

Trophithauma dissitum Schmitz ♀.

Kopf mit allen Merkmalen der Gattung. Stirn schwarz, glänzend, etwa so lang wie breit, Mittelfurche deutlich. Die zwei Senkborsten scheinen um weniger als $\frac{1}{3}$ der Stirnbreite von einander entfernt zu sein. Erste Querreihe nach vorn stark, 2. weniger konvex, Ocellen wie bei der typischen Art. Fühlerhöhle nicht so tief, das 3. Fühlerglied darum nicht so verborgen, schwarz gefärbt, mit langer, langpubeszierter Arista. Die schnabelartige Epistompartie von geringerer Breite und Länge als bei den Tieren aus Costa Rica, ungefähr halbsolang und kaum ein Drittel so breit wie die Stirn, schwarz, glänzend. Rüssel im Prinzip ganz wie bei der typischen Art gebaut; Taster zwar auch lang (so lang wie eine Scheitelborste) und schmal, aber relativ doch etwas breiter, spärlicher behaart. — Thorax glänzend, schwarz mit einem Stich ins Kastanienbraune; so auch die Pleuren. Vorderer Teil der Mesopleure sehr deutlich durch eine tiefe Furche vom hinteren abgeschnürt. Schildchen beborstet, Borstenzahl wegen Beschädigung nicht deutlich erkennbar. — Hinterleib: Segment 1—3 normal, 4—6 stark modifiziert. Erstes Segment, und ein medianer Fleck an der Basis des zweiten mattbraun; 2. und 3. Segment am Hinterrande mit schmalen helleren Säumen; im übrigen schwarz, matt, gleichlang, fast unbehaart. Hinter dem 3. Segment sieht man den gewölbten Hinterrand eines bräunlichen Chitinkörpers schmal hervortreten, dessen Basis vom 3. Tergit bedeckt ist; er ist nicht ganz so breit wie das 3. Tergit. Hierauf folgt wieder eine schmale Falte, welche der Hinterrand des (stark verkürzten) 4. Segmentes sein könnte; dahinter ragt ein schmales und kurzes Sklerit halbmondförmig hervor; dies wird das verkümmerte 5. Tergit sein; das 6. Segment ist länger als irgend eines der übrigen, weichhäutig, rotbraun gefärbt, oben eingesunken mit je 1 warzen- oder papillenartigen Erhebungen nahe der Mittellinie nebeneinander. Es ist klar, dass hier ausstülpbare Organe vorhanden sein müssen, über deren Form sich aber nichts Genaueres sagen lässt. Die zum Teil dunkelgefärbten Endsegmente sind ziemlich regelmässig gebildet, doch die Chitinisierung nicht auf kleine Plättchen beschränkt; Cerci etwas klein, aber anscheinend regelmässig. — Beine samt allen Hüften gelb, gebräunt ist nur die Vorderseite der Mittelhüften und das distale Drittel der Hinterschienen. Letztere sind lang und schmal, ebenso die Hinterschienen, die im Bau mit denen von *Megaselia* übereinstimmen: dorsale Haarzeile und posterodorsale Serie von ca 20 feinen Wimpern. — Flügel braun getrübt, diese Trübung ist geringer am Hinterrand und fehlt zu beiden Seiten der 3. Längsader vor der Gabelung. Randader sehr lang, etwa 0,62; etwas über die Mündung der 3. Längsader hinaus verlängert, kurz bewimpert.

Wird diese Verlängerung als eigener Abschnitt gerechnet, so verhält sich 1.: 2.: 3.: 4. wie 11: 9: 5½: 2. Mediastinalader vollständig, so lang wie die Hälfte des 1. Randaderabschnittes. Dritte Längsader im letzten Abschnitt etwas nach hinten konvex, dies und die Länge der Gabel samt einer mässigen Steilheit des vorderen Gabelastes bedingen eine ungewöhnliche Grösse der Gabelzelle. Vierte Längsader in der Mitte der Gabel entspringend, stark und gleichmässig nach vorn konkav, entfernter als gewöhnlich von der Flügelspitze mündend, an beiden äussersten Ende schwach rückwärts gebogen. Fünfte bis siebente Längsader alle in abnehmenden Grade S-förmig gebogen; bei der 7. fällt die Rückwärtsbiegung des Aderendes darum auf, weil sie sonst bei Phoriden meines Wissens nie beobachtet wurde. An Stelle der fehlenden Alula einige Haare. — Schwinger weiss. — Länge 2 mm. — Nach 1 Ex. beschrieben, das bezettelt war: Philippinen, Balbalasng. III. 1913. — Holotype Museum Helsingfors.

(Fortsetzung folgt).

NIEUWE DENKBEELDEN OVER DEN OUDERDOM EN DE VORMING DER AARDSCHORS.

Lezing, gehouden voor het Natuurhist. Genootschap in Limburg, 4 Januari 1928,
door Dr. W. JACOBS.

