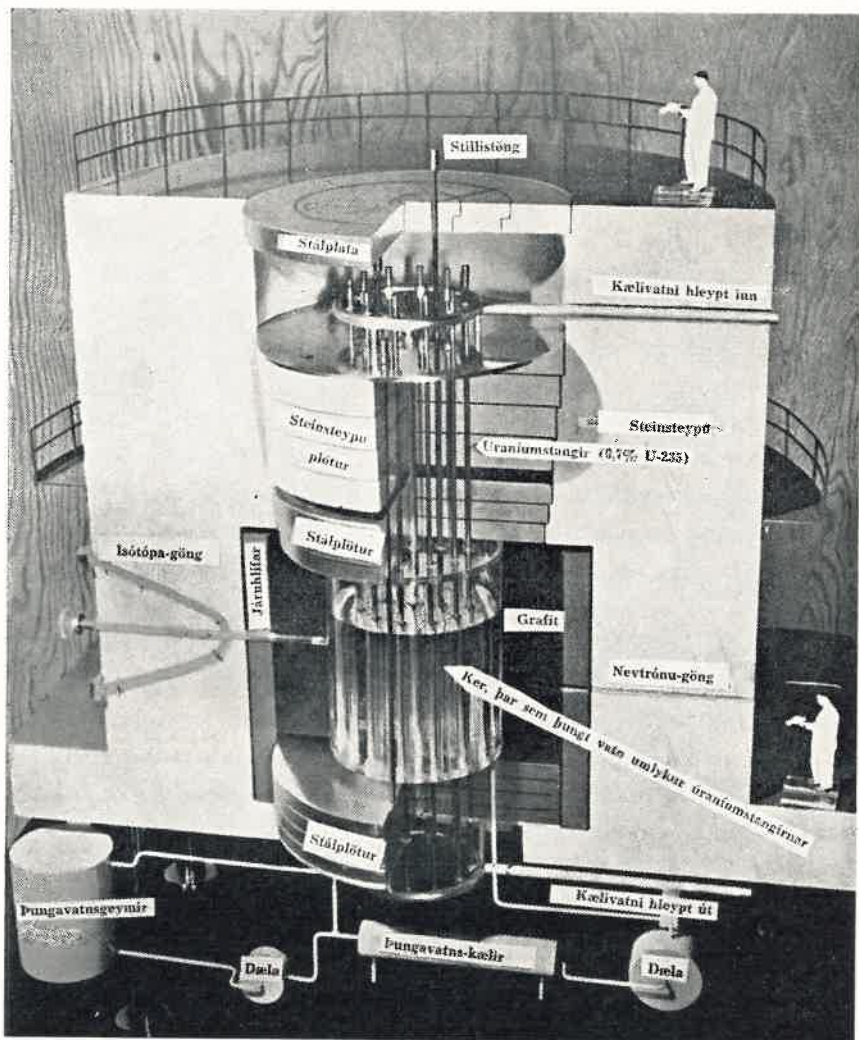
Í kjarnorkuofnum fer fram keðjuklofnun, sem fullkomin stjórn er á. Þeir geta verið margs konar. Sumar gerðir nota hægfara nevtrónur til

að viðhalda keðjuklofnuninni, en aðrar hraðfara. Algengari eru þeir kjarnorkuofnar, sem nota hægfara nevtrónur. Eldsneyti þeirra þarf ekki að vera hreint kjarnkleyft efni, heldur má nota jafnvel venjulegt úraníum, sem inniheldur aðeins 0,7% af hinu kjarnkleyfa U-235. Þeir, sem nota hraðfara nevtrónur, þurfa hins vegar nærri hreint kjarnkleyft efni.

