

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

V. A. Magnickij

Vnitřní stavba Země

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 5-6, 637--650

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137365>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Prof. V. A. MAGNICKIJ

VNITŘNÍ STAVBA ZEMĚ¹⁾

Vnitřní stavba naší planety je jedním z nejnvýznačnějších problémů dnešní přírodovědy. Zdaleka ještě není rozřešen, avšak vědecké úspěchy v posledních desetiletích umožnily podstatně doplnit naše znalosti v tomto oboru.

Důležitost poznání vnitřní stavby Země i způsobů jejího vývoje určují dva důležité momenty.

Za prvé souvisí s tímto problémem otázka vývoje nejvrchnějšího z pevných obalů zemského tělesa, t. zv. zemské kůry. Dnes víme, že její formování probíhá po celou dobu vývoje Země, že zemská kůra je produktem fyzikálních a fyzikálně-chemických procesů, které proběhly a probíhají hluboko v nitru naší planety. Znat, jak se zemská kůra vyvíjí, je naprosto nezbytné pro vyhledávání ložisek užitkových nerostů, pro předpovídání zemětřesení a seismické rajonování, pro studium pomalých pohybů zemské kůry, jež mají značný vliv na praktickou činnost člověka (všem jsou známy příklady klesání břehů Holandska, jež si vynucuje budování ochranných hrází; ustupování moře a vysoušení přístavů) a konečně je zřejmá důležitost těchto pohybů pro hydrotechnické stavby.

Za druhé se vztahuje k problému vnitřní stavby Země jedna z nejnvýznamnějších otázek, jež souvisí se světovým názorem, a to otázka vzniku Země a ostatních planet. Právě úspěchy planetární kosmogonie za posledních desetiletí umožnily nově přistoupit ke studiu vývoje a stavby Země. Avšak i samy údaje o stavbě a vývoji Země ve srovnání s údaji o stavbě ostatních planet přispívají k řešení kosmogonických problémů.

Stavbou Země budeme rozumět nejen „architektonické“ schema stavby, ale i chemické složení, fyzikální stav a vlastnosti zemské látky. Jenom málo se dotkneme některých fyzikálních a fyzikálně-chemických procesů, probíhajících v zemském nitru.

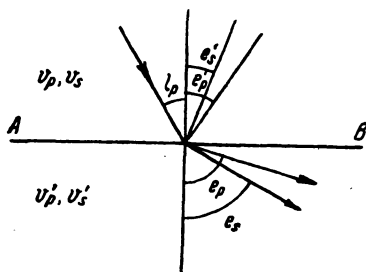
Složitost problému a jeho dosud neúplné prostudování vyžadují, aby v četných případech bylo poukázáno na spornost řešení té či oné otázky a na existenci rozličných názorů.

Methody studia

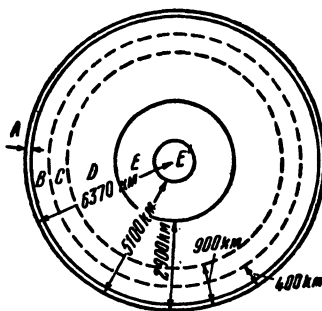
Vnitřní stavbu Země studuje geofysika, jejíž hlavní obory jsou: seismologie a seismometrie, geothermika, geomagnetismus, gravimetrie a theorie tvaru Země, a rovněž zobecňující theoretická část, která se obvykle nazývá fyzikou Země. Geofysika je na styku geologie a fyziky, geochemie a kosmogonie. Nesnáze stojící před geofysikou jsou velké. Spočívají v komplexnosti problému, v nemožnosti přímých pozorování ve velkých hloubkách; výsledky pozorování, vykonaných v blízkosti zemského povrchu, mohou se zpravidla vykládat různě při jejich využití ke studiu stavby ve větších hloubkách. Vysoké teploty a tlaky uvnitř Země mohou vést k vytváření dosud neznámých nebo málo prostudovaných sloučenin nebo stavů látek, což zvěšuje složitost problému. K řešení nutno dodat, že dosud ještě nelze napodobovat v laboratoři podmínky panující v hloubkách několika set kilometrů a také použití method theoretické fyziky při studiu větších hloubek Země se setkává se specifickými nesnáze. Nicméně již dnes, díky úspěchům seismologie, můžeme tvrdit, že známe v hlavních rysech dosti spolehlivě všeobecný charakter stavby Země — jejího rozdělení na obaly.

¹⁾ Prof. V. A. Magnickij, *Vnutrennje strojenije Zemli*, Priroda, č. 7, 1956.

Jedním z úkolů seismologie je studium elastických kmitů, vznikajících při zemětřeseních a šířících se v zemském tělese. Tyto kmity se nazývají seismickými vlnami. Existují dva základní typy vln — podélné *P* a příčné *S*. Podélné vlny, jež vznikají v pevném tělese, představují vlastně v tělese se šířící postupná zhuštění a zředění, při nichž částice kmitají ve směru šíření vlny; jsou zcela analogické obyčejným zvukovým vlnám. Příčné vlny jsou deformace, šířící se v zemském tělese, při nichž hlavní kmitání částic se děje kolmo na směr šíření vlny. Ostatními druhy vln se nebudeme zabývat, neboť jsou málo důležité s hlediska našeho úkolu. Pro šíření obou typů vln můžeme dobře použít zákonů lomu a odrazu, známých z geometrické optiky, zavedeme-li analogicky



Obr. 1. Odraz a lom seismických vln.
i — úhel dopadu; *e'* — úhel odrazu; *e* — úhel lomu.



Obr. 2. Schema stavby Země podle údajů seismologie.

s optikou pojem seismického paprsku jako čáry, podél níž se šíří seismické kmity. Přímkou *AB* na obr. 1 nechť představuje rozhraní dvou prostředí. Označíme-li rychlosti vln v horním prostředí v_p a v_s , a ve spodním prostředí v'_p a v'_s , pak platí vztah

$$\frac{\sin i_{p,s}}{\sin e_{p,s}} = \frac{v_{p,s}}{v'_{p,s}}$$

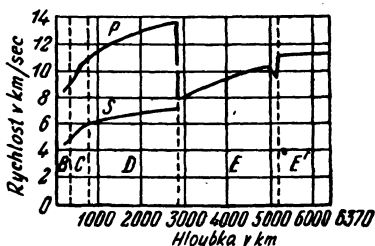
Rozdílné od optiky bude pouze to, že každý seismický paprsek, který dopadá na rozhraní, bude poskytovat dva paprsky lomené a dva odražené (podélný a příčný).