In alle cosmologische theorieën, zoowel die van Kant-Laplace als die van Moulton-Chamberlin en vele anderen die sindsdien zijn bedacht en uitgewerkt, wordt aangenomen dat onze aarde oorspronkelijk zoo heet was, dat de geheele massa in gloeiend vloeibaren toestand verkeerde. Langzamerhand koelde de aarde af tot de nu heerschende temperatuur. Eerst werden de gesteenten vast; later werd het water vloeibaar, zeeën en rivieren werden gevormd; en nog later werden de voorwaarden bereikt, die noodzakelijk zijn voor de ontwikkeling van het organisch leven. Sinds de verschijning van het leven is de temperatuur op aarde maar betrekkelijk weinig veranderd. De vraag is, hoe heeft dit proces plaats gehad en hoe lang heeft het geduurd; welke waren de invloeden, die in het spel waren.

Het is mogelijk, om, als aangenomen wordt, dat de aarde oorspronkelijk gloeiend vloeibaar was, en dat zij door uitstraling in de koude wereldruimte afgekoeld is tot de nu heerschende temperatuur, uit de waarneming van de toename van de temperatuur naar het binnenste toe en uit het gemiddelde geleidingsvermogen der gesteenten, te berekenen den tijd, die noodig is geweest voor deze afkoeling. Lord Kelvin, die het eerst deze berekening uitvoerde, vond een waarde gelegen tussen 20 en 40 miljoen jaren; de kleinste waar-

de achtte hij de meest waarschijnlijke. Later werd de becijfering opnieuw uitgevoerd door Ingersoll en Zobel, eveneens onder de aanname dat de aarde geen andere warmte toegevoerd wordt dan door de straling van de zon en veronderstellende een aanvangstemperatuur van 1000 gr.; zij vonden een tijdsduur van 22 miljoen jaren.

De geologie kiest een ander beginpunt, n.l. het begin van de afzetting van de oceanische sedimenten en den aanvang van den keukenzouttoevoer naar den oceaan; bij deze bepaling zal een kleinere waarde moeten gevonden worden; want bij het beginpunt was de aardkorst reeds vast geworden, de oceaan had zich reeds gevormd en de temperatuur was niet veel hooger dan de tegenwoordig heerschende. Feitelijk werd een veel hoogere waarde gevonden dan die welke de vorige methode opleverde, nl. 70 tot 150 miljoen jaren.

Nog grooter werden de verschillen toen men op grond van paleontologische gegevens den tijdsduur ging schatten; men zou verwachten dat deze methode kleinere waarden zou geven, want toen het leven verscheen was reeds geruimen tijd verlopen sinds den aanvang der afkoeling. Inderdaad berekenden de paleontologen een minimumwaarde die bijna dubbel zoo groot is als de maximumwaarde bij de vorige methode.

Een nieuwe basis voor theorieën biedt de leer der radioactiviteit. Vooreerst heeft men hierop beschouwingen opgesteld om te komen tot een schatting van den ouderdom der gesteenten waaruit de aardschors is opgebouwd; tevens heeft men een theorie afgeleid, die tracht een beeld te geven van de lotgevallen van onze aarde die in den loop van haar bestaan hebben plaats gehad en ook van die welke nog in de toekomst zullen plaats hebben. Een uitstekende samenvatting van deze leeringen geeft Joly in zijn boek „Surface History of the earth”.

Bespreken wij eerst de methoden volgens welke uit de producten der radioactieve omzettingen gevolgtrekkingen worden gemaakt omtrent den ouderdom der onderzochte gesteenten. Gaan wij daarna na welke invloed het voorkomen der radioactieve stoffen heeft op de temperatuur der aardschors. Zien wij ten slotte welke besluiten hieruit kunnen getrokken worden aangaande de wordingsgeschiedenis, aangaande de groote omwentelingen, die volgens de geologie in den loop der tijden hebben plaats gehad.

I.

Het onderzoek heeft geleerd dat de gesteenten waaruit de aardschors is opgebouwd, n.l. de granietsoorten en de gneiss, waaruit de continenten bestaan en de basaltplateau's, die uit het substraat oprijzen, allen radioactieve stoffen bevatten. De radioactieve stoffen gaan spontaan over in stoffen van lager atoomgewicht; dit geschiedt onder warmteontwikkeling en onder het uitstooten van materiele deeltjes;

de uitgestooten massa wordt met groote snelheid weggeslingerd. De beweging der deeltjes wordt door de omringende atomen tot rust gebracht en bij deze remwerking is het dat warmte wordt ontwikkeld, evenals een schietschijf warm wordt als zij door een kogel wordt getroffen. De radioactieve stoffen komen allen voort uit de oer-elementen uranium en thorium; door verlies van massa worden de atomen dezer elementen kleiner, stap voor stap, totdat zij overgegaan zijn in lood. Zooals bekend is bestaat er groot verschil tusschen de radioactieve omzettingen en de gewone chemische reacties; terwijl deze laatste afhankelijk zijn van de temperatuur, worden de eersten door verhooging of verlaging van temperatuur niet beïnvloed: Temperatuursverandering van 250 gr. tot 1000 gr. bleek niet de minste variatie te veroorzaken in de omzettingssnelheid of in de intensiteit der straling; evenmin gaf behandeling met X-stralen en kathodestralen of opvoering van den druk tot 2000 atm. eenig positief resultaat. Het uranium en thorium gaan in andere elementen over; het duurt echter zeer lang voordat de hoeveelheid tot op de helft is verminderd; indien hetgeen ervan bekend is ook op de toekomst mag worden toegepast, dan zal de helft van het uranium verdwenen zijn over 5000 miljoen jaren; en de helft van het thorium over 13000 miljoen jaren; het tijdsverloop sinds de afzetting der eerste sedimentaire lagen wordt geschat op 150 miljoen jaren en de door de geologen aangegeven schatting van de archaische formatie komt ten hoogste op 1200 miljoen jaren; wanneer wij dus ook al de grootste waarden aannemen, dan is dit tijdsverloop slechts een klein deel van hetgeen noodig zou zijn om den invloed der radioactiviteit merkbaar te doen verminderen. Er kan dus worden aangenomen dat de invloed der radioactiviteit sinds het ontstaan der aardschors constant is gebleven. De hoeveelheid der radioactieve stoffen die in de gesteenten voorkomt is gering. Met behulp van physische methoden (de gewone chemische analyse kan hier niet worden toegepast) vond men dat graniet gemiddeld per gram bevat 3×10^{-12} gr. radium en 2.0×10^{-5} thorium. De gemiddelde hoeveelheid radium in basaltgesteenten uit alle deelen der aarde bijeengebracht bedroeg per gr. basalt: 1.19×10^{-12} gr. en het gemiddelde thoriumgehalte werd gevonden 0.77×10^{-5} gr. per gr. basalt.