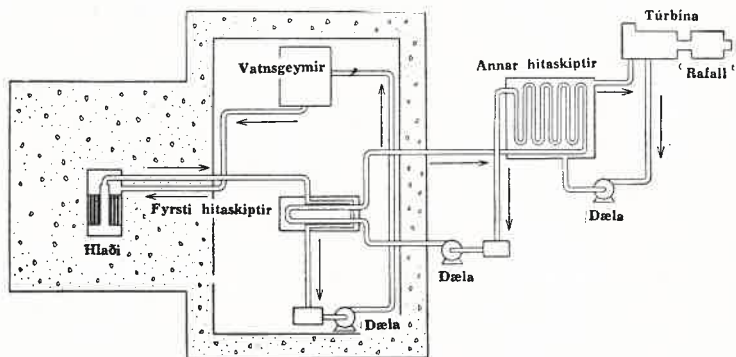
Þær nevtrónur, sem fram koma við klofnun, eru hraðfara. Í kjarnorkuofnum, sem nota hægfara nevtrónur, þarf því að hægja á þeim. Til þess er kjarnkleyfa efnið, sem venjulega er haft í stöngum, umlukt efni, svokölluðum hægi, sem hefur það hlutverk að hægja á nevtrónunum. Þær rekast á kjarna hægisins og missa við það ferð. Hægir þarf að vera þannig, að hann hægi sem bezt á nevtrónunum, en til þess þurfa kjarnar hans að vera sem léttastir, en auk þess má hann ekki gleypa í sig of mikið af nevtrónum frá keðjuklofnuninni. Bezti hægir, sem völ er á, er þungt vatn, en það er sett saman úr súrefni og þungu vetni á sama hátt og venjulegt vatn úr súrefni og venjulegu vetni. Þungi vetniskjarninn er nógu léttur til að hægja mjög vel á nevtrónunum og hefur mjög litla tilhneigingu til að gleypa í sig nevtrónur. Venjulegi vetniskjarninn hefur hins vegar mjög mikla tilhneigingu til þess. Eldsneytisstöngunum er stungið í hæginn. Nevtrónurnar komast út í hann, hægja á sér og lenda svo aftur inn í stöng, þar sem þær geta valdið klofnun. Keðjuklofnuninni er stjórnað á þann hátt, að stöng úr efni, sem gleypir auðveldlega í sig nevtrónur, t. d. bór eða kadmíum, er stungið inn í hlaðann með eldsneytinu og hæginum. Ef henni er stungið langt inn, dregur hún nevtrónur frá keðjuklofnuninni, svo að hún minnkar, en sé stöngin dregin út, eykst hún. Í hlaðanum er auðvitað sægur af nevtrónum á sveimi. Kjarnbrotin, sem kjarninn klofnar í, eru mjög geislavirk. Frá hlaðanum koma því hættulegir geislar, og þess vegna er hann umluktur þykkum varnarveggjum úr steinsteypu.

Orkan, sem leysist við klofnun, kemur fram sem hiti. Með stilli-stönginni er hægt að stjórna orkuframleiðslunni eða hitaframleiðslunni í hlaðanum. Í gegnum hlaðann er dælt kælivökva eða kælilofti. Kælirinn hitnar, og þann hita, sem hann flytur frá hlaðanum, er hægt að nota til að framleiða gufu, sem knýr gufutúrbínu og rafal, sem framleiðir rafmagn.

