

bildet, deren exakte Untersuchung infolge großer Kompliziertheit sehr erschwert ist. Bei der charakteristischen Entwicklung der heutigen Physik im Sinne einer Auflösung der physikalischen Erscheinungen in verborgene Teilereignisse spielen Zufälligkeit und Wahrscheinlichkeit eine wichtige Rolle als anschauliche, abklärende Hilfsbegriffe, könnten aber zur Not auch vollständig entbehrt werden, indem sich jene schematisierenden Methoden durch exakt statistische Berechnungen vertreten lassen sollten¹⁾. Die hier skizzierte Theorie macht uns allerdings auch den Grund begreiflich, warum die Anwendung jener Begriffe unter Verschleierung der Details der funktionellen Zusammenhänge doch hinreichend genaue Endergebnisse zu liefern pflegt, und wir verstehen, daß sie namentlich im Gebiet solcher empirischen Wissenschaften, wo eine exakte mathematische Untersuchung der Teilereignisse ausgeschlossen ist, ein unschätzbares Hilfsmittel bildet.

¹⁾ Darin besteht wohl der wesentliche Unterschied zwischen der kinetischen Gastheorie (Maxwell, Boltzmann u. a.) und der statistischen Mechanik (Gibbs), daß sich erstere auf gewisse, zwar recht plausible, aber nicht exakt bewiesene Zufalls- und Wahrscheinlichkeitsideen stützt, während letztere (wenigstens im Programm, wenn auch nicht ganz in der Durchführung) unter Vermeidung derselben auf exakt statistische Methoden aufgebaut ist.

VIII. MAURZYC RUDZKI JAKO GEOFIZYK.

Przemówienie, wygłoszone w dn. 21. listopada 1916 r., na posiedzeniu Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, odbytem ku uczczeniu pamięci M. P. Rudzkiego. Kosmos, tom XLI, 1916, str. 105—119.

Uniwersalny, wszechstronny umysł Rudzkiego obejmował szereg nauk specjalnych i w każdej z nich zdołał zająć miejsce przodujące; najwięcej jednak pociągała go zawsze geofizyka, ją uważał za właściwą swoją specjalność i przez swe badania w tej dziedzinie zdobył sobie sławę europejską.

Zdaje się, że powodem tego nie były przypadkowe okoliczności, jak bieg studjów i wpływ profesorów uniwersyteckich (z pomiędzy których Suess i Stefan w Wiedniu większe na nim wywarli wrażenie); istniała przyczyna głębsza. Geofizyka musiała najwięcej odpowiadać wrodzonym skłonnościom umysłu Rudzkiego. Wszak z jednej strony nauka ta zabarwiona jest całym czarem przyrody, nie tej skarlłowaciałej przyrody, jaką obserwujemy w naszych laboratorjach, muzeach i ogródkach, ale tej, która daje nam odczuwać całą swoją wielkość i potęgę w najwspanialszych swych zjawiskach, w górach, na morzu, przy trzęsieniu ziemi, w burzy. Tem geofizyka musiała nęcić Rudzkiego, tak wielkiego, fanatycznego miłośnika przyrody; z drugiej strony, ta właśnie nauka odpowiadała też najwybitniejszej właściwości umysłu Rudzkiego, jego dążeniu do matematycznej ścisłości w rozumowaniu. Ta wrodzona, matematyczna ścisłość umysłu, ta skłonność do sceptycyzmu względem wszelkich spekulacji nie dających się udowodnić z absolutną pewnością, była powodem, że nie zadowolnił się geografją i geologją, którym to naukom oddawał się początkowo: ona skłoniła go do tego, że zapomocą ciężkiej pracy autodydaktycznej przyswoił sobie metody matematyki wyższej i fizyki teoretycznej i że oddał

się z zapalem nauce, która stosuje ściśle metody rozumowania matematycznego do rozwiązywania największych problemów przyrody ziemskiej.

I na polu samej geofizyki Rudzki skłaniał się zawsze raczej do krytycznej analizy, do matematycznego kontrolowania i ostrożnego uzupełniania teorii istniejących, niż do budowania fantastycznych i nie dających się udowodnić hipotez, do czego i na tem polu tyle jest sposobności. Pozwolę sobie zacytować kilka charakterystycznych słów z artykułu Rudzkiego o geofizyce, który niebawem wyjdzie z druku w warszawskim *Poradniku dla samouków*¹⁾: „...Ilość hipotez, które stawiano w celu objaśnienia epoki lodowej, jest ogromna. Nie sądzę jednak, aby literatura ta była warta studiowania.... Możliwych przyczyn epoki lodowej jest wiele, ale nie mamy, przynajmniej dotychczas, dostatecznego kryterjum, aby rozstrzygnąć, czy które z nich rzeczywiście ją spowodowały. Być może, że wśród licznych hipotez jest jakaś, która trafnie odgadła prawdę. Ale jak to sprawdzić? Gdy ktoś odgaduje przyszłość, to, jeżeli nie my sami, to nasi następcy będą mogli sprawdzić przepowiednię; ale gdy ktoś odgaduje przeszłość, to sprawdzenie jest absolutnie niemożliwe“. Charakteryzuje to dobrze jego sceptycyzm, i to nie tylko wobec powodzi teorii związanych z epoką lodową, ale wogóle wobec niesprawdzalnych hipotez. On wierzył tylko w to, co daje się matematycznie, ściśle udowodnić i także własne swe wysiłki w tę tylko stronę kierował.