Een eerste methode tot bepaling van den ouderdom van een gesteente gaat uit van het heliumgehalte. De door de radioactieve stoffen uitgezonden materiele deeltjes, de zog. alpha-stralen, zijn positief geladen heliumatomen, die met groote snelheid worden uitgezonden, maar die bij het voortvliegen door lucht of bij het doordringen in materiele stoffen hun snelheid spoedig verliezen. De snelste die bekend zijn, leggen bij gewone temperatuur en druk een weg af van $8\frac{1}{2}$ cm. in lucht;

in mineralen bedraagt de afstand die zij kunnen doorloopen, slechts eenige honderdsten millimeter. De heliumdeeltjes blijven derhalve als zij hun lading en snelheid verloren hebben in de compacte mineraalstukken als helium opgesloten; de hoeveelheid helium groeit geleidelijk aan in evenredigheid met het gehalte aan radioactieve stof en met den leeftijd van het mineraal. Nauwkeurig onderzoek heeft geleerd dat alle radioactieve stoffen bevattende mineralen en ook deze alleen helium bevatten. Indien het uraangehalte van het mineraal bekend is kan uit de wetten die de radioactieve omzetting beheerschen worden afgeleid, hoeveel heliumatomen per gram en per seconde worden uitgezonden. Een gram uranium (met zijn omzettingsproducten) zendt per seconde ongeveer 90.000 heliumatomen uit; dus per jaar 2.8×10^{12} . Het door deze deeltjes ingenomen volumen bedraagt slechts één tienniljoenste ccm. De heliumproductie in het mineraal is in gang sinds het mineraal in de vaste aardschors is afgezet, en de snelheid waarmee zij gebeurt wordt door geen enkele oorzaak van buitenaf beïnvloed. Uit het heliumgehalte van het mineraal kan zijn ouderdom worden bepaald. Uit het boven gezegde volgt dat, om één ccm. helium te vormen 10 miljoen jaren noodig zijn; er worden mineralen gevonden die per gram uranium tot 20, 30 tot 50 ccm. helium bevatten; hieruit zou volgen dat de tijd noodig geweest voor deze heliumproductie 200, 300 en 500 miljoen jaren bedraagt. De vraag kan worden gesteld of hierbij geen rekening moet gehouden worden met de vermindering van het uraniumgehalte tengevolge van de voortdurende omzetting; maar men vindt dat deze correctie van weinig belang is, want in de 500 miljoen jaren verdwijnt door het desintegratieproces slechts 7 % van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid. Wellicht zou men kunnen aanvoeren dat het mineraal in den loop der tijden en wel bij het uitkristalliseeren helium uit de omgeving zou hebben kunnen opnemen; hiertegenover staat dat niet-radioactieve mineralen nooit helium bevatten; steeds als men geringe sporen vond, bleken ook geringe sporen uranium of thorium aanwezig. Waarschijnlijker is dat het mineraal gedurende het lange tijdsverloop een gedeelte van het helium dat gevormd werd, heeft verloren door diffusie; het onderzoek leert dat wanneer een stuk heliumhoudend mineraal aan de lucht wordt gebracht, er helium ontwijkt; bij het tot poeder wrijven kunnen de mineralen tot 30 % helium verliezen. In het binnenste van de aardschors zal door de compacte massa minder verlies door diffusie plaats hebben, maar aangezien dat de voor het onderzoek beschikbare mineralen van de oppervlakte komen, kan men aannemen dat de gevonden resultaten eer te laag dan te hoog zijn. Ook in de gesteenten, die diep onder het oppervlak gelegen zijn, kan diffusie plaats hebben bv. op plaatsen waar

het gesteente sterk verhit wordt of grenst aan holruimten en spleten; zoo wordt aangenomen dat de groote heliummassa's die bij vele Amerikaansche en Canadeesche petroleum- en gasbronnen optreden van radioactieven oorsprong zijn. Het onderzoek leert dat in gesteenten die op andere gronden als ouder moeten worden geschat, de hoeveelheid helium ook inderdaad grooter is dan bij jongere, en des te meer naarmate zij tot een ouder tijdperk moeten worden gerekend te behooren.

