

## INTERNE DE LA TERO.

(Inside the earth.)

de D-ro E. C. BULLARD, F.R.S., la estro de la (Brita)

Nacia Fizika Laboratorio,

el la „Times Review of the Progress of Science”, por Aŭgusto, 1951

(jarkvarona aldono al la Brita ĵurnalo „Times”)

kun la permeso de la verkinto kaj de la redaktoro tradukis T.L.C.B.

La plej granda distanco for de la supraĵo de la tero, ĝis kiu oni jam sukcesis bori, estas malpli ol kvar mejloj (6 km), aŭ ĉirkaŭ unu milono de la distanco al la centro. Do nia scio pri la interno de la tero estas preskaŭ tute nereakta. Kelkajn indikojn prezentas tio kio elsprucas el vulkanoj, aŭ tio kio malkovriĝas de la erozio, sed plej ofte ni ne disponas pri senperaj atestaĵoj.

Ĉi tiu fako de la scienco disvolviĝis malrapide. Newton supozis, ke la denseco de la tero estas mezvalore ĉirkaŭ  $5\frac{1}{2}$ -oble tiom granda kiom la denseco de la akvo. Cent jarojn poste Henry Cavendish pruvis, ke ĉi tio ja estis tre bona konjekto. Li povis dedukti la mason, do la densecon, komparante la gravitan altiron inter du masoj kun la altiro inter ili kaj la tero. Lian eksperimenton oni multfoje refaris post tiu tempo, kaj ĝi pruvas, ke la mezvalora denseco de la tero ja estas  $5\frac{1}{2}$  (pli precize 5.22) oble tiom granda kiom la denseco de la akvo, aŭ ĉirkaŭ la duoblo de tiu de la rokoj proksime al la supraĵo. Ne estas mirige, ke ĝia denseco estas tiel granda, ĉar la materialo lokita profunde en la tero estas forte premegata el ĉiuj direktoj, kaj oni atendus, ke ĝi estas kunpremita ĝis grado ne atingebla en laboratorio, krome la pli pezaj materialoj tendencus malleviĝi, se por tio troviĝus okazo.

Dum cent jaroj post la epoko de Cavendish ŝajnis neeble, akiri pli detalan informon pri la interno de la tero. La kredon, ke la denseco pligrandiĝas, kiam la distanco al la centro malpligrandiĝas, konfirmis la faktoj pri la formo de la supraĵo de la tero kaj pri la ŝanceliĝado de ĝia akso ĉe la antaŭeniĝo (*precession*) de la ekvinoksoj; sed tio donis malmulte da pluj informoj.

Fine la disvolviĝo de la scienco pri tertremoj, la sismologio, dum la dudeka jarcento donis tute freŝan vidpunkton pri la temo. Kiam okazas tertremo, la skuado etendiĝas ĉiudirekte malproksimen ekster la regiono, en kiu ĝi povas kaŭzi detruon aŭ eĉ sentiĝi sin; efektive, per taŭgaj instrumentoj oni povas detekti la moviĝojn kaŭzitajn de multaj tertremoj tute tra la mondo. Ĉi tiuj „sismaj ondoj” vojaĝas tute tra la tero. Ili estas kvazaŭ senditoj, kiuj povas iri tien, kien ni ne povas iri, kaj ili povas kunporti informojn pri la materialoj, tra kiuj ili pasis. Se en pluraj lokoj vaste apartigitaj en diversaj partoj de la tero oni observas la ondojn de tertremo, oni povas konstrui hortabelon, kiu indikas la tempojn, kiam ili okazis, kaj el tio dedukti la rapidojn, je kiuj

ili moviĝas ĉe ĉiuj profundoj. La registraĵoj (*records*) de la ondoj estas komplikaj, ĉar ili povas moviĝi laŭ pluraj diversaj vojoj.

Unuj ondoj eble venas rekte tra la tero, kaj aliaj eble estas reflektataj ĉe la supraĵo ekstera, kiam ili moviĝas de la loko, kie okazis tertremo, ĝis ili venos al la sismografo. Kelkaj ondoj eble ekiras malsupren en la teron, sed estas reflektataj returne de ia interna interrompo (malkontinuaĵo), antaŭ ol ili atingos la centron. Ĉe unuj ondoj la movo eble estas skuo orta al la direkto, laŭ kiu la ondo antaŭeniĝas, ĉe aliaj ĝi eble estas puŝo kaj tiro tien kaj reen en la direkto de la antaŭeniĝo. Ĉion ĉi tion detale esploris grandmezure Harold Jeffreys en Cambridge kaj Beno Gutenberg en Kalifornio kaj iliaj kolegoj.

