

GEOREAKTOR

1. Sissejuhatus

USA geofüüsik J. Marvin Herndon tuli 2003.a. välja väitega, et sügaval Maa sees on looduslik tuumareaktor, kus U^{235} lõhestub, andes neutroneid, mis neelduvad U^{238} tuumades, muutes selle Pu^{239} -ks. See on just see reaktsioonide ahel, mida kasutavad paljud tuumareaktorid aatomielektrejaamades ja mille tulemuseks on palju kergemaid tuumi. Parima näitena on siin tegu He^3 -ga ja üheks faktiks, mis Herndoni arvates selliste reaktsioonide olemasolu kinnitab, on He^3 ja He^4 mõõdetud suhe noortes laava basaltides Islandil ja Havail, kus see suhe on ligi 37 korda suurem kui atmosfääris (He^3 saab tekkida vaid tuumareaktsioonides).

Neis reaktsioonides vabanenud soojusenergia hoiab Herndoni arvates käigus Maa magnetvälja.

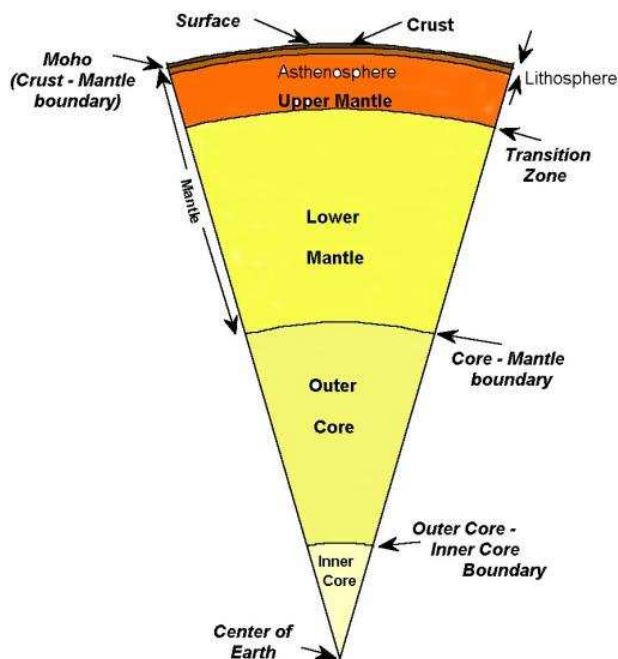
Enamus geofüüsikuid kirtsutavad Herndoni jutu peale nina ja peavad teda kergelt nihkunuks, kuid on ka tema toetajaid. Seega jääb tulevikule kohtuniku roll.

2. Natuke Maa siseehitusest

Enne kui me Herndoni hüpoteesi lähemalt vaatama hakkame, oleks meil vaja teha väike ja kiire ülevaade Maa siseehitusest.

Selle kohta saame me andmeid ennekõike maavärinate tekitatud seismilisi laineid uurides. Maavärinad tekitavad põhiliselt kaht tüüpi laineid: **P-laineid** ehk rõhu või primaarseid laineid, mis on võimelised liikuma nii vedelikes kui tahkistes ja on pikilained; ja **S-laineid** ehk nihke- (shear) või sekundaarseid laineid, mis levivad vaid tahkistes ja on ristlained. Veel tuntakse Love'i ja Rayleigh' laineid.

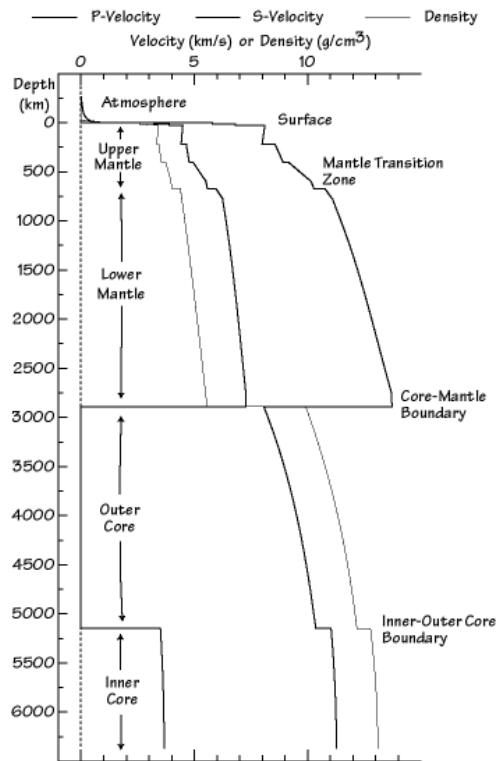
Kuna nende lainete kiirused ja teed sõltuvad keskkonnast, kus nad levivad, siis nende registreerimine võimaldab seismoloogidel kaardistada Maa seesmust. Näiteks piirkondades, kus mõõdetakse ainult P-laineid, siis S-lainete puudumine ütleb, et kusagil vahepeal laine teel on vedelikku. Edasi, piirpindadel toimub refraktsioon (analoogiliselt valgusega), mille tõttu tekivad **varjutsoonid**, kus kumbagi lainetüüpi ei registreerita.



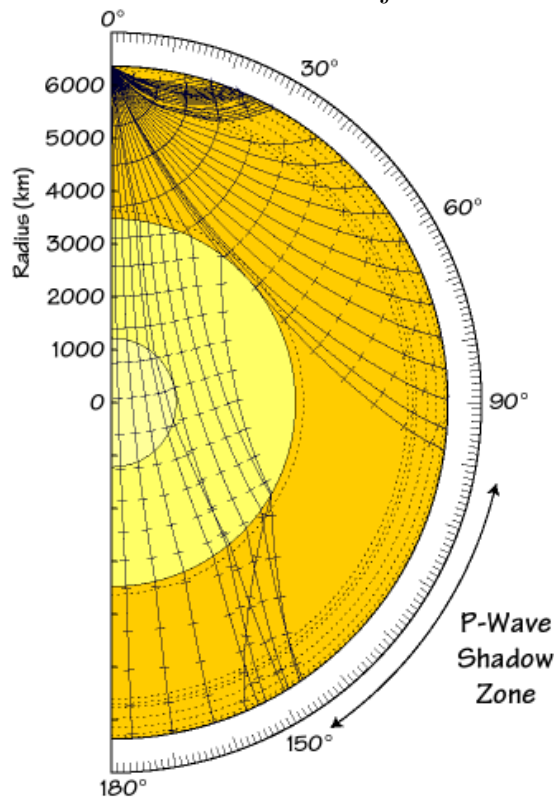
Joonis 1. Maa siseehitus (skeem ole skaalas).