Seismické stanice, rozmístěné po celém povrchu zemském, zaznamenávají zvláštními přístroji (seismografy) příchod seismických vln, jež vznikají při zemětřeseních. Při tom se zaznamenávají nejen přímé vlny, které přišly přímo od ohniska zemětřesení, nýbrž i vlny lomené nebo odražené na vnitřních rozhraních prostředí s různými rychlostmi. Takovým způsobem máme možnost zjistit uvnitř Země některá rozhraní, jež oddělují různé obaly zemského tělesa. Na obr. 2 je schema rozdělení Země na základní obaly podle seismických údajů. Zevní vrstva *A* se nazývá zemskou kůrou, která má na různých místech rozličnou tloušťku — od několika kilometrů do několika desítek kilometrů. U její stavby se zastavíme níže podrobněji. Vrstvy *B*, *C* a *D* se nazývají obecně zemské obaly, při čemž vrstva *C*, která je charakterisována sice plynulým, avšak velmi rychlým vzrůstem v_p a v_s , vyniká jako zvláštní přechodová vrstva. Vrstva *E* se nazývá zemské jádro a centrální jádřerko *E'* nazývá se vnitřním jádrem Země. Jeho existence byla zjištěna teprve nedávno.

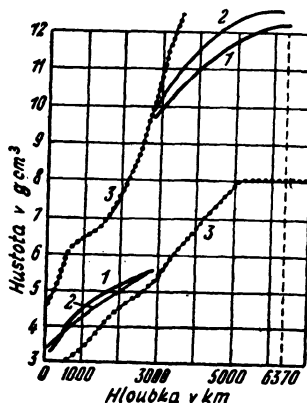
Třeba dodat, že ještě nedávno se seismologové domnívali, že kromě uvedených vrstev jsou v zemském nitru ještě četná jiná rozhraní, na nichž se vlastnosti zemských látek mění skokem. Taková rozhraní byla zjištěna na př. v hloubkách 1200, 1700, 2450 km. Rozbor seismických údajů, nedávno provedený, však ukázal malou opodstatněnost

zjištění těchto rozhraní; přesnější analýza výsledků pozorování umožnila zjistit, že stavba Země je stejnorodější, než se předpokládalo. Dnes se seismologové domnívají, že ze všech rozhraní uvnitř obalu skutečně existuje pravděpodobně pouze rozhraní v hloubce kolem 900 km.

Na obr. 3 je graf změny v_p a v_s s hloubkou, počínaje od 100 km. Rychlosti v menších hloubkách budou probrány níže. Obr. 3 jasně ukazuje zvláštní chování rychlostí v_p a v_s v přechodové vrstvě C a odchylné vlastnosti této vrstvy. Je třeba si všimnouti hranice jádra. Zde se rychlosti v_p náhle skokem zmenšují a vlny S patrně vůbec jádrem neprocházejí, přestože existují náznaky toho, že ve vnitřním jádru se tyto vlny opět vyskytují.



Obr. 3. Graf závislosti rychlosti šíření seismických vln na hloubce.



Obr. 4. Graf závislosti hustoty Země na hloubce. 1 — podle údajů Bullenových; 2 — podle údajů Moloděnského; 3 — horní a dolní mez hustoty podle údajů Moloděnského.*)

Rychlosti seismických vln v_p a v_s závisí na mechanických vlastnostech prostředí, ve kterém se šíří. Takovými mechanickými charakteristikami prostředí jsou: a) hustota ρ , b) kompresibilita K , již rozumíme konstantu úměrnosti mezi přírůstkem tlaku a příslušnou relativní změnou objemu nebo hustoty tělesa (při zachování podoby jeho tvaru), c) modul torse μ , jímž rozumíme konstantu úměrnosti mezi silou způsobující deformaci tvaru tělesa a velikostí této deformace (deformace tvaru je charakterisována změnou úhlů). Zdůrazněme, že modul torse ideální kapaliny je roven nule, poněvadž taková kapalina bez odporu přijímá tvar nádoby ji obsahující. Rychlosti seismických vln může tedy být využito ke studiu mechanických vlastností látky v různých zemských oblastech.

Zjištěním existence rozvrstvení Země na obaly a stanovením rychlostí šíření seismických vln v každém z nich, nerozřešila ještě seismologie otázku příčin takového rozvrstvení, ani charakter procesů, jež vedly k dnešní struktuře zemského tělesa. Tyto otázky mají však prvořadý význam jak pro kosmogonii, tak i pro geologii.

Dnes existují dvě hlavní varianty pro výklad rozdílu mezi zemskými obaly: 1. obaly se liší jeden od druhého chemickým složením; 2. rozdíly jsou podmíněny nestejným fázovým stavem látek v obalech (amorfní, krystalické, různé krystalické modifikace). Je možné, že některé z těchto faktorů se spojují.

Dvě hlavní hypotézy existují i pro výklad příčin takového rozvrstvení. První hypotéza předpokládá, že obaly vznikly rozdělením zemské látky podle specifické váhy v období, kdy Země byla v roztaveném stavu. V soulase s touto hypotézou liší se obaly jeden od druhého hlavně chemickým složením. Podle druhé hypotézy vedl k rozvrstvení

* V obraze má být „Hustota v g cm^{-3} Pozn. red.

uvnitř Země podle fázového stavu rozdíl teplot a tlaku v různých hloubkách. Tato hypotéza určité nepředpokládá, že Země prošla stadiem roztaveného stavu, ačkoli nevylučuje ani takovou možnost. Konečně je možné, že se tyto hypotézy nějak skládají.

Na chemické složení a fyzikální stav látky v zemských obalech (kromě nejsvrchnějších částí zemské kůry) nemůžeme přímo soudit. Při řešení těchto otázek využíváme nepřímých příznaků, takových, jako je hustota, kompresibilita, modul torse, viskóza, elektrická vodivost a j. Fyzikální stav látky je určen tlakem a teplotou, jež musí být zjištěny pro různé hloubky, aby bylo možno usuzovat na stav látky v příslušných obalech.

Než tedy začneme probírat obaly zemského tělesa, musíme uvést poznatky o těch hodnotách vyjmenovaných veličin, které mají uvnitř Země.

K určení hustoty, kompresibility a modulu torse bylo by možno využít rychlostí seismických vln v_p a v_s . Bohužel však vstupují mechanické charakteristiky do výrazů pro v_p a v_s tak, že lze určit pouze poměry zmíněných veličin, nikoli však každou veličinu samostatně. Proto, abychom se vyhnuli této nesnázi, určuje se obvykle nejprve hustota, kterou určíme pomocí doplňujících údajů. Za takové se berou massa Země M (která se určuje z tíhových měření), moment setrvačnosti Země I (vypočítaný z astronomických pozorování v kombinaci s údaji tíhových měření) a hustota svrchních vrstev Země ρ_0 (která se měří přímo). Tyto údaje však nedostačují k jednoznačnému určení zákona změny hustoty uvnitř Země a proto získali různí vědci v různých dobách nestejná vyjádření zákona rozdělení hustoty. První ve své době vědecky podložené rozložení hustoty získal v XVIII. stol. Legendre. Dnes má však zákon Legendreův pouze historický význam, poněvadž byl odvozen bez zřetele k rychlostem seismických vln, které byly tehdy ještě neznámé.