geol. periode	onderzocht mineraal	heliumgehalte inccm. per gr.	leeftijd in mill. j.
plioceen	zirkoon	0.146	1.5
mioceen	zirkoon	0.57	5.7
oligoceen	sideriet	0.70	7.0
perm	zirkoon	3.80	38.0
carboon	limoniet	12.8	128.0
devoon	haematiet	11.2	112.0
siluur	thorianiet	21.2	212.0
praecambruim	zirkoon	25.0	250.0
midden	„ spheen	37.2	385.0
onder	„ spheen	58.1	570.0

(O. Hahn)

Een tweede methode bepaalt den leeftijd der gesteenten uit het gehalte aan lood. Het uranium gaat bij de desintegratie eerst over in radium en daarna door verlies van 5 alpha-deeltjes (heliumatomen met atoomgewicht 4) over in lood met atoomgew. 206. Uit de omzettingssnelheid van het uranium kan worden berekend, hoeveel radioactief lood in een bepaalden tijd uit een gegeven hoeveelheid uranium wordt gevormd. Men vindt dat 1000 Kg. uranium per jaar $1/10$ mG. radioactief lood oplevert. (radioactief lood = lood door radioactieve omzetting gevormd). Als tevens de totale hoeveelheid lood, welke gevormd is, bekend is, kan worden afgeleid de tijd die noodig is geweest om de gevonden hoeveelheid lood te vormen. — Nu kan vooreerst de vraag worden gesteld, of het door het radioactief proces gevormde lood niet op een of andere wijze uit het mineraal kan verdwenen zijn; hierop kan geantwoord worden: indien men te doen heeft met een als gekristalliseerde stof voorkomend mineraal dat dus niet door verweering of chemische omzetting wezenlijk is veranderd, is het zeer onwaarschijnlijk dat lood door uitloogen bv. verdwenen zou zijn. Een andere vraag is of al het lood dat in de uraanmineralen wordt gevonden van radioactieven oorsprong is, of daarbij niet gewoon lood is. Hieromtrent kan het volgende worden opgemerkt: de theorie leert dat het door radioactieve omzetting ontstane lood een atoomgewicht heeft van 206; het gewone in de natuur voorkomende lood heeft een atoomgewicht van 207.2. Wanneer men derhalve het atoomgewicht van het uit het mineraal door chemische methoden afgescheiden lood bepaalt, kan uit de gevonden waarde worden afgeleid of men te doen heeft met gewoon dan wel met „radioactief” lood.

Meestal wordt gevonden een waarde gelegen tusschen 206 en 207.2; dit wijst op een mengsel van beide loodsoorten; uit de gevonden waarde kan afgeleid worden in welke verhouding de beide loodsoorten aanwezig waren; hieruit volgt dan de juiste hoeveelheid van het door radioactieve omzetting ontstane lood. (O. Hönigsmidt).

Enkele resultaten:

geol. periode	vindpl.	onderzocht mineraal	lood uranium	leeftijd in mill. jaren
carboon	Conn. U.S.A.	uraniniet	0.041	335
jonger dan midd. praec.	Oost Afr.	"	0.094	730
" "	Anneröd (Noorw.)	"	0.13	1050
" "	Elvestad "	"	0.14	"
" "	Moos "	Bröggeriet	0.13	"
" "	Ytterby (Zweden)	Fergusoniet	0.17	1150
" "	Villeneuve	uraniniet	0.17	"
" "	Quebec (Ontario)	"	0.17	"
" "	Arendal (Noorw.)	Cleveiet	0.19	1250
" "	"	uraniniet	0.18	12 a 1350
" "	"	"	0.17	"
ond. praec.	Mozambique	zirkoon	0.21	1600

Bijzonder groote waarde wordt toegekend aan een reeks bepalingen die werden uitgevoerd bij een aantal mineralen die van dezelfde vindplaats komen en die derhalve denzelfden leeftijd moeten hebben; nl. Bröggerieten uit Noorwegen; bij al deze mineralen vond men dezelfde verhouding tusschen gewoon en „radioactief” lood, nl. 90 % „radioactief” lood en 10 % gewoon lood (leeftijd 950 mill. jaren).

Ook door desintegratie van thorium kan lood ontstaan; het atoomgewicht van dit „thoriumlood” bedraagt 208; daar het thorium zich driemaal zoo langzaam omzet als uranium, is de hoeveelheid lood die op deze wijze gevormd wordt kleiner dan bij uraniummineralen en derhalve moeilijker te bepalen. Daarbij komt dat bijna alle thoriummineralen ook uranium bevatten, en er dus zoowel uraniumlood als thoriumlood ontstaan is; zoo zijn er mengsels ontstaan van twee loodsoorten waarvan het atoomgewicht ligt tusschen 206 en 208, zoodat het niet uit te maken is of men te doen heeft met gewoon lood of niet. Eindelijk is er ook nog dit bezwaar dat vele thoriummineralen van secundairen oorsprong zijn en in amorphien toestand worden aangetroffen, ontstaan door metamorphose uit andere mineralen en van jongeren datum dan het omgevende gesteente en derhalve niet geschikt voor leeftijdsbepa-

lingen; bovendien worden dergelijke mineralen gemakkelijk uitgeloogd, zoodat een gedeelte van het gevormde lood kan verdwenen zijn; het ligt voor de hand dat in dit geval afwijkende, te kleine waarden, worden gevonden. Toch is het Ellsworth gelukt bij goed gekristalliseerde thoriummineralen en zelfs bij mineralen die tegelijk uranium en thorium bevatten, resultaten te verkrijgen, die goed overeenstemmen

met de bovenvermelde uitkomsten. Het onderzoek betrof praecambrijsche uraniniëten.