Fram að þessu hafa flestir kjarnorkuofnar verið notaðir til margs



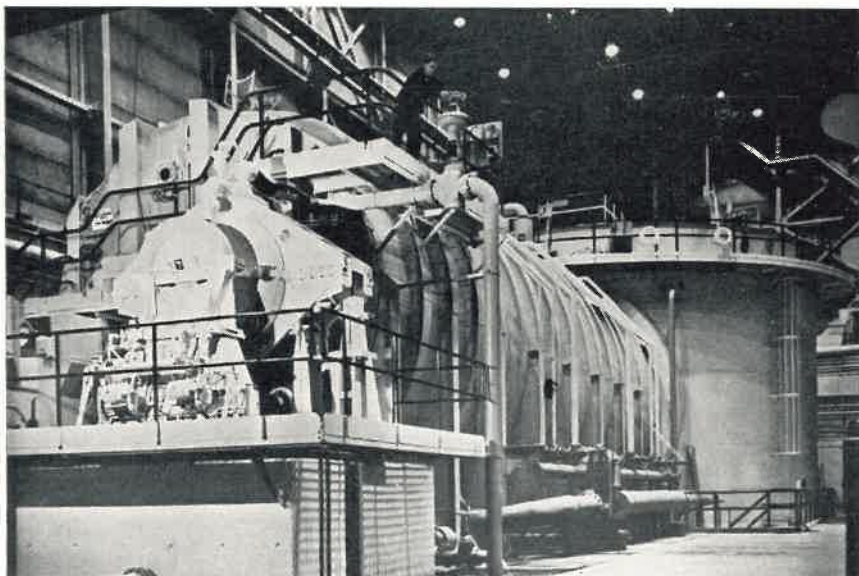
Líkan af kanadískum kjarnorkuofni. Eldsneytisstangirnar standa í kerri með þungu vatni, en það er til þess að hægja á nevtrónunum, sem fram koma við klofnaðir inni í stöngunum. Grafít, sem umlykur kerðið, endurkastar nevtrónum inn í hlaðann. Stíllistöngin, sem stendur upp úr, er notuð til að stjórna orkuframleiðslunni í hlaðanum. Kælivatnið rennur gegnum hlaðann um eldsneytisstangirnar. Steinsteypan stöðvar geislana frá hlaðanum, en í gegnum hana eru göng til að koma efnum, sem gera á geislavirk, inn í hlaðann. Út um neutrónugöngin er hægt að fá nevtrónur frá hlaðanum til rannsókna á áhrifum þeirra.



Þessi kjarnorkuofn notar hraðfara nevtrónur til að viðhalda keðjuklofnuninni. Fljótandi natríum er notað sem kæli. Í fyrstu hringrásinni er natríum dælt í gegnum hlaðann og svo í gegnum fyrsta hitaskiptinn, þar sem það gefur frá sér hita, sem það fékk í hlaðanum. Í hitaskiptinum hitnar þá natríumið í annarri hringrásinni. Það fer svo gegnum annan hitaskipti, þar sem vatni í þriðju hringrásinni er breytt í gufu. Gufan knýr túrbínuna, en hún snýr rafalnum, sem framleiðir rafmagn. Tvær natríum hringrásir eru notaðar, því að natríumið í fyrstu hringrásinni, sem fer gegnum hlaðann, verður mjög geislavirkt. Steinsteypuveggur umlykur hlaðann og fyrstu hringrásina. Ef plútóníum er notað sem eldsneyti og úraníum—238 er haft kringum það, getur ofninn framleitt úr U—238 um 50% meira af plútóníum en hann brennir.

konar rannsóknna eða til framleiðslu kjarnkleyfra efna. Nú er mikil áherzla lögð á smíði kjarnorkuofna til aflvinnslu.

Bretar hafa um nokkurra ára skeið notað hita frá kjarnorkuofni í Harwell til upphitunar húsa. Á þessu ári tekur til starfa í Bretlandi kjarnorkuver, sem framleiðir yfir 50.000 kw rafmagns. (Sogstöðin framleiðir tæp 50.000 kw). Rússar hafa starfrækt síðan í júní 1954 litla rafstöð knúna kjarnorku, og hefur hún gefið svo vel, að þeir ætla að byggja á næstu árum stöðvar af sömu gerð, sem framleiða um 100.000 kw rafmagns hver. Bandaríkjamenn hafa þegar smíðað og tekið í notkun fyrsta kjarnorkuknúða skipið, kaþbátinn Nautilus. Árið 1957 verður fullgerð í Bandaríkjunum 60.000 kw rafstöð knúin kjarnorku. Eftir þessum fyrstu kjarnorkustöðvum koma fljótlega endurbættar stöðvar, svo að eftir 5 ár verða líklega a. m. k. 10 rafstöðvar knúnar kjarnorku starfandi víðs vegar í heiminum, og geta sumar framleitt um 200.000 kw rafmagns.