Největší pozornosti zasluhují zákony, odvozené s přihlédnutím k v_p a v_s , z nichž uvádíme na obr. 4 dva nejznámější: zákon odvozený Bullenem a zákon odvozený M. S. Moloděnským. Bullenův zákon odpovídá případu, kdy se hustota zvětšuje s hloubkou pouze vlivem růstu tlaku. Výjimku činí pouze hranice jádra, kde hustota vzrůstá skokem, a přechodová vrstva C, kde hustota roste sice spojitě, avšak rychleji, než by odpovídalo pouze účinku tlaku. Tyto odchylky v průběhu změny hustoty byly učiněny v soulase se seismickými údaji proto, abychom dostali správnou hodnotu pro moment setrvačnosti Země. Při odvození Moloděnského bylo použito jako doplňujících údajů též výsledků pozorování kolísání zemských pólů a slapů v zemském tělese. Kromě toho, což je velmi důležité, určil M. S. Moloděnský horní a dolní mez pro možné hodnoty hustoty v každé hloubce. Příslušné křivky jsou též na obr. 4, při čemž horní hranice pro větší hloubky není udána, poněvadž tam pozbývá smyslu. Je zřejmé, že skutečný zákon hustoty musí být v těchto mezích, které též charakterisují stupeň neurčitosti našich znalostí. Známe-li hustotu, můžeme snadno vypočítat i tlak uvnitř Země. V tab. 1. jsou hodnoty tlaku v různých hloubkách vypočtené v soulase s Bullenovým zákonem hustot.

Tabulka 1.

Hloubka v km	Tlak v atm	Hloubka v km	Tlak v atm
100	$31 \cdot 10^3$	2200	$990 \cdot 10^3$
300	$100 \cdot 10^3$	2900	$1370 \cdot 10^3$
600	$213 \cdot 10^3$	3600	$2030 \cdot 10^3$
900	$346 \cdot 10^3$	5000	$3120 \cdot 10^3$
1600	$680 \cdot 10^3$	6370	$3510 \cdot 10^3$

Tak tlak na hranici jádra dosahuje téměř jeden a půl milionu atmosfér. Je tak velký, že jej lze těžko dosáhnout experimentálně. S druhé strany není ještě dosti veliký, aby bylo možno s úspěchem použít metody statistické theorie atomu, jak se to již úspěšně dělá při výzkumu složení hvězd, v jejichž nitru jsou obrovské tlaky.

Konečně znalost hustoty umožňuje určit též hodnotu kompresibility K a modulu torse μ uvnitř Země. Hodnoty K a μ jsou graficky znázorněny na obr. 5.

V otázce teploty v hlubokých částech Země jsou naše znalosti ještě více omezené. Dostí dobře jsou nám známy pouze tyto údaje: a) tepelný tok Q zemským povrchem (množství tepla, protékající 1 cm^2 zemského povrchu za 1 vteřinu směrem z nitra Země na povrch); hodnoty Q jak na pevninách, tak i na oceánech jsou přibližně stejné a jsou blízké $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$; b) teplota láv, vyvrhovaných sopkami, která je v průměru blízká 1200°C ; c) teplota tání důležitějších vyvřelých hornin při nepříliš velkých tlacích; d) obsah radioaktivních prvků v horninách zemské kůry a v meteoritech. V tab. 2. je uvedeno množství tepla, uvolňované významnějšími typy hornin na úkor přeměn v nich obsažených radioaktivních prvků.

Tabulka 2.

Hornina	Granity	Basalty	Ultrabazické	Kamenné meteority	Železné meteority
Uvolnění tepla v $10^{-12} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$	5,3	1,5	0,04	0,1	0,03

Známe-li velikost tepelného toku a tepelnou vodivost hornin zemské kůry, můžeme snadno stanovit velikost geothermického stupně, t. j. hloubkový interval, v němž se teplota zvyšuje o 1°C . Pro zemskou kůru je tento stupeň v průměru roven 100 m. Uvážíme-li kromě toho změnu geothermického stupně s hloubkou, dostaneme, že v hloubce 100 km musí být teplota asi 1300°C .

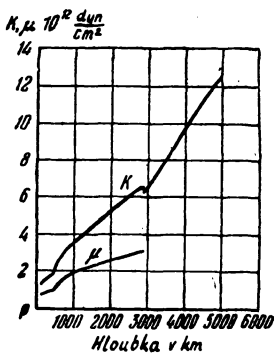
Vydeme-li z teploty láv a teploty tání hornin, dostaneme pro hloubky kolem 100 km (prvotní magmatické krby, zásobující sopky, nacházejí se podle seismických údajů ve hloubkách od 60 do 100 km) teplotu kolem $1400\text{--}1500^\circ \text{C}$. Konečně lze vypočítat teplotu ve hloubce 100 km theoreticky, vydeme-li z údajů obsažených v tab. 2. o uvolňování radiogenního tepla horninami. Při výpočtu teplot pro hloubky, které nejsou větší než 100 km, je zcela jedno, jaký stav pro Zemi vezmeme za počáteční, je-li její stáří nepatrně menší než $5 \cdot 10^9$ let. Z rovnice tepelné vodivosti dostaneme pak pro hloubku 100 km teplotu 1200°C . Tak tedy třemi nezávislými způsoby dostáváme pro hloubku 100 km teplotu kolem 1300°C . S velkou pravděpodobností lze se domnívat, že v různých oblastech zemského tělesa je v této hloubce teplota poněkud rozdílná, avšak sotva asi vybočuje z mezí $900\text{--}1500^\circ \text{C}$.

O teplotě ve velkých hloubkách lze si učinit pouze nejhrubší představu. Je jisté, že ať se vytvářela Země jakkoli, její látka v hlubinách musí být stlačena tlakem výše ležících vrstev. Poněvadž však tepelná vodivost hornin je malá, pak k tomuto stlačení muselo dojít prakticky bez přítoku tepla z vnějška a bez jeho ztrát, t. j. adiabaticky. Při tom, čím více je látka stlačena, tím silněji bude rozehráta, a v nitru Země se musí pozorovat v krajní míře adiabatický teplotní gradient. Tento gradient může být vypočten ze seismických údajů; takový výpočet provedl Valle. Poněvadž však není možno vypočítat přímo teplotu, nýbrž pouze její gradient, t. j. přírůstek teploty, vzniká otázka, jakou teplotu a v jaké hloubce máme vzít za výchozí. Obvykle se vychází z teploty v hloubce řádově 100 km, která byla získána dříve popsáním způsobem, a k ní se připočítává

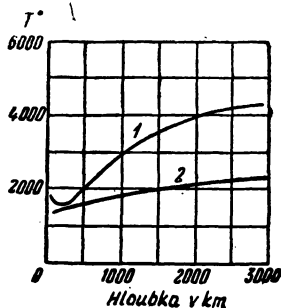
přírůstek, určený z adiabatického gradientu. Avšak takový postup je správný pouze tehdy, jestliže látka ve větší hloubce než 100 km je promíšena konvenčním prouděním a tak přivedena do stavu tepelné rovnováhy. Tato hypotéza však není ve skutečnosti ničím dokázána. Na obr. 6 je křivka teploty, získaná z údajů Valleho uvedenou methodou.