Nii saabki andmeid Maa seesmuse kohta, nagu **maakoore** paksus, tahke **sisemine tuum**, sulas olekus **välimine tuum** ja paks **mantel**.

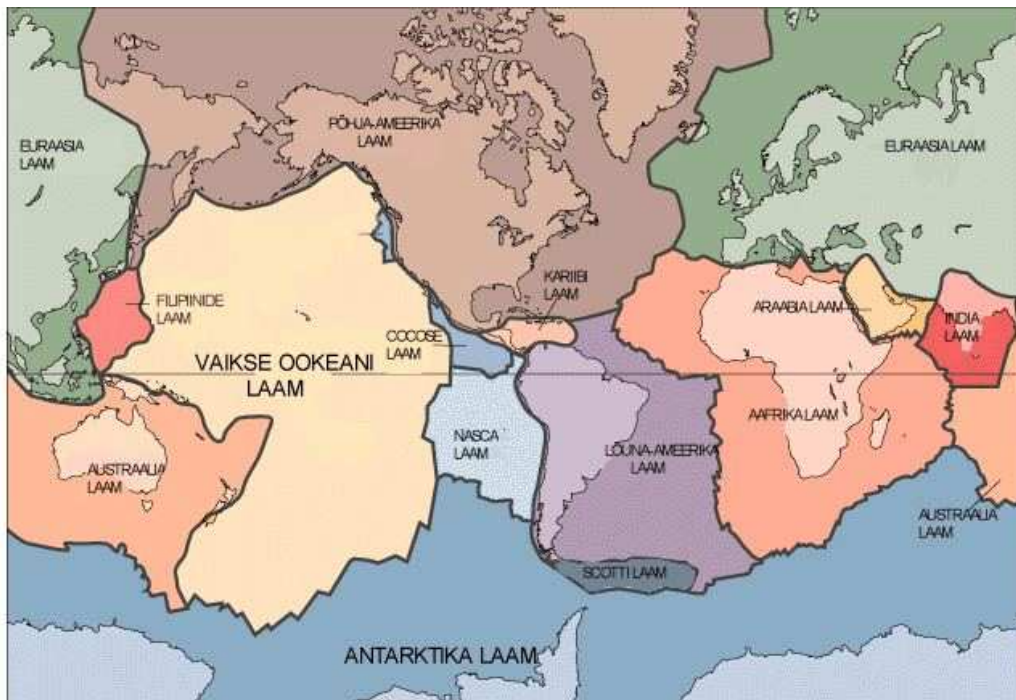
P-lainete käitumine välises tuumas näitab, et seal on tegu raua ja nikliga. See sobib faktiga, et Maa keskmine tihedus on 5.514 g cm^{-3} , mis on suurem kui Maa pinna kivimite tihedus (ca 3) ja vee tihedus (1). Kõrge temperatuuri ja keemilise koostise tulemusena on välimine tuum vedel. Sisemine tuum on tahkestunud kohutavalt suurte rõhkude tõttu. Maa tektoonilise aktiivsuse põhjus on ilmselt Maa dünaamilises seesmuses (vt joonis 2). Maa pealmine kiht, mida kutsutakse **litosfääriks**, haarab enda alla nii kontinentide kui ookeanialuse koore, samuti ka mantli välise osa. Litosfäär on murdunud **maakoore laamadeks**, mis ujuvad konvektiivse, mõnevõrra plastilise **astenosfääri** peal, mis on samuti osa mantlist. Kui laamad ujuvad Maa pinnal, siis sõidavad nad üksteisele sisse või hõõruvad üksteise vastu, kandes kontinente. Nende liikumiste tõttu Atlandi ookean laieneb kiirusega 3 cm aastas. Atlandi ookeani keskosas olev mäestik, kus aine sügavusest tõuseb pinnale, tekitades uue merepõhja, kui kontinendid eralduvad.



Joonis 2. Seismiliste lainete leviku kiirus ja Maa tihedus vs sügavus.

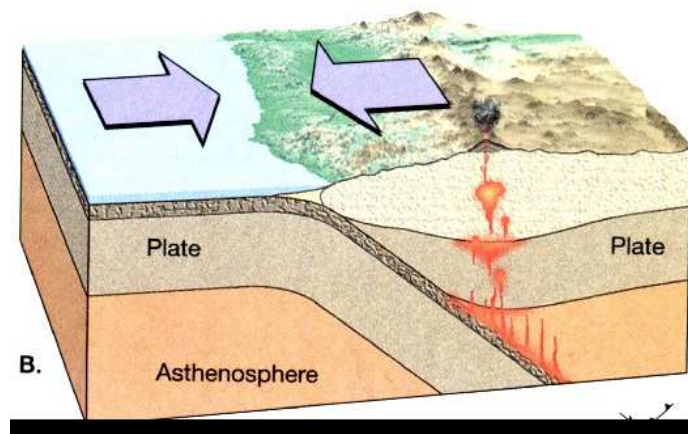


Joonis 3. P-lainete levimine Maa seesmuses.



Joonis 4. Maakoore laamad, mis ujuvad astenosfääri peal.

Laamade ääred on aktiivse vulkaanilise tegevuse, mägede tekke ja sagedaste maavärinate kohad. Kui kaks laamat põrkuvad, siis kergem sõidab raskema peale ja areneb **subduktsiooni tsoon**, nagu on näha joonisel (4)



Joonis 5. Subduktsioon.