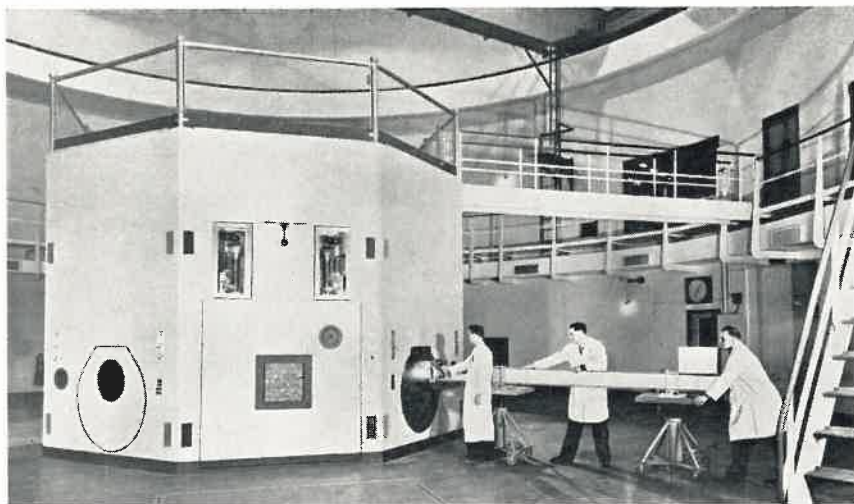


Þessi kjarnorkuvél er af sömu gerð og sú, sem knýr kafbátinn Nautilus, fyrsta kjarnorkuknúða skipið.

Allar verða þessar stöðvar að sumu leyti tilraunastöðvar, sem veita mikilvæga reynslu við starfrækslu kjarnorkuvera og gera mögulegan samanburð á mismunandi tegundum stöðva. Næstu 10 árin verður lagður grundvöllur að því, að kjarnorkan geti endanlega orðið aðalorkulind heimsins.

Rafmagn frá kjarnorkuverum verður dýrara en frá hagstæðum vatns-
virkjunum og ekki ódýrara en frá kola- eða olíukyntum rafstöðvum næstu 10 árin. Stofnkostnaður er 50–100% meiri en fyrir kolakýntar stöðvar, en eldsneytiskostnaður er miklu minni, og jafnvel geta orðið tekjur af eldsneyti, ef meira er framleitt í kjarnorkuofninum en brennt er. Útlit er fyrir, að stofnkostnaður kjarnorkuvera minnki mikið, svo að rafmagn frá þeim verði ódýrara en frá kola- og olíurafstöðvum eftir um 15 ár. Í mörgum löndum er þó kostnaðarhliðin ekki það, sem mestu máli skiptir, heldur það að fá nýja orkulind.

Eitt aðalverkefnið við endurbætur á kjarnorkuofnum er að auka það orkumagn, sem hægt er að fá úr úraníum og þóríum. Í fyrstu stöðvunum fæst líklega jafnmikil hitaorka úr einu tonni af úraníum



Kjarnorkuofn til framleiðslu geislavirkra efna. Verið er að koma ýmsum efnum fyrir inni í ofninum til nevtrónugeislunar.

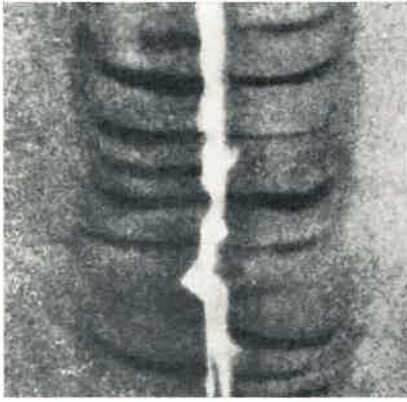
og 10.000 tonnum af kolum, en með endurbótum má búast við, að eitt tonn af úraníum jafngildi milljón tonnum af kolum.

Birgðir af úraníum og þóríum eru nægar fyrir öra aukningu í hagnýtingu kjarnorkunnar. Auðunnar birgðir hafa verið áætlaðar um 25 milljón tonn, en það mundi nægja mannkyninu í margar aldir. Þær nægja áreiðanlega til að uppfylla allar þarfir, þar til tekizt hefur að beizla þá orku, sem fæst við samruna léttu frumefna, en þá er fengin nær ótæmandi orkulind.