Za horní hranici bylo by možno přijmout teplotu tání, poněvadž obal Země je pevný v tom smyslu, že se jím v souhlase se seismickými údaji se šíří příčné vlny. Na obr. 6 je uvedena křivka teploty tání po některých opravách ve srovnání s dříve uveřejněnou.

Je však třeba zdůraznit, že příčné vlny mohou se šířit také látkou v amorfním, sklovitém stavu, jestliže má teplotu nižší než teplota roztavení, t. j. teplota, při které začíná



Obr. 5. Koefficient stlačitelnosti (kompresibilita) K a modul μ uvnitř Země.



Obr. 6. Graf teploty v obalu Země. 1 — teplota tání; 2 — adiabatická teplota.

ostře klesat viskozita skla, a to se stává tekutým. Při vysokých tlacích může být tato teplota větší než teplota tání o 10—20%. Tak tedy skutečná teplota ve velkých hloubkách je s velkou pravděpodobností v mezích, uvedených na obr. 6, není však vyloučena možnost, že může z těchto mezi poněkud vybočit.

Určit teplotu ve velkých hloubkách je možno ještě jiným způsobem. Studium variací geomagnetického pole umožnilo určit elektrickou vodivost látek obalu v rozličných hloubkách. Lze ukázat, že taková elektrická vodivost je možná u silikátů, z nichž, jak se obvykle předpokládá, sestává zemský obal při teplotách ne nižších než 1500° C. Jestliže však má obal značnou příměs kyslíčků železa, pak zjištěná elektrická vodivost může existovat i při nižších teplotách.

Co se týká zemského jádra, tu se obvykle soudí, že teplota v něm málo závisí na hloubce.

Jádru Země

Rozbor stavby, vlastností a složení hlavních obalů Země začneme od zemského jádra. Existence zemského jádra, které se ostře odlišuje svými vlastnostmi od výše ležícího obalu, byla po prvé dokázána seismologií. Dnes existují dvě základní hypotézy o složení jádra a způsobu jeho vzniku: hypotéza železo-niklového jádra a hypotéza fázové přeměny za účinku vysokých tlaků. Časově prvá hypotéza spočívala na představě, že Země byla původně ve „žhavotekutém“ stavu. Při tom se zdálo přirozeným, že jádro, jakož i ostatní obaly, vzniklo během procesu diferenciacce látky Země na metalické, železo-niklové jádro a kamenný obal, podobně jako probíhá proces rozvrstvení ve vysoké peci. Kromě ukázané analogie uváděly se na prospěch hypotézy o železném jádře i takovéto

argumenty: hustota jádra je dosti blízká hustotě, kterou by mělo železo při příslušném tlaku (po dlouhou dobu to byl jeden z rozhodujících argumentů), magnetické pole Země se spojovalo s magnetisací železného jádra; existence železných meteoritů, jež byly považovány za úlomky jádra rozpadnuvší se planety, rovněž svědčila ve prospěch této hypotézy.

Nedávné výzkumy M. S. Moloděnského, opírající se o pozorování kolísání pólů a slapů zemské kúry, a též J. F. Savarenského výzkumy charakteru odrazu seismických vln od povrchu jádra ukázaly, že modul torse v jádře je dešetkrát a dokonce i stokrát menší než v obalu, a velmi pravděpodobně je blízký nule. Tak tedy zemské jádro nachází se ve stavu, který označujeme jako kapalný. To vysvětluje dávno známý fakt, že příčné vlny neprocházejí jádrem. Možnost existence roztaveného jádra při pevném stavu obalu a patrně též pevném vnitřním jádře byla objasněna nedávno. Jacobs ukázal, že teplota tání železa je mnohem nižší než teplota tání hornin obalu (viz obr. 6). S druhé strany, adiabatický gradient v roztaveném železném jádře je menší než gradient teploty tání, což vysvětluje ztuhnutí vnitřního jádra, které v souhlase s touto hypotézou se liší od vnější části jádra již nejen svy složením, nýbrž i fázovým stavem (obr. 7).

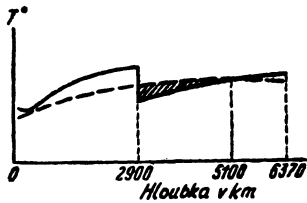
Avšak v posledních letech hypotéza, že jádro je složeno ze železa, naráží na četné, těžko překonatelné námítky. Nepochopitelný při bližším rozboru je sám proces diferenciace podle specifické váhy. Jde o to, že při velkých tlacích uvnitř Země je viskozita látky tak velká, že na diferenciaci by nestačila celá doba, po níž existuje Země. Hovořit o jakékoli gravitační diferenciaci ve vnitřním jádře nemá celkem smyslu, poněvadž tíže je tam blízká nule. Podle seismických údajů jsou hranice jádra a obalu i vnitřního jádra velmi zřetelné, ostré, což lze nesdažno vysvětlit s hlediska procesu diferenciace. Mnoho údajů mluví ve prospěch toho, že je málo pravděpodobný předpoklad, že Země existovala ve stadiu kapalném. Konečně srovnání střední hustoty Země $\rho_m = 5,52 \text{ g/cm}^3$ se středními hustotami ostatních planet zemské skupiny vede k závěru, že pouze Venuše má těžké jádro, avšak Mars a Měsíc takové jádro nemají a celkově sestávají z lehčího materiálu. Je tedy třeba předpokládat, že existuje málo pochopitelný rozdíl ve složení planet zemské skupiny.

Dnes se stále více těší pozornosti druhá hypotéza o stavbě jádra. Již r. 1939 vyslovil V. N. Lodočnikov tuto myšlenku: velká hustota zemského jádra je způsobena tím, že účinkem velkých tlaků rozpadají se elektronové obaly (alespoň vnější) některých atomů; při tom se jádra atomů k sobě přiblíží, což vede k ostrému zvětšení hustoty látky. Dále byla tato myšlenka, patrně nezávisle, podrobněji rozvíta Ramseyem, který tento přechod vysvětlil ve fyzice známým jevem přechodu látky v metalickou fási (na př. žlutý fosfor přechází při vysokém tlaku v metalický černý fosfor a j.). Přitom vzniká nejen značné zvětšení hustoty, ale „uvolněné“ elektrony dávají látce i takové typické vlastnosti kovů, jako je vysoká (metalická) elektrická a tepelná vodivost. Ramsey ukázal, že při tlaku, který je na hranici jádra, takový přechod neodporuje základním fyzikálním vztahům. Bohužel však velmi složité výpočty dosud nedovolily přesně dokázat, že v dané hloubce je podobný přechod nutný. Tato hypotéza odstraňuje hlavní z dřívě uvedených obtíží. Hranice jádra je ostrá, poněvadž fázový přechod se uskuteční ihned po dosažení kritického tlaku. U Měsíce a Marsu není těžkého jádra, poněvadž tlak v jejich středu zdaleka nedosahuje $1400 \cdot 10^8 \text{ atm}$. Jádro má pouze Venuše, poněvadž v jejím nitru je potřebný tlak. Odpadají všechny obtíže, souvisící se zdlouhavostí diferenciace. Změna vlastností skokem na hranici vnitřního jádra se přirozeně vysvětluje příslušným fázovým přechodem. Pro jádro zachovávají se všechny potřebné vlastnosti kovu a tedy i možnost vysvětlení zemského magnetismu. V podstatě zůstane nevysvětlen pouze vznik železných meteoritů a nenormálně vysoká hustota maličkého Merkura.