Het is de meening der onderzoekers dat de loodmethode waarschijnlijk als betrouwbaar kan worden aanvaard, als zij wordt toegepast bij geschikt, geologisch goed gedefinieerd materiaal; en dat aan deze methode de meeste waarde kan worden gehecht. Men vindt derhalve als gemiddelde waarde voor den ouderdom van het praecambrium 1000 mill. jaren. Het zirkoon dat een zeer hoog loodgehalte vertoont, wordt gevonden in een eruptiefgesteente dat door intrusie in de sedimenten van het praecambrium is binnengedrongen. Daar de sedimenten oceanische afzettingen zijn, geeft het getal 1600 mill. jaren de onderste grens voor den ouderdom der oceanen; een onderste grens omdat immers de sedimenten ouder moeten zijn dan het binnengedrongen eruptiefgesteente en de oceaan ouder moet zijn dan de sedimenten die zich in den oceaan gevormd hebben.

Vergelijken wij deze uitkomsten met die welke vroeger verkregen werden volgens de methode van Kelvin en die welke den ouderdom afleidt uit het zoutgehalte der oceanen, dan zien wij dat hier hogere waarden worden gevonden. Men dient echter te bedenken dat Kelvin bij zijn berekeningen de radioactieve invloeden niet in aanmerking kon nemen, omdat

Vindplaats	U	Th	Pb	Pb U + 0,384 Th	Leeftijd in mill. jaren
Villeneuve (Quebec)	64.74	6.41	10.46	0.156	1189
Parry sound (Ontario)	69.19	2.83	10.83	0.154	1179
" "	66.12	2.94	9.76	0.145	1115
Butt Township "	66.02	1.08	9.82	0.148	1130
" " "	64.24	0.71	9.82	0.148	1143
Cardiff " "	55.26	11.92	10.25	0.171	1299

zij nog onbekend waren; wat de tweede methode aangaat, men heeft in de laatste jaren de berekeningen herzien en men is van meening dat de vroeger afgeleide waarden waarschijnlijk veel te laag zijn.

Even zij nog een derde methode vermeld. Bij dunne plaatjes van sommige mineralen worden onder de microscoop niet zelden cirkelvormige gekleurde figuren, zoogen. halo's waargenomen, die wegens hun optische eigenschappen pleochroïtische kringen worden genoemd. De verklaring van dit bij de geologen reeds lang bekend verschijnsel werd tegelijk door Mügge en Joly gegeven: de verkleuring is nl. toe te schrijven aan de inwerking van de alpha-stralen die door uiterst kleine ingesloten hoeveelheden radioactieve stoffen worden uitgezonden. Is de hoeveelheid insluiting klein genoeg, dan is de in het mineraal gevormde halo bolvormig, of liever de halo bestaat uit verschillende concentrische bolvormige zônen, welke dikwijls verschillend sterk gekleurd zijn. De straal der uiterste zône bedraagt bij uraniumhoudende kernen in glimmer 0.033 mM. voor thoriumhoudende kernen 0.040 mM. Deze lengten der radii komen juist overeen met den afstand die de snelste stralen van de uranium en thoriumreeks kunnen doorloopen, terwijl de radii der binnenste boloppervlakken juist overeenstemmen met de door de langzame stralen doorloopen afstanden. De verkleuring in de kringen hangt af van den duur der inwerking van het ingesloten radioactieve deeltje en is des te sterker naarmate de inwerking langer geduurd heeft. Als men dus experimenteel vaststelt hoe een waargenomen verkleuring teweeggebracht wordt, dwz. hoeveel deeltjes in zekeren tijd een bepaalde verkleuring veroorzaken, dan kan men, indien door een schatting het waarschijnlijke uraniumgehalte van een insluiting bekend is, de tijdsduur worden afgeleid die noodig was om de gegeven verkleuring te veroorzaken. Joly en Rutherford hebben bij glimmer uit het onder-devoon, waarin vele van deze halo's voorkomen, bepalingen uitgevoerd. Eerst werden in splijtingsstukken van deze glimmer verkleuringen te voorschijn gebracht met behulp van geconcentreerde radioactieve zelfstandigheden en er werd zorg gedragen dat de verkleuringen dezelfde waren als die in de natuur werden gevonden; daarna werd vastgesteld hoeveel alpha-deeltjes voor deze verkleuring noodig waren. Indien bekend is hoeveel alpha-deeltjes door de insluiting van de glimmer per jaar worden uitgezonden, dan kan de tijdsduur worden berekend. Het ligt voor de hand dat deze methode geen groote aanspraak op nauwkeurigheid kan maken, omdat de schatting van het gehalte aan radioactieve stof van de insluiting zeer onzeker is. Uit het voorkomen van deze pleochroïtische kringen kan echter dit besluit worden getrokken, dat het gesteente waarin zij worden aangetroffen, in den loop der tijden, dat het zich in de aardchors bevond, niet onderhevig ge-

weest aan temperaturen, die belangrijk hooger zijn dan die welke tegenwoordig worden waargenomen aan de aardoppervlakte, want de ervaring leert dat een kortstondige verhitting tot op een paar honderd graden voldoende is om de kringen te doen verdwijnen.