Kõik see aktiivsus nõuab energiat. On teada, et soojusenergia lahkub maailmaruumi Maa pinna kaudu kiirusega 4×10^{20} ergi sekundis, ehk siis 78 ergi ruutsentimeetrilt sekundis. Kui ainus energiaallikas oleks soojus, mis jäi alles planeedi tekkimisest 4.5

miljardit aastat tagasi, siis plaatide aktiivsus oleks ammu lõppenud. Teised allikad peavad energiat andma, nagu pöörlemise kineetilise energia hajumine või võimalik gravitatsiooniline separatsioon, kus rasked koostisosad langevad Maa tsentri poole ja vabastavad potentsiaalset energiat, aga samuti ka ebastabiilsete isotoopide pidev lagunemine (mis arvatavasti on peamine energiaallikas). See lubab Maa seesmusel olla mõnevõrra plastiline.

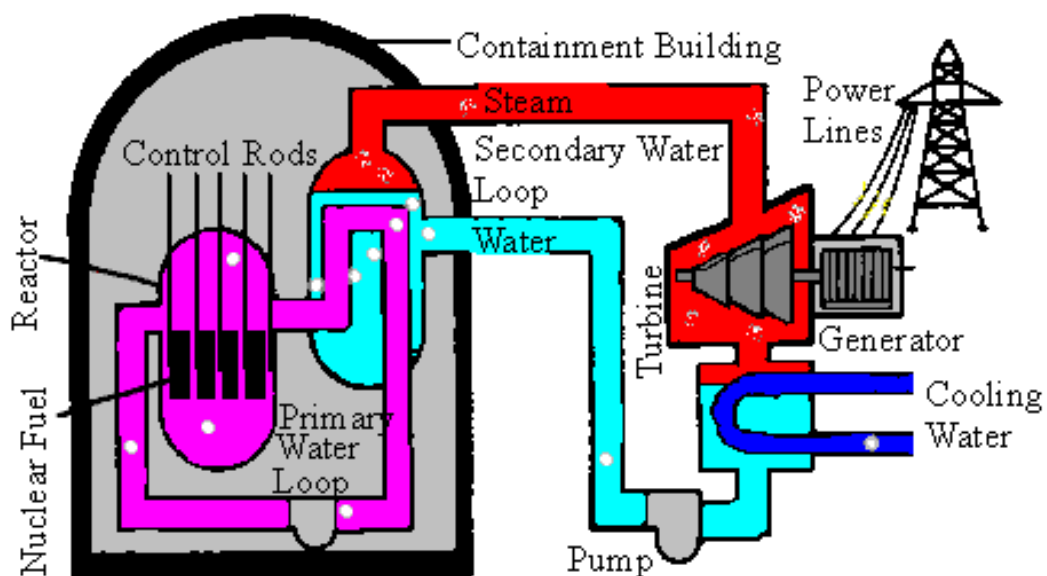
Oletades, et dünamo-protsess on käigus, siis sula raud-nikkel välistuum koos Maa suhteliselt kiire pöörlemisega on kooskõlas sellega, et Maal on magnetväli.

Selline on praegune kanooniline pilt Maa siseehitusest.

3. Tuumareaktorid

Ettekande pealkirja esimene pool “geo” on meil selge, nüüd läheme teise poole kallale ja anname sama lühikese ja sama kiire ülevaate tuumareaktoritest. Tuumareaktoreid on kasutamise otstarbe kohaselt kolme tüüpi:

1. Tsiviilreaktorid, mis toodavad elektrienergiat ja mõnikord ka auru elamute kütteks;
2. Militaarsed reaktorid, mis toodavad materjale aatomirelvade tegemiseks;
3. Uurimisreaktorid, mida kasutatakse tuumafüüsika eksperimentideks, radioisotoopide tootmiseks teadusuuringute ja meditsiini tarbeks, tuumajaamade personali väljaõppeks, aga samuti ka energia- ja relvatehnoloogia arendamiseks.



Joonis 6. Tuumaelektrijaama skeem.

Basic Characteristics of Reactor Types

Note: Table is in two parts.

Types of Nuclear Reactors - Table 1 ([Table 2 is below.](#))

Reactor Type	Light Water Reactor (LWR)		Heavy Water Reactor (HWR)
	a. Boiling Water Reactor	b. Pressurized Water Reactor (PWR)	
Purpose ¹	electricity	electricity; nuclear powered ships (U.S.)	electricity; plutonium production
Coolant Type	water (H ₂ O)	water	heavy water (deuterium oxide, D ₂ O)
Moderator Type	water	water	heavy water
Fuel -- Chemical Composition ²	uranium-dioxide (UO ₂)	uranium-dioxide	uranium-dioxide or metal
Fuel - Enrichment Level ³	low-enriched	low-enriched	natural uranium (not enriched)
Comments	steam generated inside the reactor goes directly to the turbine	steam is generated outside the reactor in a secondary heat transfer loop	used in Canada: called "CANDU" - "Canadian Deuterium Uranium;" Also used in Savannah River Site reactors (metal fuel at SRS)

Types of Nuclear Reactors - Table 2

Reactor Type	Graphite Moderated Reactor		Fast Breeder Reactor (FBR) Liquid Metal (LMFBR) (most common type of breeder)
	a. Gas Cooled	b. Water Cooled	
Purpose ¹	electricity; plutonium production	electricity; plutonium production	electricity; plutonium production
Coolant Type	gas (carbon dioxide or helium)	water	molten, liquid sodium
Moderator Type	graphite	graphite	not required
Fuel -- Chemical Composition ²	uranium dicarbide (UC ₂) or uranium metal	uranium dioxide (RBMK) or metal (N-reactor)	plutonium dioxide and uranium dioxide in various arrangements
Fuel - Enrichment Level ³	slightly-enriched, natural uranium	slightly-enriched	various mixtures of plutonium-239 and uranium-235
Comments	used in Britain, and France (e.g.: AGR, MAGNOX)	used in former Soviet Union, e.g. Chernobyl (RBMK); N-reactor at Hanford.	breeder reactors are designed to produce more fissile material than they consume. Monju; Phenix

Source: Lamarsh, John, *Introduction to Nuclear Engineering*, (Reading, MA: Addison-Wesley publishing Co., 1983), 120-143.