La plej rimarkinda eltrovo estas, ke la tero havas centran kernon. La diametro de ĉi tiu kerno estas ĉirkaŭ duono de la diametro de la tero, kaj ĝia ekstera limo ŝajne estas klare difinita. Oni trovis, ke la kerno transiĝas nur la puŝ-kaj-tirajn (= *longitudinalajn*) ondojn, kaj ne tiujn, kiuj donas flankenskuon, la t.n. *transversalajn* ondojn. Tia konduto karakterizas likvaĵojn kaj ne solidajn, kaj certigas, ke la materialo de la kerno estas likvaĵo. Ekster la kerno la materialo kondukas kiel solidaĵo reage al fortoj, kiuj daŭras nur tre mallongan tempon, ekzemple tiaj, kiaj estas la fortoj de tertremo; tamen estas ja eble, ke ĝi povos cedi kaj flui sub la efiko de fortoj, kiuj daŭras longatempe. Pri tio oni povas konkludi, kvankam necerte, el la profundoj, ĉe kiuj okazas tertremoj. Tertremon kaŭzas subita rompo de rokoj pro premoj kaj streĉoj kiuj kutime estiĝis kaj kreskis dum pluraj jaroj. La plejmulto de la tertremoj okazas en distanco de malmulte da kilometroj for de la supraĵo, sed kelkaj ekestas en profundoj de ĝis 400 mejloj (640 km). En pli grandaj profundoj ili ne okazas. La fakto, ke tertremoj ne okazas en tiu profundo, tre forte sugestas, ke la pli profunda materialo havas tro malmulte da fortikeco por povi amasigi la energion necesan por tertremo. Oni povus kompari tion kun la diferenco inter la vitro, kiu rompiĝas kun kraketo, kaj la mastiko, kiu cedas iom post iom, kaj ne eliĝas subitan kraketon.

Do prezentiĝas al ni bildo de la tero, kiel solida ŝelo ĉirkaŭanta likvan kernon aŭ internajon. Mezurinte la rapidojn de la tertremaj ondoj, oni sufiĉe certe konkludis, ke la solida ŝelo konsistas el rokoj, kies denseco pligrandiĝas en la alcentra direkto. La kerno estas likva, kaj ĝi estas multe pli densa ol la ĉirkaŭantaj rokoj, kredeble duoble tiom densa. Oni multe spekulativis pri ĝia konsisto. La solaj likvaĵoj, kies denseco estas sufiĉe granda, por ke ili eble ĝin konsistigu, eĉ sub la grandegaj premoj kiuj troviĝas en la interno de la tero, estas fanditaj metaloj, kaj ŝajnas kredeble, ke la kerno efektive konsistas el ia speco de fandita metalo. Ĝis lastatempe ĉiu kredis, ke la metalo estas fero. Kia ajn metalo ĝi eble estas, estas evidente, ke ĝi ne povas ne esti metalo, kiu estas sufiĉe ofta, kaj ne tro reagema kemie. Tiujn kondiĉojn plenumas la fero, kaj ĝia denseco estas proksimume tiu, kiu sufiĉus por klarigi la rezultojn. Plue, pecoj da fero alvenas kiel aerolitoj al la supraĵo de la tero el la ekstera spaco. Oni eble povus sugesti iom ŝajnkredinde, ke ĉi tiuj

pecoj estiĝis pro la disrompiĝo de planedo simila al la tero kun fera kerno. Tiaj argumentoj ne tre konvinkas, kaj ne sufiĉas por igi la supozon pri la fandita fera kerno pli ol alloga hipotezo. Alternativan opinion vigele kaj lerte esprimis lastatempe W. H. R a m s e y el la universitato de Manchester. Li atentigis, ke pro teoriaj konsideroj oni povas antaŭdiri, ke ĉia ajn substanco fariĝos metalo, se ĝi estos sufiĉe kunpremata, kaj li sugestis, ke la likva metalo de la kerno de la tero eble estas la sama roka materialo kiel tiu, kiu konsistigas la eksteran parton, kaj ke ĝi estas aliformigita al metalo per premejo. Laŭ tiu opinio la profundo de la ekstera supraĵo de la kerno estas nur tiu profundo, je kiu la premo estas sufiĉe granda por okazigi tian aliformiĝon.