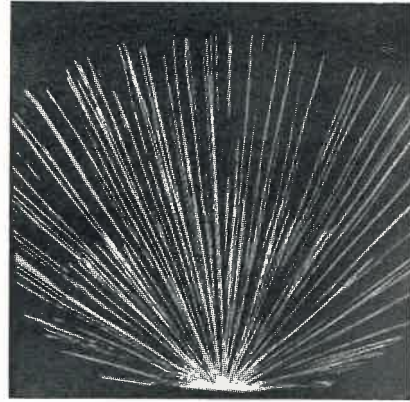
FRAMLEIÐSLA GEISLAVIRKRA EFNA

Geislavirka ísótópa af næstum því öllum frumefnum má framleiða með því að láta efnin verða fyrir nevtrónum í kjarnorkuofninum. Nevtróna, sem rekst á atómkjarna, sogast venjulega inn í kjarnann og myndar þá nýjan kjarna, sem tilheyrir sama frumefni, en er einni einingu þyngri en kjarni sá, sem fyrir var. Oft eru hinir nýju kjarnar geislavirkir.

Geislavirkir ísótópar myndast einnig við kjarnklofnun, þar sem úraníum eða plútoníumkjarni klofnar í tvennit. Við það myndast tveir meðalþungir kjarnar, sem hvor um sig eru venjulega geislavirkir fyrst



Gammageislamynd af logsuðu sýnir galla, sem ekki er sýnilegur berum augum.



Brautir afla-agna frá þóríum gerðar sýnilegar sem þokurákir.

í stað. Þeir senda frá sér elektrónur, en við það breytist ein nevtróna kjarnans í prótónu. Oft nægir ekki að senda út eina elektrónu, heldur þurfa margar nevtrónur að breytast í prótónur, áður en myndast hefur varanlegur atómkjarni. Þannig getur komið fram heil röð af geislavirkum ísótópum, sem myndast hver af öðrum.

Við kjarnklofnun myndast mikill fjöldi geislavirkra ísótópa, en þeir eru ekki eins auðveldir aðgöngu og þeir, sem myndast við beina nevtrónugeislun. Þeim er ekki hægt að ná, fyrr en eldsneytið er tekið úr kjarnorkuofninum, og verður þá að skilja þá frá því með efna greiningu í efnaverksmiðjum, þar sem enginn maður kemur nærri og öll áhöld og tæki eru fjarstýrð.

KJARNGEISLAR

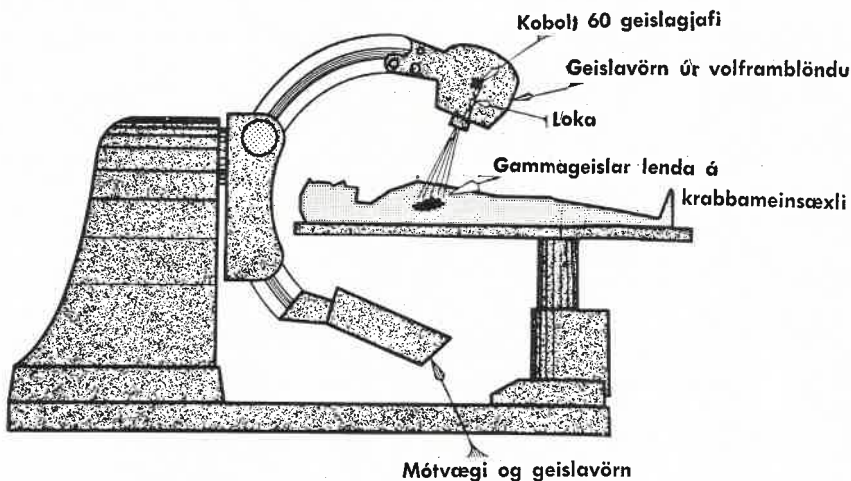
Kjarnar hinna geislavirku efna senda aðallega frá sér þrjár gerðir geisla, svokallaða alfa-, og gammageisla. Þó að öllum sé þeim gefið nafnið geislar, eru þó alfa- og betageislarnir í raun og veru agnir, sem kjarnarnir senda frá sér. Alfaagnirnar eru kjarnar frumefnisins helíum, en betaagnirnar eru elektrónur, en geta verið hvort sem er pósítífar eða negatífar, eins og þær, sem leiða rafstrauminn eftir málmpæði. Alfaeislarnir draga yfirleitt mjög skammt. Þeir komast ekki 10 sentimetrar í lofti og stöðvast af þunnu pappírsblaði. Betageislarnir geta komizt nokkra metra í lofti, en stöðvast af fárra millimetra þykkri



Geiger-teljari notaður við að mæla kjarngeislun frá kanínu, sem fengið hefur skammt af geislavirku efni.

málþlötu. Gammageislarnir eru hins vegar sama eðlis og ljósið og röntgengeislar. Þeir eru þó yfirleitt langdrægari en röntgengeislar og komast jafnvel í gegnum málmveggi, sem eru margir tugir sentimetra að þykkt.