Op deze berekeningen volgens de besproken methoden wordt vooral door Joly kritiek uitgeoefend: hij acht de berekende waarden te hoog. Vooreerst omdat zij niet overeenstemmen met de waarden gevonden volgens de methode, die als uitgangspunt neemt het zoutgehalte van de oceanen en de dikte der sedimenten; wij zagen boven dat andere onderzoekers van oordeel zijn dat juist deze laatste waarden herzien moeten worden, omdat de uitkomsten blijkbaar te laag zijn. Vervolgens wijst Joly erop dat de resultaten gevonden uit het loodgehalte van uraanmineralen niet best overeenstemmen met die verkregen uit het loodgehalte van thoriummineralen; op de derde plaats vestigt hij er de aandacht op dat de pleochroïtische kringen die veroorzaakt zijn door uraniumhoudende insluitingen, in tegenstelling met die welke door thoriumhoudende insluitingen zijn ontstaan, doen vermoeden dat de afstand die de uraniumstralen kunnen afleggen, aan schommelingen onderhevig is geweest, in dien zin dat het uranium in oudere mineralen verderreikende stralen uitzond dan in mineralen van jongeren datum; of ook dat vroeger andere uraniumisotopen hebben bestaan die tot lood zijn overgegaan en waarvan wij de werking waarnemen in oudere mineralen, terwijl de stoffen zelf uitgestorven zijn. In beide veronderstellingen komt hij tot het besluit dat in vroeger tijden de loodvorming sneller verlopen is dan in later perioden en in beide veronderstellingen voeren de loodbepalingen tot de hooge waarden. Vooral baseert Joly zijn bezwaren op de bepalingen door Gudden in vloeispaath uitgevoerd. Uit deze bepalingen wordt afgeleid dat de draagwijdte (de afstand die zij kunnen afleggen) in lucht gesteld moet worden op 2.68 cM., terwijl vroeger werd aangenomen 2.53 cM. Past men de formule van Geiger-Nutall, die het verband aangeeft tusschen de draagwijdte der stralen en de omzettingssnelheid, dan komt men tot het besluit dat het uranium in het onderzochte vloeispaath zich 50-maal sneller heeft omgezet dan de in onzen tijd gedane waarnemingen doen besluiten. Meerdere Duitsche onderzoekers trachten de bezwaren van Joly weg te redeneeren; uit de discussie lijkt mij de conclusie gewettigd dat de bovenvermelde resultaten nadere bevestiging behoeven.

II.

Het onderzoek heeft geleerd dat alle gesteenten die op de aardoppervlakte voorkomen uranium en thorium bevatten. Granietgesteenten en analoge zure mineralen zijn het rijkst aan deze elementen; basalt en dergelijke basische gesteenten bevatten belangrijk minder.

De radioactieve stoffen ontwikkelen allen warmte: een gram radium ontwikkelt per sec. 5.6×10^{-2} cal, een gram thorium aan verwante elementen: 6.6×10^{-9} cal. per sec. In graniët wordt dus in een gram gesteente ontwikkeld door de elementen van de uraniumserie: $3 \times 10^{-12} \times 5.6 \times 10^{-2} = 16.8 \times 10^{-14}$ cal. en door de elementen van de thoriumserie: $2 \times 10^{-5} \times 6.6 \times 10^{-9} = 13.2 \times 10^{-14}$ cal. samen 30.0×10^{-14} cal. De gevonden hoeveelheid is uiterst gering, maar de genomen tijd (één sec.) is ook zeer kort; beschouwt men den tijdsduur van een geologische periode, dan is de ontwikkelde warmtehoeveelheid zeer zeker niet te verwaarlozen.