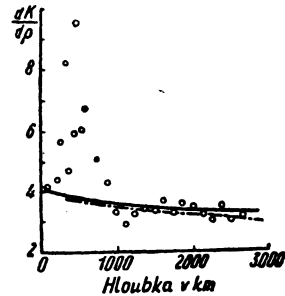
Jak již bylo připomenuto, se žerňským jádrem spojuje se obvykle též vznik geomagne-

tického pole a jeho věkových variací. Tato otázka však ještě zdaleka není jasná; existují pouze první nadějně náznaky na vytvoření teorie. Magnetická pole se spojují s procesy v kapalném jádře, při nichž vznikají proudy. Avšak sama možnost existence takových procesů není spolehlivě dokázána. Zde bude třeba vykonat ještě mnoho práce.

Závěrem zdůrazňujeme, že dnes ještě nemáme rozhodujících podkladů ke konečnému závěru kterékoli z uvedených hypotéz. Vyvrácení jedné z nich objasnilo by proces vzniku Země a způsob jejího vývoje. Konečně hypotéza Ladočnikovova-Ramseyova nevyklučuje vznik Země přes stadium roztavení, avšak přirozeněji se spojuje s hypotézou



Obr. 7. Oblast možného tání jádra podle Jacobse (vyčárkováno). Plná křivka — teplota tání; čárkovaná křivka — předpokládaná teplota Země.



Obr. 8. Srovnání theoretických a experimentálních hodnot $\frac{dK}{dP}$.

Kroužky — experimentální hodnoty; plná čára — theoretická křivka podle Bircha; čarovaná — theoretická křivka podle Magnic-kého.

„chladného“ vzniku Země. Předpoklad železného jádra však těsně souvisí s hypotézou, že Země byla roztavená a postupně se ochlazovala, což určilo i způsob jejího dalšího geologického vývoje.

Obal Země

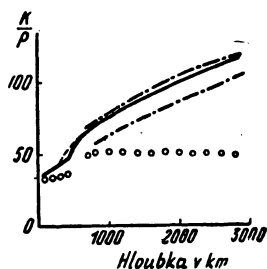
Zemský obal je prozkoumán poměrně více než jádro, avšak i zde ještě zůstávají četné nerozřešené nebo ne zcela vyjasněné otázky. Výše bylo ukázáno, že seismické údaje a srovnání teploty tání s pravděpodobnými teplotami v obalu vedou k závěru, že látka obalu je v pevném stavu. Modul torse obalu je v průměru roven $2 \cdot 10^{12}$ dyn/cm², což je 2—3krát více, než mají lepší druhy oceli.

Složení vrchních částí obalu lze určit, porovnáme-li rychlosti seismických vln s rychlostmi, získanými experimentálně pro různé horniny při příslušných tlacích. Dnes se uznává, že složení vrchní části obalu je blízké peridotitům a částečně pyroxenům (horniny sestávají v podstatě ze silikátů $[Mg, Fe]_2SiO_4$ a $[Mg, Fe]SiO_3$ s nepatrnou příměsí ostatních sloučenin). Je velmi důležité, že průměrně totéž složení mají i kamenné meteority. Četní badatelé (P. N. Kropotkin, F. Ju. Levinson-Lessing, Verhoogen, Powers) ukazují, že magma, pocházející z takového obalu, musí mít basaltové složení, což dobře souhlasí s geologickými údaji. Je třeba poznamenat, že hustota 3,3—3,4 g/cm³, která se při tom získá, úplně souhlasí se dříve uvedenými theoretickými hodnotami pro vrchní části obalu.

Pro větší hloubky jsou přímá srovnání obtížná, poněvadž za podmínek, které vládou v těchto hloubkách, se dosud nepodařilo získat experimentálně rychlosti šíření elastických kmitů ve vzorcích příslušných hornin.

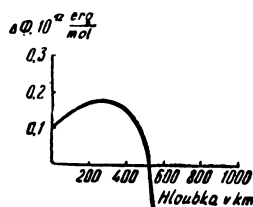
K posouzení stavby hlubokých částí obalu lze využít toho, že z rychlostí seismických

vln v_p a v_s lze pro každou hloubku určit poměr kompresibility K k hustotě ρ a také poměr přírůstku kompresibility ΔK k přírůstku tlaku ΔP . Tyto veličiny lze vypočítat pro nejzajímavější sloučeniny pomocí vzorců, odvozených v teorii pevné fáze. Autor porovnal hodnoty $\frac{\Delta K}{\Delta P}$ a $\frac{K}{\rho}$, získané ze seismických údajů, s jejich theoretickými hodnotami. Na obr. 8 je srovnání pro $\frac{dK}{dP}$, na obr. 9 pro $\frac{K}{\rho}$. Na obr. 8 je uvedena kromě toho theoretická křivka podle Bircha, získaná poněkud jiným způsobem. Na obr. 9 udávají kroužky hodnoty $\frac{K}{\rho}$, určené ze seismických údajů, a redukované na nulový tlak Birchem ne zcela přesně.



Obr. 9. Poměr $\frac{K}{\rho}$ v obalu Země.

Plná čára — experimentální křivka; kroužky — křivka redukováná na nulový tlak; čerchované — theoretické křivky: vrchní — pro MgO , spodní — pro Mg_2SiO_4 .



Obr. 10. Graf změny teploty přechodu $Mg_2SiO_4 + SiO_2 \rightarrow 2 MgSiO_3$ s hloubkou.

Tvar křivek na obr. 8 a 9 ukazuje, že do přechodné vrstvy a pod ní má obal patrně dosti stejnorodé složení. V přechodné vrstvě samé lze předpokládat buď změnu chemického složení, nebo fázovou přeměnu v látce obalu. Fázové přeměny (na př. přeměna z jedné krystalické modifikace do jiné) se obvykle dosahuje velmi ostře po dosažení kritického tlaku a teploty. Okolnost, že přechodná vrstva leží v hloubkách 400—500 km, mluví spíše ve prospěch změny chemického složení.

Analýza křivek, uvedených na obr. 9, ukazuje, že k vlastnostem spodní části obalu se přibližují pouze Al_2O_3 (korund), TiO_2 (rutil), MgO (periklas) s některými příměsí kyslíčků železitých. Ti a Al jsou v přírodě velmi vzácné, přestože některá jejich příměs existuje též v obalu, avšak v podstatě může sestávat z kyslíčků hořčíku a železa. Tak se tedy potvrzuje starý názor V. I. Vernadského a A. J. Fersmana o existenci rudného obalu Země (kyslíčnický), ovšem v poněkud jiném rozsahu a smyslu. Nyní je dosti jasné, že sulfidy nemohou mít podstatnou úlohu ve složení zemského obalu v protikladu k tomu, jak se domnívali V. Goldschmidt, V. I. Vernadskij a A. J. Fersman.