Institute for Energy and Environmental Research

Comments to [Outreach Coordinator](#)
Takoma Park, Maryland, USA

Revised May 9, 1996

4. Looduslik reaktor

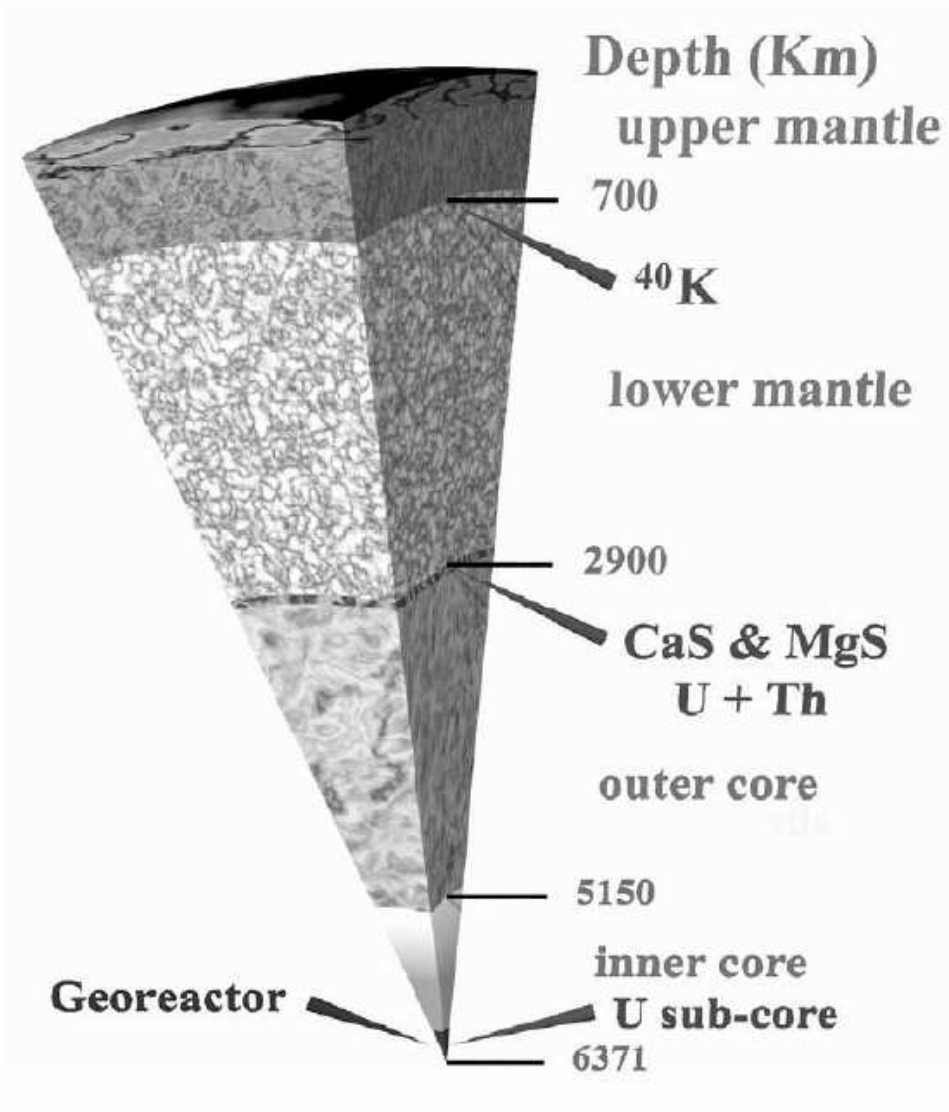
Kindlust oma väitele sai Herndon ka sellest, et looduslik reaktor on olnud olemas. Kui Prantsuse füüsik Francis Perrin 1972.a. analüüsis uraaniproove Oklost (Gabon, Ekvatoriaal-Aafrika), siis leidis ta, et nendes proovides oli U^{235} kaks korda vähem, kui oleks pidanud olema. Samasugune isotoopide suhe on ka tänapäeval töötavate reaktorite lõppproduktides.



Joonis 8. Loodusliku reaktori asukoht Oklos (Gabon).

Looduses (uraanimaakides, meteoriitides, Kuu kivimites) on U^{238} 99.3% ja U^{235} 0.7%. Iga teistsugune suhe tähendab mingit muud protsessi kui lihtne radioaktiivne lagunemine.

Oklo deposiitide vanuseks rehkendati 1.7 miljardit aastat ja siis oli seal U^{235} kontsentratsioon umbes 3% kogu uraanist. See on küllaldane tuumareaktsioonide alguseks, kui



Joonis 8. Lõige Maast Herndoni järgi.

muud tingimused on sobivad.

Ja kõige tähtsam tingimus on siin vee olemasolu. Vesi aeglustas neutroneid, nii et nad suutsid teisi tuumi lõhestada. Ilma veeta oleks neutronite kiirus liiga suur olnud ja tuumareaktsioonid poleks alanud. Kui reaktsiooni tulemusena tekkinud kuumus vee aurustas, siis reaktsioon lõppes ja kui uus vesi peale imbus, algas kõik jälle otsast peale. Teadlaste arvates kestis selline “on-off” reaktsioon üle miljoni aasta. Päris lõpp tuli siis, kui U^{235} kontsentratsioon nii väikeseks sai, et reaktsioon enam ei toimunud.