### Grandegaj premoj.

La premo ĉe la centro de malgranda astro, kia estas la luno, ne sufiĉas por okazigi la aliformiĝon, do ĝi ne havas pezan kernon, kaj tial estas kompare malpeza. Oni kompreneble supozus, ke la planedoj Merkuro, Venuso kaj Marso, kiuj en multaj manieroj similas al la tero, konstruiĝas simile. Lastatempaj esploroj sugestas, ke Merkuro, kiu estas la plej malgranda el la planedoj, havas grandan densecon. Se oni sukcesas konfirmi tiun sugeston, estus necese supozi, ke Merkuro grandmezure konsistas el iu ordinara metalo, kredeble la fero, kaj oni perdus la simplecon de la teorio de R a m s e y, kvankam malgraŭ tio estus eble, ke li pravas je siaj opinioj rilate al la tero.

Estas evidente, ke la eksteraj planedoj konstruiĝas en tre malsama maniero ol la tero. Ili estas multe pli grandaj, kaj malgraŭ ilia grandeco kaj la grandegaj premoj, kiuj evidente troviĝas en iliaj internoj, ili estas multe malpli pezaj ol la tero; Saturno, la dua laŭ grandeco, eĉ estas malpli densa ol la akvo. Estas evidente, ke tiuj planedoj grandmezure konsistas el solida hidrogeno. Kelkaj el iliaj multnombraj lunoj estas ankaŭ malpezaj, kaj ili kredeble estas gigantaj neĝbuloj.

Estas ne verŝajne, ke malaperos duboj pri la kerno de la tero, ĝis ni havos pli multe da informoj pri la premoj, sub kiuj ne-metalaj substancoj aliformiĝas al metaloj. B r i d g e m a n en la universitato de Harvard ŝanĝis la fosforon, kiu estas flava substanco simila al sapo, al malhelkolora formo, kiu iom similas al metalo, sed oni ne sukcesis en aliaj laboratorioj estigi premojn sufiĉe grandajn por aliformigi aliajn materialojn. La sola substanco, rilate al kiu oni sukcesis kalkuli la premon necesan por tia ŝanĝo, estas la hidrogeno; la rezulto de la kalkulo estas premo, kiu multe superas la premojn, kiuj troviĝas en la tero.

La hidrogeno kredeble estas unu el la substancoj, kiujn oni plej malfacile povas tiom kunpremi, ke ili aliĝas en metalan formon, kaj ja estas eble, ke la premo en la kerno de la tero estas sufiĉe granda por igi rokojn metalaj, kaj la temperaturo sufiĉe granda por fandi la metalojn tiel estigitajn. Ne estas neeble, ke ambaŭ opinioj pravas; t.e. ke en la interno de la tero troviĝas nekombinita fero miksitaj kun la metalo, kiu estiĝis per kunpremo.

Estas konate, ke la temperaturoj en minejoj kaj bortruoj, estas pli altaj ol tiuj, kiuj regas proksime al la supraĵo. La poŝo de la plialtiĝo varias laŭ la speco de la roko, kaj laŭ la loko, kie ĝi troviĝas, sed ĝi kutime atingas la bolpunkton de la akvo en profundoj inter 10 000 kaj 20 000 futoj, (3 kaj 7 km). En pli grandaj profundoj la temperaturo kredeble plialtiĝas, ĉar lafo eliĝas el la tero kiam la temperaturo superas 1000° C. La origino de la fandita lafo estas iom mistera, ĉar ni scias, konkludante el la tertremaj ondoj, ke la rokoj estas solidaj ĝis 1800 mejloj (2900 km) malsupre de la supraĵo. Estas kredeble, ke nur en kelkaj lokoj troviĝas rezervuoj de fandita lafo. En lokoj, kie la terkrusto malleviĝis dum longa tempo, kaj dika kovraĵo de malforte kondukprovaj sedimentoj estas demetita, la varmo estigita de la malgranda radio-aktiveco de la rokoj eliĝas nur malrapide, kaj la temperaturoj en la profundegoj plialtiĝos, ĝis ili superos la mezvalorajn. En favoraj cirkonstancoj la plialtiĝo eble sufiĉas por fandi la rokojn. Tia klarigo akordas bone kun la cirkonstancoj de multaj vulkanoj aktivaj kaj estingiĝintaj, sed tio kredeble ne provizas kompletan klarigon. Ĝi ne sufiĉas por klarigi la grandajn elfluojn de lafo en la pasinteco en suda Hindujo kaj en orienta Afriko, nek la estingiĝintajn vulkanojn en Skotlando.

La temperaturoj en grandaj profundoj interne de la tero estas tute ne konataj. La taksojn, kiujn oni provis fari, dependas de konkludoj el necertaj teorioj pri la origino de la tero. Estas evidente, ke la temperaturo estis sufiĉe alta por fandi la kernon, sed ne sufiĉe alta por fandi la ĉirkaŭantajn rokojn. Ĉar ni ne konas la proprecojn de materialoj sub grandaj premoj, tio ne multe helpas por konstati la temperaturon: eblaj ŝajnas valoroj inter 1000 kaj 10 000° C.