Konečně je třeba jasně zdůraznit, že tyto závěry jsou pouze předběžné; při tlacích a teplotách existujících v hloubce obalu, mohly vzniknout nám neznámé sloučeniny, které mohou podstatně změnit výše učiněné závěry.

Nedávno vyslovil autor hypotézu, že spodní část obalu se liší od vrchní nikoli změnou složení, nýbrž tím, že charakter vazeb mezi atomy, vytvářejícími krystalovou mřížku základního minerálu obalu — olivinu, se mění účinkem dostatečně vysokého

tlaku. Jestliže ve vrchních částech obalu převládá iontový typ vazby, pak sblížen atomů účinkem tlaků vede k převládání kovalentního typu vazby, jako na př. u diamantu. Při tom je možno snadno vysvětlit též značné vzrůstání hustoty, kompresibility a modulu torse, jež lze pozorovat v přechodné vrstvě. Je možné, že s tím souvisí také zvýšení elektrické vodivosti ve hloubkách 400—900 km, pokud lze očekávat, že místo iontové elektrické vodivosti existuje zde elektronová vodivost polovodičů.

Několik poznámek zasluhuje nejvrchnější část obalu ve hloubkách 60—100 km. Seismické údaje (Gutenberg) ukazují na to, že těmto hloubkám přísluší jisté zmenšení rychlosti seismických vln. To lze vysvětlit buď zvětšením procenta železa v silikátech obalu, nebo amorfisací látky obalu, jejím přechodem ve sklovitý stav. Ve prospěch takového předpokladu mluví také to, že v těchto hloubkách leží původní magmatické krby sopek a zmenšuje se počet ohnisek zemětřesení.

Zemská kůra

Pojem zemské kůry úzce souvisí s představou o roztaveném „žhavotekutém“ nitru Země. Nyní kdy víme, že zemský obal je v pevném stavu (alespoň ve smyslu existence velké hodnoty modulu torse), pojem zemské kůry dostal poněkud jiný smysl. Obvykle se zemskou kůrou v geofysice rozumí komplex vnějších částí pevné Země, ležících nad t. zv. plochou Mohorovičičovou.

Plochou Mohorovičičovou se nazývá seismická hranice, po jejímž překročení vzrůstá skokem rychlost podélných vln na hodnotu 8 km/s; nad touto plochou je rychlost vždy značně menší. Mohorovičičova hranice je velmi zřetelná a prakticky se pozoruje všude.

Seismické výzkumy posledních let přesně určují, že na Zemi existují dva hlavní typy zemské kůry: kontinentální a oceánský.

Kontinentální typ kůry je charakterisován mocností v průměru 30—40 km. Seismické průzkumy v různých částech zemské kůry včetně hlubinného seismického sondování byly vykonány methodou a pod vedením akad. G. A. Gamburceva a ukázaly, že tloušťka zemské kůry pod četnými horskými masivy se značně zvětšuje a dosahuje 70—80 km. Kontinentální zemská kůra se rozpadá na četné vrstvy, jejichž počet a mocnost se mění od oblasti k oblasti. Obvykle se rozeznávají dvě hlavní vrstvy: vrchní — granitová a spodní — basaltová, nazvané takto podle typu hornin, které v nich převládají. Mocnost těchto vrstev je v průměru 15—20 km. Avšak v poslední době se objevuje stále více údajů o tom, že takové zřetelné rozdělení na dvě vrstvy je velmi podmíněčné. Na četných místech není možno zjistit, zda existuje hranice mezi vrstvou „granitovou“ a „basaltovou“. Vyslovuje se předpoklad, že se složení kůry mění s hloubkou velmi poněkud.

Oceánský typ kůry je charakterisován malou tloušťkou (5—8 km); podle složení je blízký spodním částem basaltové vrstvy kontinentů, t. j. patrně se skládá z basaltů obohacených olivínem. Není třeba se domnívat, že tento typ kůry patří všem oceánům v jejich geografickém pojetí. Je charakteristický pro části oceánů se dnem v hloubce kolem 4000 m a více. Na území všech oceánů jsou oblasti, kde má kůra stavbu kontinentálního nebo přechodného typu. Jsou to především podmořské vyvýšeniny typu Středně atlantického valu nebo Kokosového hřebenu v Tichém oceánu.

Dno okrajových (Ochotské, Severní) a vnitřních moří je složeno též z kůry kontinentálního nebo přechodného typu. Všechny tyto závěry souhlasí s výsledky měření tíhového zrychlení na kontinentech a oceánech. Tíže na kontinentálních rovinách a rozlehlých prostorách oceánů ukázala se přibližně stejnou, což je možné pouze v tom případě, jestliže nedostatek hmot v oceánských propadlinách vyplněných vodou o hustotě 1,03 g/cm³ (hustota hornin kontinentů je 2,7 g/cm³) je vyrovnán menší mocností kůry, její zvýšenou

hustotou a tím, že jsou blíže u povrchu těžší podkorové látky. To se také potvrzuje seismickými údaji.

Tím vzniká dojem, jako by zemská kůra plovla na podložním těžším prostředí, jako ve vodě plove prám, u něhož, břevna, která se více vynořují nad vodu, mají též větší část pod vodou nebo menší hustotu. Tato analogie je však značně formální, neboť sotva lze mluvit o skutečném plování zemské kůry. Vznik tohoto jevu, jak uvidíme níže, je v podstatě patrně jiný. Tento jev byl nazván isostatickou rovnováhou nebo kompensací, je však správný pouze pro větší části zemské kůry a ani to ne přesně.²⁾ Na četných místech je tento stav silně porušován. Nejzajímavější oblastí takových poruch jsou poměrně úzké (200—300 km), avšak dlouhé (tisíce kilometrů) pásy výrazných, záporných tlhových anomálií. Rozprostírají se nad průrvami hluboko pod vodou nebo rovnoběžně s nimi, což je charakteristické pro okraje Tichého oceánu, Indonesie a některé jiné oblasti. Průrvy, nacházející se hluboko pod vodou, jsou velmi mladé útvary a mají vysokou seismicitu, stejně jako ostrovní oblouky, které jsou s nimi rovnoběžné; zde je zejména soustředěna většina zemětřesení v zemském tělese. To vše ukazuje na vysokou tektonickou aktivitu těchto oblastí; zde dnes probíhají procesy aktivní přestavby struktury zemské kůry. Takové pohyblivé aktivní oblasti s rozvinutým vulkanismem se nazývají geosynklinálními oblastmi. Procesy aktivní přestavby zasahují do značných hloubek; zemětřesná ohniska zde dosahují hloubek 300—400 km. K daným oblastem se druží i hlubší zemětřesení s hloubkou ohnisek až 700 km, avšak jejich souvislost se zmíněnými procesy je problematičtější a má patrně nepřímý charakter.