Ent jääkproduktid jäid peidetuks sügavale graniidi, liivakivi ja savi alla. Pluutoonium

oli nihkunud umbes 3 meetrit tekkekohast - pea kahe miljardi aastaga! See annab häid ideid tänapäeva tuumajääkide matmiseks.

5. Georeaktor

Teatavasti tulid Hahn ja Strassmann juba 1939.a. välja ideega tuumalõhestumisest. Veel samal aastal (!) spekuleeris Flügge mõttega, et iseenast alalhoidev ahelreaktsioon võis toimuda looduslikus uraanimaagis. Kasutades Fermi tuumareaktori teooriat, näitas Kuroda 1956. aastal, et paksudes uraanimaagi kihtides võivad olla toimunud tuumareaktsioonid umbes kaks miljardit aastat tagasi, kui U^{235} kontsentratsioon oli märksa suurem. 1992. aastal väitis seesama Herndon, et lõhestumise tuumareaktsioonid võivad olla hiidplaneetide energiaallikaks, sest need kiirgavad välja rohkem energiat, kui Päikeselt saavad.

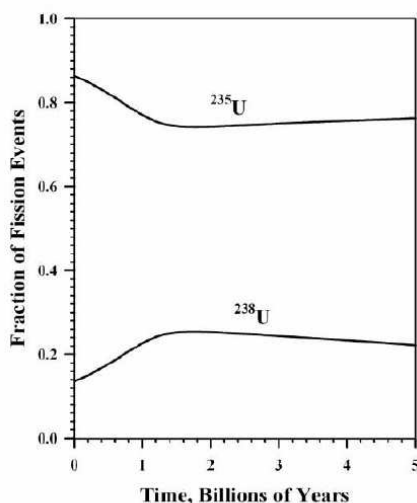


Figure 2. Fraction of fission events of the major fissioning species as a function of time in the 30 TW numerical simulation. Similar results were obtained in the 4 TW simulation.

Joonis 9. Lõhestumiste osakaal aja funktsioonina.

Alates 1993. aastast propageerib Herndon järjekindlalt ideed, et Maakera tsentri lähedal on umbes 8 km-se diameetriga kera, kus toimuvad tuumareaktsioonid. Need reaktsioonid on geomagnetilise välja põhiline energiaallikas, aga samuti ka täiendav energiaallikas geodünaamilistele protsessidele. Kui tavalises reaktoris jäävad lõhestumisproduktid kütuseelementidesse, pikapeale nii elemente “mürgitades” nii et need tulevad asendada uutega, siis georeaktoris lõhestusproduktid, mis keskelt läbi on kaks korda kergemad kui ematum, tõusevad selles väga tihedas keskkonnas kõrgemale

Table 1. Statistics of $^3\text{He}/^4\text{He}$ relative to air (R_A) of basalts from along the global spreading ridge system at a 2-SD (2σ) confidence level

Propagating lithospheric tears	$11.75 \pm 5.13 R_A$
Manus Basin	$10.67 \pm 3.36 R_A$
New rifts	$10.01 \pm 4.67 R_A$
Continental rifts or narrow oceans	$9.93 \pm 5.18 R_A$
South Atlantic seamounts	$9.77 \pm 1.40 R_A$
Mid-Ocean Ridge Basalt	$8.58 \pm 1.81 R_A$
EM Islands	$7.89 \pm 3.63 R_A$
North Chile Rise	$7.78 \pm 0.24 R_A$
Ridge abandoned islands	$7.10 \pm 2.44 R_A$
South Chile Rise	$6.88 \pm 1.72 R_A$
Central Atlantic Islands	$6.65 \pm 1.28 R_A$
HIMU Islands	$6.38 \pm 0.94 R_A$
Abandoned ridges	$6.08 \pm 1.80 R_A$

Joonis 10. He^3 ja He^4 suhe erinevates basaltides.

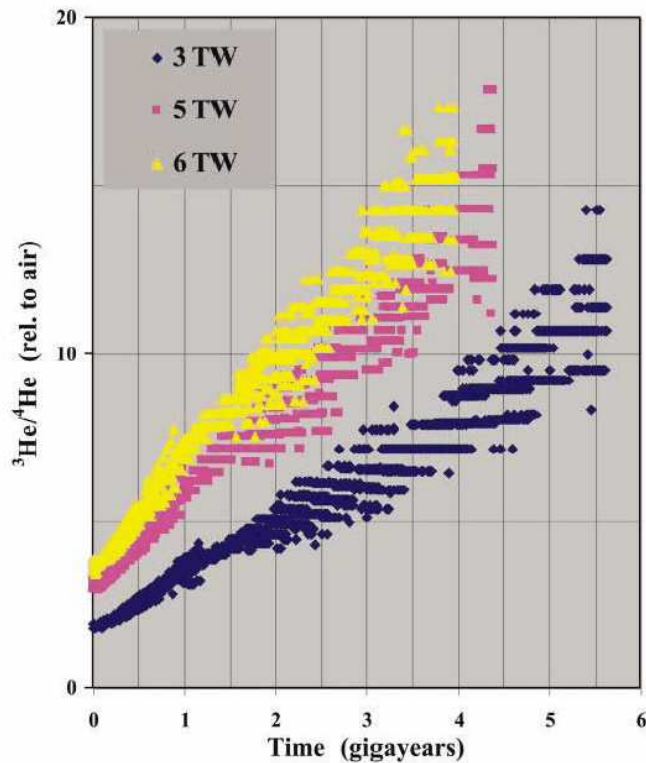
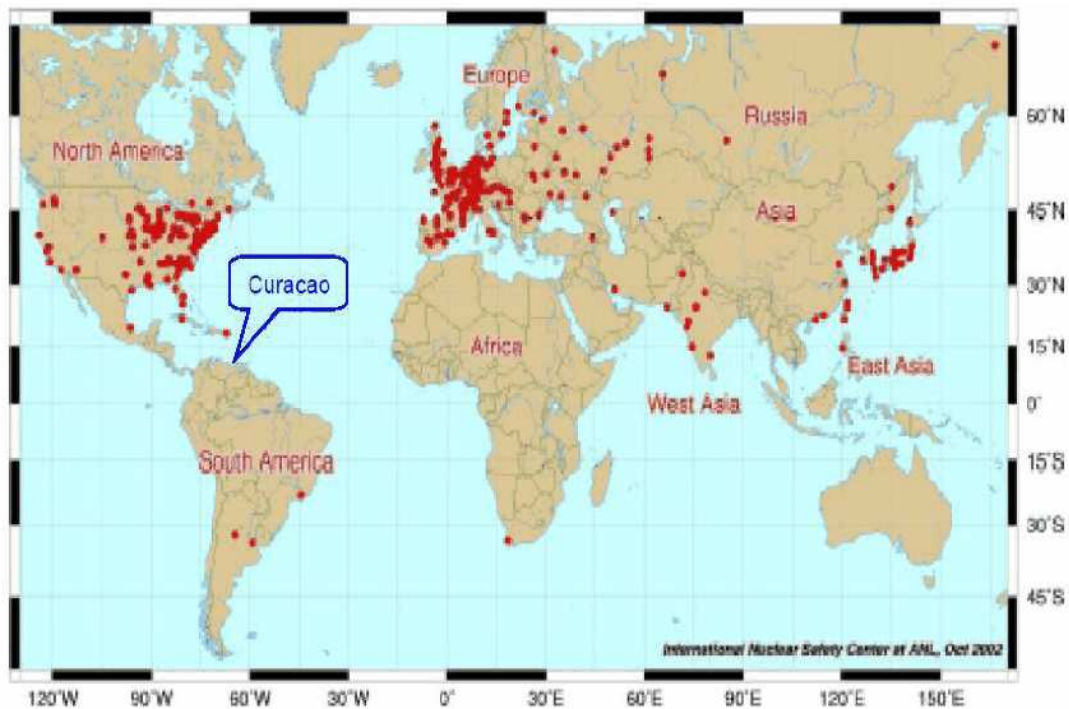