Wanneer wij den warmtetoestand van de aardschors nagaan (voorzoover dit mogelijk), dan komt men tot de bevinding dat bij dieper afdalen in de aardkorst de temperatuur rijst; de stijging is niet overal dezelfde, maar zij varieert van plaats tot plaats. Uit dit feit van de temperatuurstijging volgt vanzelf dat er aan de oppervlakte warmte ontwijkt. Nemen wij aan dat het vasteland een dikte heeft van 31 K.M. en dat het is opgebouwd uit graniëtgesteenten, die de bovenaangegeven hoeveelheid radioactieve stoffen bevat; als de dichtheid van het gesteente gesteld wordt op 2,7 dan vindt men voor de ontwikkelde warmte per sec., per ccm. 0.8×10^{-12} cal. Indien er geen warmte naar beneden ontwijkt naar het onderliggende magma, dan moet de ontwikkelde warmte aan de oppervlakte verdwijnen. Beschouwen wij de hoeveelheid warmte die in een cylinder van één cm.² doorsnede wordt ontwikkeld, dan leert een eenvoudige berekening dat deze hoeveelheid gesteld moet worden op $0.8 \times 10^{-12} \times 31 \times 10^5$ cal. = 2.48×10^{-6} cal. Deze hoeveelheid ontwijkt per seconde aan de oppervlakte. De temperatuurgradient, die varieert van 1 graad per 28 M. tot 1 graad per 40 M. kan gemiddeld worden gesteld op 3.5 gr. per 100 M. (Diepboringen hebben geleerd dat de temperatuurgradient op grootere diepte een weinig toeneemt; als waarschijnlijk kan echter worden aangenomen dat de toename ophoudt als een zekere diepte is bereikt). Is het geleidingsvermogen van het gesteente bekend, dan kan uit de temperatuurgradient afgeleid worden hoeveel warmte aan de oppervlakte ontwijkt. Basalt heeft een geleidingsvermogen van 0.004; zandsteen, in drogen toestand 0.0055, in vochtigen toestand 0.0085; gemiddeld 0.007. Daar uit de waarneming gebleken is dat de gesteenten, waarin de temperatuurgradient is geconstateerd (basalt heeft een zeer gering geleidingsvermogen), min of meer vochtig zijn en poreus, kan men bij de berekening de laatste waarde 0.007 invoeren. Voor de af te geven warmte wordt dan gevonden: $3.5 \times 10^{-4} \times 0.007 = 2.45 \times 10^{-6}$; deze uitkomst stemt overeen met de vroeger gevonden waarde van de door radioactieve werkingen ontwikkelde warmte (2.48×10^{-6} cal.). Hieruit kan men het besluit trekken dat de

warmtestroom waarvan de temperatuurgradient een gevolg is, hoofdzakelijk komt tengevolge van de radioactieve werkingen van de radioactieve stoffen die zich in de bovenste lagen der aardschors bevinden en tevens dat in de geheele diepte der continenten de gesteenten betrekkelijk evenveel radioactieve stoffen bevatten. En inderdaad heeft het onderzoek geleerd dat alle basalt-lavasoorten die door vulkanische werkingen naar boven gebracht zijn, kleine maar duidelijk aan te toonen hoeveelheden radioactieve stoffen bevatten, die natuurlijk ook een voortdurende bron zijn van warmteontwikkeling. Bij de zoeven vermelde berekeningen wordt aangenomen dat van beneden geen warmte wordt toegevoerd aan de onderlaag der continenten; is dit werkelijk het geval, dan moet de temperatuur van de basaltonderlaag dus van het substraat, gelijk zijn aan de basis van de continenten.

Day, Sosman en Hostetter hebben gevonden dat in vloeibaar basalt kristallisatie optreedt als de temperatuur tot 1050 gr. is gedaald; bij den hoogen druk die heerscht onder de continenten zal het smeltpunt hooger liggen, maar aangezien men hieromtrent geen positieve gegevens heeft, maar slechts op schattingen is aangewezen, zullen wij alleen rekening houden met de experimenteele gegevens. Wij nemen dus voor de temperatuur van de basis van de continenten en dus ook van het substraat 1050 gr. Indien wij de hoeveelheid warmte, voortgebracht door de radioactieve werkingen, per sec. per ccm. stellen = Q; de dikte der continentale laag = D; en de geleidbaarheid = K, dan kan men aantonen dat de gezochte temp.

$$T = \frac{Q \times D^2}{2K} \quad Q = 0.8 \times 10^{-12}; \quad D = 31 \times 10^5;$$

$$K = 4.10 \times 10^{-3}.$$

Hieruit volgt: $T = 961$ gr. Deze uitkomst geeft een bevestiging van de meening dat de warmte die door de continentlaag naar de oppervlakte wordt gevoerd hoofdzakelijk, zoo niet geheel haar ontstaan vindt in de radioactieve werking. De vraag is nu nog, waar blijft de warmte, die onder in het substraat wordt ontwikkeld: op die plaatsen waar de dikte der continentlaag minder of gelijk is aan de gemiddelde dikte zal deze warmte overgaan in de continentlaag; waar deze laag belangrijk dikker is dan het gemiddelde zal het tegenovergestelde plaats hebben: een deel der warmte vloeit af naar het substraat.

Een voor de hand liggende conclusie uit de genoemde resultaten is deze: in het substraat dat onder de continenten ligt wordt de door de radioactieve werkingen ontwikkelde warmte opgehoopt. Bij het substraat dat zich onder den bodem der oceanen bevindt is de toestand een weinig anders; daar is het substraat onmiddellijk in contact met het koude water; de radioactieve warmte van de bovenste lagen van het substraat gaan door geleiding over in den oceaan; maar op zekere diepte zal het basalt, wederom wegens de

aanwezigheid van radioactieve stoffen een temperatuur hebben gelijk aan zijn smeltpunt; een laag basalt die dezelfde temperatuur heeft als die van de onderliggende laag, nl. de smelttemperatuur, bewaart de warmte die beneden aanwezig is op dezelfde wijze als de continentlaag de warmte van het onderliggende magma bewaart. Dus van dieper gelegen gedeelten van het substraat kan geen warmte door den oceaانبodem ontwijken en ook daar zal de warmte worden opgehoopt evenals bij de continenten. Volgens Cotter is de kritische diepte, beneden welke alle ontwikkelde warmte wordt opgehoopt, ongeveer 48 K.M.