Problém vzniku dvou typů zemské kůry není ještě zcela rozřešen. Mezi geofysiky a geology existují na tuto otázku různé názory. Avšak mínění, které bylo rozšířeno, že lehká kůra, bohatá na SiO_2 a na aluminium, se oddělila cestou gravitační diferenciace ve stadiu ještě roztavené Země, považuje se nyní za velmi nepravděpodobné. Problém je v tom, že v souhlase s touto hypotézou zemská kůra by musela být původně stejnorodá po celém povrchu zemském. K vysvětlení vzniku oceánského typu kůry je třeba předpokládat, že z oblastí, které nyní zaujímají oceány, byla lehká graniticko-basaltová kůra odstraněna a zkoncentrována na území dnešních kontinentů. Nemluvě o nejasnosti příčin takového procesu odporuje sám předpoklad některým faktům pozorování. Na př. bylo zjištěno, že tepelný tok na oceánech a na kontinentech je přibližně stejný, je-li však správná tato hypotéza, pak tepelný tok na kontinentech by musel být dvakrát větší než na oceánech, poněvadž uvolňování radiogenního tepla v kůře, dříve rovnoměrné pro celý zemský povrch, by bylo později zkoncentrováno jenom v kontinentální části.

Lze učinit i jiný předpoklad: kůra v oblastech oceánských byla znovu pohlcena obalem. Avšak tento proces je naprosto nepochopitelný s hlediska fyzikálního. Jak mohl lehčí materiál, který se dříve přirozeně vynořil vzhůru, utonout v těžkém prostředí? Máme i čtené jiné námitky.

Dnes lze považovat za zjištěné, že se zemská kůra oddělovala z obalu Země postupně během celé dlouhé historie naší planety, a že tento proces ještě pokračuje. Je též jasné, že základní typy zemské kůry vznikly tam, kde se nacházejí územně i nyní.

Vyjdeme-li z našich poznatků o stavbě Země, můžeme se pokusit navrhnout tuto variantu výkladu vzniku dvou hlavních typů zemské kůry, při čemž je nutno zvláště zdůraznit, že je to pouze předpoklad, na který je třeba pohlížet s velkou opatrností a kritičností. Teprve další výzkumy ukáží, co je na něm chybné a co je správné.

Na obr. 10 je křivka, ukazující změnu teploty přechodu pro reakci:



²⁾ Nesmí se zaměňovat jev kompensace s hypotézami isostatické kompensace, které usilují o vysvětlení tohoto jevu.

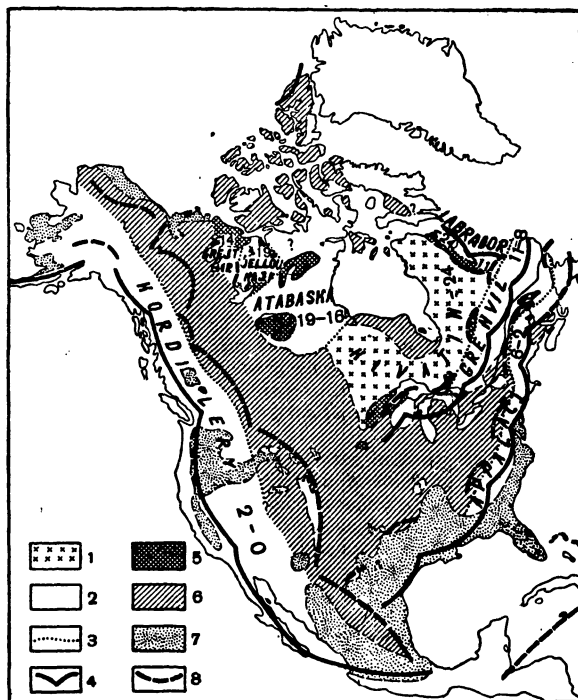
v závislosti na změně tlaku s hloubkou (křivka je přibližná, poněvadž se neuvažuje změna teploty). Poněvadž reakce při rozehrívání probíhá s pohlčováním energie, pak, jak vidíme z obrázku, bude ve hloubkách větších než 500 km stabilním Mg_2SiO_4 , výše však bude metastabilní a stabilním bude $MgSiO_3$. Při zvýšení teploty stane se Mg_2SiO_4 stabilním ve stále menších hloubkách. Při $1557^\circ C$ se $MgSiO_3$ taví již při atmosférickém tlaku, při čemž se vylučuje pevný Mg_2SiO_4 a vzniká tavenina, obohacená SiO_2 . Odstraní-li se SiO_2 , pak reakce rozpadu $MgSiO_3$ proběhne do konce. Výzkumy však ukazují, že výše uvedená reakce probíhá se značnou rychlostí již při mnohem menší teplotě na tu nebo na druhou stranu, podle toho, je-li přebytek nebo nedostatek SiO_2 .

Většina badatelů se dnes domnívá, že Země vznikla jako poměrně chladné těleso a potom se rozehrívala hlavně na úkor uvolňování radiogenního tepla. Poněvadž obal Země nemohl být úplně stejnorodý, objevily se v něm oblasti se zvětšenou koncentrací radioaktivních prvků s poněkud rychlejším rozehríváním. V těchto oblastech reakce nabyla značné rychlosti dříve než v ostatních částech obalu. Poněvadž SiO_2 má malou hustotu, pak jako přebytek začal přirozeně postupně vystupovat nahoru, ochuzuje obal o křemen a podporuje tak průběh reakce. Vrchní část obalu se při tom obohacovala o křemen. Současně patrně probíhala migrace nahoru i jistého množství aluminia. Jako důsledek tohoto procesu vznikla z počátku basaltová, potom i granitová vrstva kůry, při čemž při vzniku granitové vrstvy měly značnou úlohu též procesy eroze, sedimentace a četné jiné faktory. S tohoto hlediska oblasti dnešních oceánů jsou části Země, které poněkud pomalejším rozehríváním zůstaly ve svém vývoji pozadu za všeobecným procesem změny obalu. Konečně i v tomto prostoru proces probíhá, avšak pomalu, a jak ukazují seismické údaje, zde se stačila vytvořit jenom tenká basaltová vrstva. Musí existovat i přechodné případy, což bylo potvrzeno i prakticky. Výpočty ukazují, že změna objemu, ke které dochází v popsaném procesu, by určitě musela oddílit úroveň dna oceánů a povrchu kontinentů o 4—5 km, jak je tomu i ve skutečnosti.

Nastíněné schema vývoje zemské kůry neodporuje ani hlavním závěrům geologie o charakteru procesu formování kontinentálních štítů. Geologové dávno zjistili fakt, že štít se postupně rozrůstá z jednoho, nebo častěji z několika původních jader nebo center stabilisace. Za taková centra stabilisace se považují části štítů, které jako první vyšly ze stadia aktivního geosynklinálního vývoje a nabyly poměrné stability, která je charakteristická pro štítů. Tato prvotní jádra štítů se během geologické historie rozrůstala do stran, takže se postupně přičleňovaly stále nové části, na kterých geosynklinální režim odumíral a zaměňoval se kratogenním. Takové závěry byly v poslední době zvláště přesvědčivě potvrzeny díky tomu, že radioaktivní methodou bylo určeno absolutní stáří hornin. Nová metoda umožnila zcela nově posoudit otázku o časové posloupnosti vzniku formací během celé předkambričské etapy vývoje Země, t. j. za dobu od 3 miliard do 500 milionů let před naší dobou, jinými slovy za dobu, která 5krát převyšuje všechnu dříve studovanou geologickou historii Země.