Fig. 1. Nuclear reactor numerical simulation results for three power levels showing the $^3\text{He}/^4\text{He}$ R_A s produced during 2×10^6 -year increments over the lifetime of the georeactor. Each data point represents the ratio of the ^3He and ^4He fission yields for a single time step. The pronounced upward trend of the data results from the continuing reduction of ^{238}U , the principle source of ^4He , by decay and breeding.

Joonis 11. He^3 ja He^4 suhe töötavas georeaktoris (mudel).



Joonis 12. Aatomielektijaamade paiknemine Maal.

ega mürgita reaktorit.

2001. aastal publitseerisid Hollenbach ja Herndon tulemused Maa-sisese tuumareaktori modelleerimise kohta. Modelleerimine ise toimus Oak Ridge'i Riiklikus Laboratooriumis. Tulemused kinnitasid Herndoni hüpoteesi ja demonstreerisid, et sellise protsessi tulemusena tekivad tõepoolest He^3 ja He^4 palju kõrgemas kontsentratsioonis kui praegu Maa atmosfääris mõõdetakse.

1969. aastal olid Clarke ja teised avastanud, et He^3 ja He^4 imuvad välja Maa seesmusest. Mandritevahelistest lõhedest ookeanipõhjas vabanenud heeliumis on suhe He^3/He^4 umbes 8 korda suurem kui Maa atmosfääris. Islandi laava basaltides on see suhe kuni 37! Uraani looduslik radioaktiivne lagunemine annab küll He^4 , aga mitte He^3 . Geofüüsikud on mitu aastakümnet asjatult otsinud protsesse Maa sügavuses, mis He^3 annaks. Ja nii kuulutatigi lõpuks, et see He^3 on seal kogu aeg olnud, olles jäänud lõksu sügavale mantlisse, kui Maa alles tekkis. Kuid ürgse He^3 ja He^4 suhe saab olla umbes sama, mis praegu Maa atmosfääris, sest nii järgneb meteoriitide uurimisest.

Viimased modelleerimised on näidanud, et maksimaalne võimsus, mida georeaktor sai arendada, oli 30 TW, kuid suure tõenäosusega ei ole georeaktori võimsus praegu suurem kui 4 TW. Tänapäeval annab U^{235} 70% georeaktori võimsusest ja U^{238} 23% ning et toorium ei saa georeaktori enda kütuseks olla ega seda ei saa ka kütuseks muundada.

Ühtlasi on nii modelleerimised kui kõrged He^3 ja He^4 suhted näidanud, et georeaktori tööaeg hakkab lõppema, kuid täpset lõpuaega ei saa veel öelda - see võib toimuda saja aasta või saja miljoni aasta pärast, aga kindel on see, et see tööaeg kunagi lõpeb. Herndon arvab, et kui saaks mõõta Be^9 ja Be^{10} suhet Maa tuumas, siis saaks georeaktori töö lõppemise aega palju täpsemalt määrata.

Kui georeaktor sureb, siis sureb ka geomagnetiline väli. Erinevalt aga varasematest kordadest, kui selline asi juhtus, hakkas georeaktor jälle tööle. Kuid nüüd see võimalus puudub, sest kütuse kontsentratsioon muutub liiga väikeseks.

Mida toob aga kaasa Maa magnetvälja kadumine? Esimene mõte on see, et kompassi enam kasutada ei saa. See on aga tühine häda, sest tänapäeval kasutavad kompassi vaid matkajad. Igas tõsisel kohas on tegu gürokompassidega ja nende tööks Maa magnetvälja vaja ei lähe.

Kaugelt hullem on see, et siis pääsevad laetud osakesed ilma erilise takistuseta Maa pinnani igas selle punktis (positiivse nähtusena võib ära märkida, et virmalisi võib siis ka ekvaatoril näha). Kuidas aga geomagnetiline väli mitmesuguseid protsesse Maal mõjutab, seda kõike me sugugi ei tea.