Dum la lastaj jaroj evidentiĝis, ke en la kerno troviĝas la origino de la magneta kampo de la tero, kaj de la malrapidaj ŝanĝiĝoj en ĝi, kiuj kaŭzas, ke la kompasna nadlo vagas tien kaj reen tra 20 aŭ 30 gradoj en la daŭro de pluraj jarcentoj. Oni ne povas klarigi tiujn variojn, supozante ŝanĝiĝojn en la ekstera solida parto de la tero, ĉar ŝanĝiĝoj tie okazas kun geologia malrapido. La likva kerno povas moviĝi pli rapide, kaj ĉar ĝi estas metalo, ĝi kapablas konduki elektrone.

Se la materialo de la kerno moviĝas, kaj portas elektrajn fluojn, ĝi estigas variantan magnetan kampon ĉe la supraĵo. Do estus eble klarigi la magnetan kampon de la tero, se oni povus klarigi moviĝojn kaj elektrajn fluojn en ĝia kerno. Oni proponis plurajn klarigojn, kaj tio estas nuntempe unu el la plej aktivaj fakoj de la sciencoj rilate al la tero. Estas kredeble, ke pluraj el la demandoj kiuj estiĝis el ĝi, gravas ankaŭ por aliaj fakoj, ekzemple pri la origino de la kosmaj radioj, la mekaniko de la astroj, kaj la konduto de la interstela materio.

La ideo ke la tero havas kernon, kaj ke ties moviĝado kaŭzas la variojn de la magneta kampo de la tero, ne estas nova. Tiun ideon proponis Edmund H a l l e y en traktajo kiun eldonis la Reĝa Societo de Londono en la jaro

1692. Ĉi tiu rimarkinda traktajo entenas multajn el la argumentoj, kiujn oni nur lastatempe retrovis. Tion, ke oni dum 350 jaroj ĝin malatentis, kredeble kaŭzis la neperfekteco de la materialo sur kiu ĝi baziĝis, kaj la fantazia naturo de kelkaj el ĝiaj flankeniĝoj, ĉe unu el kiuj Halley diskutas, ĉu estas eble, ke la supozita spaco, kiu laŭ li ĉirkaŭas la kernon estas loĝata.

342.843 + 06.044.123 + 06.052.3

## VOĈDONADOJ KAJ ILIAJ REZULTOJ (II)

de W. P. ROELOFS.

En la unua numero de *Scienca Revuo* (1 29) mi publikigis artikolon sub ĉi tiu titolo. Estas dezirinde ankoraŭ reveni al ĉi tiu temo. Antaŭ kelka tempo Prof. m-ro d-ro G. v. d. Bergh atentigis min pri la libro kiun sub la titolo „*Proportional Representation*” publikigis en 1926 C. G. Hoag kaj G. H. Hallett Jr.

Ĉi tiu libro i. a. analizas multajn elektosistemojn kaj procedojn de voĉdonado. En la deka aldonaĵo (p. 480) la aŭtoroj traktas diversajn sistemojn de elekto de unu el pluraj alternativoj. Sendube inter tiuj sistemoj tiu disvolvita de Hallett estas la plej bona.

Ja kio estas la afero? Ne ekzistas elektoprocedo kiu ne, en iaj kazoj, premias „falsan” voĉdonon, sub kiu termino mi komprenas voĉdonon ne laŭ la vera prefero de la voĉdonanto, sed devian voĉdonon, kiu en donita kazo povas servi la veran preferon pli bone ol honesta voĉdono laŭ la efektiva prefero.

Mi tial opinias ke taŭga elektoprocedo kontentigu la jenajn kriteriojn:

Oni elektu per ĝi tiun alternativon (se ĝi ekzistas), kiu ĉe dupoa komparado venkas ĉiujn ceterajn.

Se tia alternativo ne ekzistas, la procedo konduku al la elekto de tiu alternativo kiu verŝajne plej meritas elektiĝon.

La kazoj en kiuj la procedo premias falsan voĉdonon, estu kiel eble plej maloftaj kaj la premisoj por sukcesa falsado estu kiel eble plej ne superrigardeblaj, por ke tento false voĉdoni estu kiel eble plej malofta.

Ĉar mi havas la impreson ke la sistemo de Hallett preskaŭ kontentigas ĉi tiujn kriteriojn, mi opinias ke ĝi — kun malgranda modifo — estas ĝenerale rekomendenda por ĉiuj elektadoj, ĉu de unu el inter pluraj aferaj alternativoj, aŭ de unu el pluraj kandidatoj. La regulojn de Hallett mi sekvigis ĉi-sube.