Jako příklad je na *obr. 11* uvedeno schema vývoje severoamerického štítu podle údajů geologických výzkumů, doplněných zjištěními absolutního stáří podle T. Wilsona. Na obrázku je jasně vidět, že dnešní štít vznikl v několika etapách tak, že se rozrostl ze dvou prvotních nejstarších jader „Kivatin“ a „Yellowknife“. Neobyčejně charakteristické pro tato jádra (jakož i pro analogická jádra na ostatních kontinentech) je to, že jsou složena převážně z vyvřelých a usazených hornin takového charakteru, který jasně ukazuje na to, že tyto formace vznikly za nepřítomnosti značných částí kůry kontinentálního typu, majících běžné horniny, na př. žuly. S hlediska dříve vyložené hypotézy vytvářejí tato prvotní jádra oblasti, kde se především začal proces rozpadu $MgSiO_3$ a uvolňování SiO_2 . Když se později proces rozpadu rozšířil do stran, zachvátil nové části na periferii a vytvořil na nich aktivní geosynklinální režim se všemi jeho zvláš-

nostmi. Postupné odumřání geosynklinálního režimu a stabilisace území vysvětluje se tím, že hlavní prvotní fyzikálně-chemický proces v obalu Země se ukončil, avšak určitě ne proto, že se zvětšila pevnost kůry tím, že do ní vnikaly vyvělé horniny a že byla vrásněna, jak se to někdy tvrdí. Dá se totiž snadno ukázat, že efekt takového zvětšení pevnosti je nepatrný a naprosto nesouměřitelný s měřítkem procesu samého.



Obr. 11. Schema vývoje severoamerického štítu podle Wilsona. Prvotní orogenetické oblasti.

1 — jádra tvořená břidlicemi; 2 — ostatní oblasti; 3 — hranice oblastí; 4 — prvotní oblouky; 5 — proterozoikum; 6 — paleozoikum; 7 — meso — kenozoikum; 8 — druhotný oblouk. Číslo — stáří ve sto milionech let.

Závěrem uvedeme krátce problémy, které jsou dnes před geofysikou při studiu stavby zemského tělesa. Patří k nim: Složení zemského jádra a jeho fyzikální stav, příčiny zemského magnetismu a jeho věkových variací, složení spodních částí obalu Země a podstata přechodné vrstvy, vznik zemské kůry a hlavních jejích druhů, charakter základního hlubinného procesu, podmiňujícího geosynklinální režim, příčiny prvotních pohybů zemské kůry a vzniku zemětřesení, nestejnorodosti v obalu v horizontálním směru, teplota v zemském nitru a její časové změny, příčiny a mechanismus vulkanické činnosti a konečně vzájemná souvislost všech těchto jevů.

K řešení těchto problémů bude třeba sebrat další pozorovací materiál, provést další rozsáhlé pokusy v oblasti vysokých tlaků a teplot, a dlouho působících napětí. Jednou z nejaktuálnějších úloh v těchto podmínkách je studium fázových přeměn a průběhu

chemických reakcí. Na konec zevšeobecnění a plné využití všech těchto údajů bude možné jenom na základě propracované teorie, na základě těsnější spolupráce geologů, geofysiků, geochemiků, fyziků a astronomů.

Přeložil Dr Jan Pícha.

Literatura

- V. V. Belousov, *Osnovnyje voprosy geotětoniki*, 1954.
V. A. Magnickij, *Osnovy fiziki Zemli*, 1953.
J. F. Savarenskij i D. P. Kirnos, *Elementy sejsmologii i sejsmometrii*, 1955.
B. M. Janovskij, *Zemnoj magnetizm*, 1952.
Trudy Geofizičeskogo instituta Akademii nauk SSSR, 1955, Nr 26.
B. Gutenberg, edit. *Internal Constitution of the Earth*, N. Y., 1951.
P. Kuiper, edit. *The Earth as a Planet*, Chicago 1954.
H. Jeffreys, *The Earth*, Cambridge, 1952.

V. A. AMBARCUMJAN

NÁSOBNĚ GALAXIE*)

Kosmogonie byla postavena na pevný základ zásluhou sovětských astronomů, jejichž závěry jsou ve značné míře dělány v soulase s pozorováním. Významným pracovníkem v tomto oboru je prezident Akademie věd Arménské SSR V. A. Ambarcumjan — objevitel hvězdných asociací, jejichž existence byla nezvratně dokázána a astronomy celého světa uznána.

Ambarcumjan obrátil nyní pozornost ke stavbě Metagalaxie. Dochází k závěrům o poměrném mládí některých galaktických soustav. Tento poznatek je výsledkem podrobného zhodnocení pozorovacího materiálu, kterého se v poslední době nashromáždilo velmi mnoho. Vzhledem k závažnosti tematu uveřejňujeme tuto stat ve zkráceném překladu.

Redakce.

§ 1. Jednou z podstatných vlastností Metagalaxie je to, že se v ní vyskytují četné dvojné a násobné galaxie, a zejména skupiny galaxií. V tomto směru se jeví jistá shoda mezi strukturou Metagalaxie a naší Galaxie. V Galaxii rovněž nalézáme dvojhvězdy, násobné soustavy a hvězdokupy. Jak autor ukázal, počet dvojhvězd, násobných soustav a otevřených hvězdokup v naší galaxii je daleko vyšší, než by měl být za stavu disociativní rovnováhy [1]. Jak bude ukázáno níže, lze v Metagalaxii pozorovat odchylku od disociativní rovnováhy v tomtéž směru.

Zároveň však je nutno poznamenat, že existují i podstatné rozdíly. Podle dostupných údajů procento dvojných galaxií, stejně jako procento násobných galaxií z celkového počtu galaxií v prostoru kolem nás nepřevyšuje odpovídající procento pro hvězdy. Naproti tomu procento galaxií, tvořících kupy, je mnohem vyšší než procento hvězd náležejících k různým hvězdokupám. Podle prací Zwickyho [2], a rovněž Neymanna, Scotta a Shanea [3], lze z vážných důvodů předpokládat, že většina galaxií tvoří kupy a že procento galaxií, jež patří k celkovému metagalaktickému poli, je relativně malé. Na rozdíl od toho většina hvězd v Galaxii tvoří celkové galaktické pole a nepatří k hvězdokupám, alespoň ne k typům dosud známým. Ovšem tento rozdíl nemůže snížit význam toho faktu, že v obou systémech je nápadná tendence k seskupování. Je nepochybné, že tato skutečnost má v případě obou systémů hluboký kosmogonický význam

*) V. A. Ambarcumjan, *O kratnych galaktikach*, Izvestija AN ArSSR, sv. IX, č. 1, 1956, str. 23—43.