Kuidas suhtutakse Herndoni hüpoteesi (sest teooriaks oleks seda natuke palju nimetada)? Mitut moodi, enamasti muidugi vaenulikult, nagu ikka igasse uude või teistmoodi ideesse. On ka toetajaid, näiteks H.S. Yoder, Carnegie instituudi endine geofüüsika labori juhataja. Ka D.L. Anderson, Caltechi geofüüsik, kes enda kohta ütleb, et ta vaatab asju laiemalt. Aga isegi tema ei suuda leppida Herndoni prohvetlusega Maa magnetvälja kadumise kohta.

Nüüd vaatame, millised on Herndoni hüpoteesi lähtekohad. Tavaliselt arvavad geofüüsikud, et Maa tekkis umbes 4.5 miljardit aastat tagasi kollapsil vabanenud tulelõõsas, kus oli esindatud kogu Mendelejevi tabel. Siiani on kõik ühel meelel, kuid edasi algavad lahkkelid. Kanooniline geofüüsika arvab, et raud ja nikkel vajusid alla, võttes kaasa kõik need elemendid, mis raua ja nikliga kombineeruvad. Ülejäänud vähene hulk, nagu uraan, ühines hapnikuga ja jäi Maa mantlisse ja koorde. Kanoonilised teadlased kasutavad tavalisi meteoriitide mudelina, kuid Herndon valis kaunis harva esineva tüübi - enstaatilise kondriidi, mis vähe hapnikku sisaldab ja ütles, et hapnikku ei jätkunud kogu uraani oksüdeerimiseks ning uraan väga raske elemendina vajus Maa tuumasse.

R.B. Cathcart arvab, et Maa tekkimise käigus planetesimaalidelt saadud löögid soodustasid tuumade lähenemist ja tuumareaktsioonide algamist.

Kui Herndoni hüpotees on õige, siis võime teha sammukese kaugemale ja oletada, et metallirikastes prototähtedes võib samuti looduslik ahelreaktsioon toimuda. See võib isegi

olla tuumade ühinemisreaktsioonide triggermehhanismiks. Ja nii tuleks kogu tähtede tekkimise teooria ümber kirjutada. Seda enam, et on olnud kahtlusi, kas gravitatsioon suudab aine kokku suruda nii, et temperatuur tõuseks vähemalt miljoni kelvinini - sest nii palju on vaja ühinemisreaktsioonide süttimiseks. Kiirgus viib ju energiat efektiivselt minema võrdeliselt temperatuuri neljanda astmega?

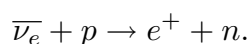
Seega siis võime arvata, et kui prototähel pole lõhustuvate ainete kriitilist massi, termotuumareaktsioonid ei saa alata. Astronoomid ongi tähele pannud, et tumedat ainet leidub rohkesti just nende tähtede juures, mis on metallidest vaesed.

6. Tõestusvõimalused

Peab ju olema mingi võimalus kas Herndoni teooria ümber lükata või au sisse tõsta? Esimesena taipas üht sellist võimalust R.S. Raghavan 2002. aastal. Ta arvas, et teatud tingimustel saaks georeaktoris tekkinud antineutriinosid avastada, kui kasutada massiivseid stsintillatsioonidetektoreid. Asi on selles, et tavalise β -lagunemise puhul on antineutriino energia 2-3 MeV ja tuumalagunemise puhul kuni 10 MeV.

Raghavan näitas, et georeaktori antineutriino signaalist 40% tuleb Maakoorest umbes 450 km sügavuselt, 70% tuleb 1200 km sügavuselt ja 90% umbes 6000 km sügavuselt. Seega on georeaktori antineutriinode avastamise seadmete mõõtmise tundlikkus suuresti mõjutatud teiste tuntud antineutriinode allikate paigutusest Maal - see on ennekõike tuumaelektrijaamade asukohtadest. Ja et projektil peaks olema suunatudlikkus.

Antineutriinode avastamise tehnika on täiesti olemas. Füüsikud soovivad kasutada reaktsiooni



Signaali saab kätte termaliseerunud neutroni signaalist mõnikümmend mikrosekundit hiljem, kui neutroni on haaranud aromaatse vedela stsintillaatori vesinik.

Olemasolevad neutriinoobservatooriumid Gran Sasso (Itaalia) ja Kamiokandes (Jaapan) on liiga lähedal tuumaelektrijaamade reaktoritele. Sama lugu, kuigi veidi väiksema fooniga, on Baksanis Venemaal.

Georeaktor võimsusega 3 - 10 TW annab Maakera pinnal neutriinovooks $\Phi(\bar{\nu}_e) \approx 3 \times 10^5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mis on ainult suurusjärg suurem detektori rehkendatud foonist $\approx 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Seega on georeaktori antineutriinode avastamine võimalik, kui vaid aatomielektrijaamade foon mõne tuhande kilomeetri raadiuses oleks võimalikult madal. Sobivad kohad oleksid Havai, Aleudid ja Antillid, eriti Curaçao, sest seal on tuuma

ja mantli piiril pluum. Proovide analüüs on näidanud, et basalt on seal rohkem kui 10 korda madalama K, Th ja U sisaldusega. Curaçao on enam kui 1000 km eemal

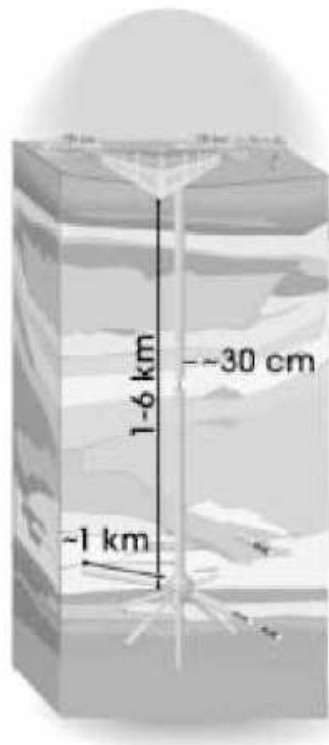


Figure 5. Schematic presentation for an underground antenna for antineutrinos. The ultimate depth of the main shaft and the length of the secondary shaft will be determined on the basis of tests of the directionality and the efficiency of the prototype detectors.