Geislavirkir atómkjarnar senda ekki stöðut frá sér geislun, heldur aðeins einu sinni hver kjarni. Með því er lokið lífi kjarnans á því tilverustigi, sem hann áður var á, því að eftir það tilheyrir hann öðru frumefni. Hátterni hinna geislavirku atómkjarna er mjög duttlungafullt. Þeir liggja og bæra ekki á sér í langan tíma, þar til allt í einu að þeir senda frá sér geisla og breytast þar með í kjarna annars frum-



Tæki til geislunar meinsemda í líkamanum með gammageislum.

efnis. Ef litið er á ákveðinn atómkjarna, er ómögulegt að segja fyrir, hvenær þetta muni gerast, og engin orsök verður fundin fyrir því, að það gerist á neinum ákveðnum tíma, en ef um mikinn fjölda geislavirkra atómkjarna af sömu gerð er að ræða, er útgeislunin, þrátt fyrir allt, mjög reglubundin. Kjarnar hvers ísótóps hafa sína meðalævi, og geislunin frá ákveðnu geislavirku efni helmingast á vissum tíma, sem kallast helmingunartíminn. Hann er mjög breytilegur, allt frá broti úr sekúndu upp í þúsundir milljóna ára, eftir því, hvaða ísótópur á í hlut.

NOTKUN GEISLAVIRKRA ÍSÓTÓPA.

Notkun geislavirkra ísótópa er mjög fjölbætt og opnar stöðugt nýjar brautir í margs konar rannsóknum, í læknavísindum, í iðnaði og í landbúnaði.

Notkun geislavirkra efna er einkum tvenns konar. Annars vegar er bein notkun kjarngeislanna, svo sem við geislun meinsemda í líkamanum, myndataka með gammageislum, gerilsneyðing matvæla og framköllun nýrra afbrigða nytjajurta með geislun.

Hins vegar er notkun, sem aðeins byggir á kjarngeislunum til þess að segja til, hvar hið geislavirka efni er á hverjum tíma. Geislavirkir ísótópar hvers frumefnis hafa sömu efnafræðilega eiginleika og

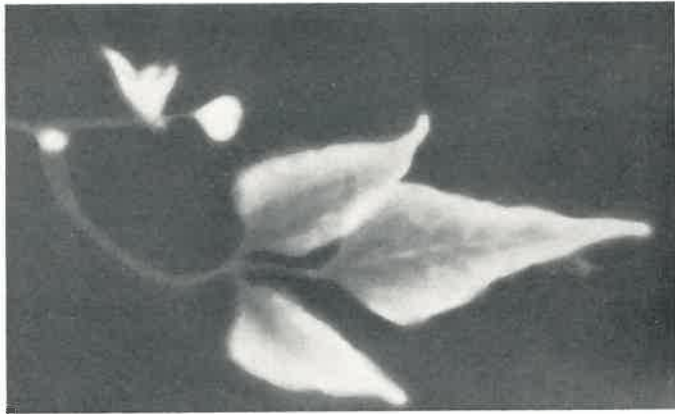


Mæling á geislun frá geislavirku jöði, sem sett hefur að í skjaldkirtlinum. Geislajöð er notað til rannsókna á krabbameini í skjaldkirtli og dreifingu þess þaðan út um líkamann.