III.

Er blijkt dat de door de radioactieve stoffen ontwikkelde warmte voor een deel ontwijkt, maar voor een deel wordt opgehoopt. Lord Rayleigh heeft het eerst op de beteekenis dezer warmte-accumulatie voor de geschiedenis der aardschors gewezen: dat deze warmte-accumulatie gedurende den geheelen geologischen tijdsduur een beslissende factor is geweest. Tegelijk met dit denkbeeld is in de geologie een ander idee op den voorgrond gekomen, dat vooral in verband met het eerste de basis vormt voor nieuwe beschouwingen over de geschiedenis der aardschors. Het is de leer der isostasie, welke aanneemt dat de continenten drijven in een plastische massa van groote dichtheid, terwijl de oceaانبodem op deze onderlaag rust; zwaarder en hooger opgeheven continentmassa's worden in evenwicht gehouden doordat zij een grooter volumen der onderlaag verplaatsen, op dezelfde wijze als groter en zwaarder schepen een grooter diepgang hebben dan kleine vaartuigen. Het eerst werd dit denkbeeld geopperd door Airy, naar aanleiding van graadmetingen in de nabijheid van het Himalayagebergte, waarbij bleek dat de afwijking van het schietlood tengevolge van de nabijheid van de groote bergmassa's niet zoo groot was als men door berekening had gevonden; Airy verklaarde dit door aan te nemen dat de bergmassa's diep in de onderliggende laag waren ingezonken en dat dus de storing in de verticale lijn van twee invloeden afhing: de vermeerdering der attractie door de nabijheid der bergmassa's en de vermindering der attractie door de verplaatsing van de zware lava, waarvan de plaats door lichter materiaal is ingenomen. De leer der isostasie neemt dus aan compensatie door verplaatsing in het substraat. Bij volledige compensatie zouden prisma's van gelijke horizontale doorsneden, die op den bodem der isostatische laag geplaatst zijn gelijke massa's moeten hebben, waar zij zich ook op de aarde bevinden; de ervaring heeft geleerd dat dit alleen waar is, indien de doorsnede van de prisma's zeer groot wordt genomen: ongeveer een vierkante graad gemeten aan den evenaar. De kleinere prisma's zijn niet gecompenseerd; de rigiditeit van de

aardkorst verdeelt het gewicht zoo, dat de compensatie van de kleinere prisma's opgaat in de compensatie van de landmassa als geheel genomen.

De grooter bergreeksen zijn gecompenseerd — soms meer soms minder, — doordat het lichter materiaal waaruit zij zijn opgebouwd, zich dieper naar beneden voortzet in het zwaarder materiaal van het substraat; de Himalaya bleek voor 80 % gecompenseerd. De diepte waarin deze ondergedompelde protuberansen zich voortzetten moet zeer aanzienlijk zijn, daar er slechts een gering verschil in dichtheid is tusschen de gesteenten en het substraat.

Tot een schatting van de grootte der compensatie komt men door waarnemingen omtrent de zwaartekracht; bij het berekenen van deze grootte moet rekening gehouden worden met tal van oorzaken van storing, zoowel plaatselijke als verwijderde topographische invloeden; vervolgens moet in aanmerking genomen de lengte en breedte van de plaats van waarneming, de hoogte boven den zeespiegel. Voor een bepaalde plaats wordt de zwaartekracht berekend terwijl de noodige correcties worden in acht genomen; deze waarde wordt vergeleken met de waarde welke uit slingerproeven wordt gevonden. Het verschil is de zoog. zwaartekracht-anomalie. Deze anomalie geeft aan de plaatselijke afwijking van de volkomen isostasie.

Het feit der isostasie is door tal van waarnemingen meer en meer bevestigd (Dr. Meinesz). Uit de verrichte waarnemingen blijkt nl. dat de compensatie zoo volkomen is dat de theorie der isostasie een groote graad van waarschijnlijkheid kan worden toegekend.

In het voorafgaande werd verondersteld dat het substraat zou bestaan uit basalt. Voor deze opvatting kunnen meerdere redenen worden aangegeven: vooreerst de geologie leert dat in den loop der tijden groote opheffingen van de continenten hebben plaats gehad. Wij weten hiervan alleen dat deze bewegingen geschied zijn ten opzichte van den oceaen; het is echter onmogelijk dat de oceaen of de continenten zich ten opzichte van elkaar enkele honderden meters verplaatsen als het substraat, waarop zij zich bevinden niet in vloeibaren toestand verkeert en in staat is zich zijdelings te verschuiven. Er werd gevonden dat deze storingen steeds samengingen met het verschijnsel dat groote hoeveelheden tot honderduizenden kubieke K.M. hoogverhit, vloeibaar basalt door scheuren van beneden opkwam en over de oppervlakte van het land vloeide. — Verder: is basalt inderdaad de zelfstandigheid, waarop de continenten drijven, dan moet deze stof in vloeibaren toestand een grooter dichtheid hebben dan de stof waaruit de gesteenten zijn opgebouwd; uit de reeds genoemde onderzoekingen van Day, Sosman en Hostetter is gebleken dat dit voor basalt het geval is.

(Wordt vervolgd).