Joonis 13. Curaçao antineutriinoteleskoobi antenn (projekt).

Florida tuumajaamast, seega laboratooriumi ehitamine maa alla pluumi sisse antineutriino avastamiseks võiks kõne alla tulla. Raskusi hakkab valmistama kõrge temperatuur laava läheduse tõttu. Kuna Curaçao on saar, siis saab tuumaenergia abil liikuvate laevadega suhteliselt lihtsalt kalibreerida detektorit ja selle suunatundlikkust. Hollandlased võtavad asja tõsiselt, sest eelmise aasta lõpus ilmunud artiklis väidavad Groningeni Ülikooli Tuumafüüsikaliste Kiirendite Instituudi töötajad R.J de Meijer,

E.R. van der Graaf ja K.P. Jungman, et detektori prototüüp projekteeritakse ja ehitatakse, ning et neile meeldib, kui seda projekti nimetatakse CURACAO (Curaçao Underground Research Arena for Core Antineutrino Observations).

7. Lõpetuseks

See oli lühike ülevaade georeaktori ideest, mis lahendab mitu rasket probleemi, kuid mis ise toob teisest uksest teisi raskeid probleeme juurde, nii nagu asjalood teaduses sageli ongi. Kahtlemata on õige kogu selle hüpoteesi kohta öelda Jaan Peldi onupoja sõnadega: “See võib nii olla, aga see võib ka nii mitte olla!”

Üks on aga täiesti kindel - aeg näitab, kellel on õigus.

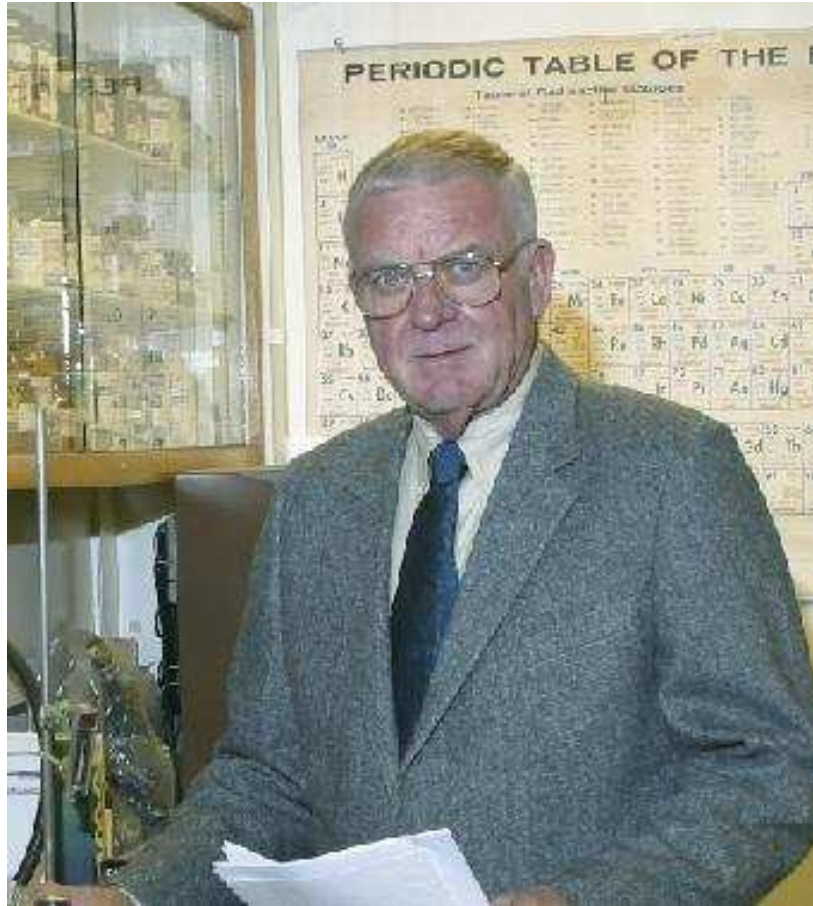
Tänuavaldus

Selle ettekande koostamisel aitasid mind tublisti minu head kolleegid Enn Realo, kelle käest ma esmakordselt georeaktorist üldse kuulsin; Jaan Pelt, kes oma vägeva programmiga illustratsioone $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ile söödavaks tegi ja Rein Vaikmäe, kes mulle geoloogilisi termineid selgitas. Suur tänu neile!

Minu noor kolleeg Anti Hirv käis mulle visalt peale, et ma üldse siin seminaris esineksin. Tänu temale tean ma nüüd üht-teist georeaktorist. Ja teie teate ka.

Kasutatud kirjandus

1. R.S. Baghavan, Detecting a Nuclear Fission Reactor at the Center of the Earth, [hep-ex/0208038].
2. R.B. Cathcart, On Initial Aggregation/Ignition of J.M. Herndons Earth Georeactor, http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/Herndon_Cathcart.html
3. J.M. Herndon, Nuclear georeactor origin of oceanic basalt He^3/He^4 , evidence, and implications, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 100, No 6, pp. 3047-3050.
4. J.M. Herndon, D.A. Edgerley, Background for Terrestrial Antineutrino Investigations: Radionuclide Distribution, Georeactor Fission Events, and Boundary Conditions on Fission Power Production, [hep-ph/0501216], 2005.
5. R.J. de Meijer, E.R. van der Graaf and K.P. Jungman, Quest for a nuclear georeactor, submitted to Nuclear Physics News International, 2004.
6. Terrestrial Neutrinos, http://www.nu.to.infn.it/Terrestrial_Neutrinos/.



USA geofüüsik J. Marvin Herndon.

REEDEL, 13.05.2005