varanlegir ísótópar þess. Á þá má líta sem merkt atóm, sem fylgja öðrum atómum frumefnisins, hvar sem þau fara. Þannig má fylgjast með hreyfingu hinna ýmsu frumefna í jurtum og dýrum og kanna hegðun þeirra í hinum flóknustu efnabreytingum. Hér er um að ræða sömu aðferð og þegar smalin festir bjöllu við horn nokkurra kinda til þess að geta fylgzt betur með hreyfingum hjarðar sinnar. Merkisberarnir meðal atómanna hafa opnað leiðir til úrlausnar ótal viðfangsefna, sem áður var vonlaust að fást við, og auðveldað úrlausn annarra viðfangsefna og gert niðurstöðurnar öruggari. Læknar telja geislavirka ísótópa öflugasta hjálparmeðal, sem læknavísindunum hefur hlotnast, síðan smásjáin kom til sögunnar.

Hér skulu aðeins nefnd fáein dæmi:

Með notkun geislavirkra efna hefur tekizt að mæla, hve lengi hin ýmsu efni staldra við í líkamanum, og fengizt hefur sú merkilega



Betageislamynd sýnir, hvar geislavirk næringarefni hafa sett að í jurtinni. Myndin er tekin með því að láta jurtina liggja nokkrar klukkustundir á ljósmyndaplötu.

niðurstaða, að í líkama okkar sé nú lítið af því efni, sem þar var fyrir einu ári, en annað nýtt er komið í staðinn.

Ýmsar sjúkdómagreiningar verða auðveldari með notkun geislavirkra ísótópa.

Áburðartilraunir verða mun auðveldari, ef notaðir eru geislavirkir ísótópar, og hægt er að fylgjast nákvæmlega með því, hvernig næringarefnin berast um jurtirnar. Á sama hátt má finna, hvar næringin sezt að í líkama dýra og manna. Geislavirk efni eru sérstaklega handhæg, þegar rannsaka skal háttalag hinna svokölluðu sporefna, sem dýr og jurtir þarfnast aðeins í mjög litlu magni, en eru þó nauðsynleg fyrir líf þeirra og heilsu.

Í iðnaði eru merkt atóm notuð á ýmsan hátt, svo sem við athugun á sliti í legum og hjólbörðum, í málmiðnaðinum, við tilbúning flókinnar efnasambanda og margt fleira.

Kjarngeislun í stórum skömmtum er hættuleg öllum lifandi verum. Kjarnorkuofnar eru umluktir þykkum veggjum til þess að stöðva geislunina, og við vinnu með geislavirk efni verður að gera fullnægjandi ráðstafanir til þess, að starfsfólk verði ekki fyrir hættulegri geislun. Næm mælitæki, svo sem Geiger-teljarar, eru notuð til þess að fylgjast með og tryggja, að geislunarskammtur sá, sem hver fær, fari ekki fram úr því marki, sem öruggt er talið, að engin skaðleg áhrif hafi.

Svo að segja öll sú orka, sem mannkynið hefur notað fram á þennan dag, á rætur sínar að rekja til sólarljóssins, en það, sem heldur sólinni heitri, eru kjarnbreytingar, sem gerast nálægt miðju hennar. Hér er um að ræða samruna léttu atómkjarna, en um leið og þeir renna saman, losnar mikil orka, sem breytist í hita. Þannig er öll sú orka, sem við notum, í raun og veru kjarnorka í umbreyttri mynd. Með smíði kjarnorkuvera er sólinni sleppt sem millilið í orkuvinnslunni. Frum-orkugjafinn, sjálfar kjarnbreytingarnar, er því fluttur frá sólinni til jarðarinnar.

Ekki er ólíklegt, að beizlun kjarnorkunnar reynist, þegar frá líður, álíka afdrifaríkt skref og þegar maðurinn fyrst tók eldinn í sína þjónustu, eða þegar hann fyrst tók að hagnýta sér vélaaflið. Öruggt má teljast, að beizlun kjarnorkunnar hafi tryggt mannkyninu nægar orkubirgðir um ófyrirsjáanlega framtíð og þannig tryggt möguleika á áframhaldandi hækkandi menningarstigi, en þó má vel vera, að auknar rannsóknir og vísindaiðkanir, sem byggjast á notkun hinna geislavirku efna, reynist engu minni lyftistöng fyrir menningu vora heldur en hin óþrjótandi orka atómkjarnans.