Post kiam la voĉdonantoj sur sia voĉdonilo indikis la sinsekvon de siaj preferoj, kaj post kolektado de la plenigitaj voĉdoniloj:

1. Disdividu la voĉdonilojn laŭ la unuaj preferoj.
2. Deklaru nevalidaj ĉiujn voĉojn kiuj ne klare montras la unuan preferon. Validaj estas ĉiuj aliaj voĉdoniloj, ĉu ili estas plenigitaj laŭ la instrukcioj aŭ ne.

Rimarko (de W. P. R.): Prefere la dua regulo estu: Validaj estas ĉiuj voĉoj, kiuj klare esprimas preferon inter kiuj ajn du alternativoj, ĉu ili estas donitaj laŭ la instrukcioj aŭ ne. Tiajn, kiuj ne klare montras tian preferon, deklaru nevalidaj. El la validaj voĉoj oni apartigu kiel „elĉerpitajn” ĉiujn kiuj ne klare montras la unuan preferon.

3. Post la disdivido de la voĉdoniloj (laŭ 1), faru tabelon montrantan la nombron de la voĉoj donitaj por ĉiu el la alternativoj.

4. Se iu alternativo ricevis da unuaj preferoj pli ol la duonon de la validaj voĉoj, deklaru ĝin elektita.

5. Aliokaze procedu jene: Konsideru komence nur la alternativon plej favoratan de la plej multaj (indikotan kiel la „altan” alternativon) kaj tiom el la malplej favorataj (indikotaj kiel la „malaltaj” alternativoj), kiom kune ĝuste ne akiris la duonon de la unuaj preferoj. La alta kaj la malalta(j) kune prezentas la „daŭrantajn” alternativojn; la ceteraj, indikotaj kiel la „mezaj” alternativoj, estas provizore ekskluditaj de konsidero.

6. Transmetu ĉiun voĉdonilon montrantan unuan preferon por meza alternativo, al la unua el la daŭrantaj alternativoj por kiuj per la konsiderata voĉdonilo esprimiĝis prefero.

7. Dum ĉi tiu kaj ĉiuj postaj transmetoj, provizore apartigu, kiel „elĉerpitan” rilate al la komparo farata, ĉiun voĉdonilon ne klare montrantan la plej preferatan el la daŭrantaj alternativoj. Ĉiuj validaj voĉdoniloj ne elĉerpitaj prezentas „efikajn” voĉojn.

Rimarko (W. P. R.): Ĉe ĉiu komparo inter nur du alternativoj konsideru ankaŭ la voĉdonilojn antaŭe jam elĉerpitajn; ĉe ĉi tia komparo efikaj estas ĉiuj voĉoj kiuj klare esprimas preferon inter ambaŭ komparataj alternativoj.

8. Post transmeto de ĉiuj voĉdoniloj de la mezaj al la daŭrantaj alternativoj, denove entabeligu la rezultojn tiel ke montriĝu kiom da voĉoj ricevis ĉiu alternativo, la nombron de la efikaj, kaj la nombron de la elĉerpitaj voĉoj.

9. Se tiu ĉi aŭ iu posta tabeligo montras, ke iu alternativo ricevis pli ol la duonon de (la sumo de) la efikaj voĉoj (kaj de tiuj elĉerpitaj voĉoj kiuj mencias la koncernatan alternativon), — kio signifas do, ke plimulto el tiuj kiuj esprimis preferon, preferas ĉi tiun alternativon ol ĉiun el la ceteraj daŭrantaj alternativoj —, deklaru ĉiujn tiujn aliajn daŭrantajn alternativojn venkitaj, kaj daŭrigu laŭ (12).

Rimarko (W. P. R.): La esprimoj inter krampoj estas aldonitaj de mi. Se oni tion preferas, oni ankaŭ povas postuli, ke la koncernata alternativo havu pli ol la duonon de la validaj voĉoj. Tamen, kiam oni faras komparon inter nur du alternativoj, tiu alternativo venku, por kiu plimulto esprimis preferon. Ĉi tiu plimulto povas nombri malpli ol la duonon de la validaj voĉoj.

10. Se tiu ĉi, aŭ iu posta tabeligo ne montras iun alternativon ricevinta pli ol la duonon de la sub (9) menciita sumo, daŭrigu kiel post la unua tabeligo, klasante la ĵus daŭrintajn alternativojn kiel „altan”, „malalta(j)n”.