Z powodu tej ścisłości matematycznej, oraz z powodu trudności rzeczowych, niełatwo jest niespecjalistom wnikać w jego badania i ocenić należycie doniosłość i piękno tych prac, dzięki którym Rudzki wysunął się na stanowisko pierwszorzędnej europejskiej powagi w zakresie swej nauki. Sądzę więc, że postąpię najlepiej, jeżeli nie będę dzisiaj zapuszczał się w szczegółowe roztrząsanie prac Rudzkiego, w analizę ich metod i wyników; spróbuję tylko dać ogólnikowy pogląd na rodzaj zagadnień, którymi najchętniej się zajmował.

Wymienię przedewszystkiem fundamentalny problemat geofizyki: rozmiary i kształt kuli ziemskiej. Napozór rzecz wydaje się prosta: systematyczne pomiary tryangulacyjne, metody geodetyczne dają nam poznać kształt powierzchni ziemi, odległości i wysokości wszyst-

¹⁾ *Poradnik dla Samouków*, 2, Warszawa 1917; Geofizyka, str. 387—409.

kich punktów z dowolną dokładnością; wydaje się, że niema tu wcale pola do spekulacji. Co to jednak znaczy, jeżeli mówi się np., że szczyt Giewontu wznosi się o 1900 m ponad poziom morza? Wszak morze nie sięga aż do stóp Giewontu. Albo zatem wyobrażamy sobie powierzchnię morza przedłużoną wśród lądów (np. w głęboko wciętym kanale) aż pod sam Giewont i podajemy jej pionowy odstęp od wierzchołka góry, albo też wyobrażamy sobie, że od szczytu góry wyznaczamy powierzchnię poziomu, wciąż zgodnie z ustawieniem libelli, aż ponad morze i tutaj mierzymy odstęp. Rzecz byłaby nadzwyczajnie prosta, gdyby powierzchnia morza była albo zupełnie płaska albo też ściśle kulista. Tymczasem jest to, dokładnie biorąc, powierzchnia o kształcie nadzwyczajnie zawiłym, wskutek nierównego rozkładu mas grawitacyjnych, naogół obniżona na oceanach, spiętrzona w sposób nieregularny ku brzegom kontynentów wskutek ich przyciągania. Jak pomyśleć sobie jej przedłużenie wśród kontynentów, to wskazać mogą tylko obliczenia teoretyczne, przy których w rachubę brać trzeba gęstość skał i kształt wzniesień kontynentalnych. Powierzchnię taką, składającą się z powierzchni morza, oraz z jej obliczonych przedłużeń wśród lądów, nazywamy *geoidą*. Słynny uczony niemiecki Helmer podał sposób obliczania tej powierzchni, t. zw. metodę kondensacji; Rudzki zaś wymyślił metodę inną¹⁾, pod pewnemi względami doskonalszą, opartą na założeniu, że powierzchnia geoidy pozostaje powierzchnią jednakowego potencjału grawitacyjnego, metodą, która powinna jeszcze znaleźć wielkie zastosowanie w geodezji wyższej.

Rozumiemy też, że kwestje te łączą się ściśle z problematem układu ciężkości na powierzchni ziemi, a zwłaszcza jej redukcji do poziomu morza i jej anomalij lokalnych, zagadnieniem, z którego wyrosła słynna teoria izostazji Pratt'a, do której w dalszym ciągu jeszcze powrócimy. Rudzki sam, wspólnie z ówczesnym asystentem drem L. Grabowskim, wykonał w roku 1902 precyzyjny pomiar siły ciężkości w Krakowie i znalazł liczbę $g = 981.071$, prawie identyczną z liczbą dawniej znalezioną przez prof. L. Birkenmajera.

¹⁾ Sur la détermination de la figure de la Terre d'après les mesures de la gravité. *Bull. Astron.* 22, str. 49—76 (1905). Siła ciężkości w Krakowie, S. Francisco i Dehra Dun. *Bull. Ac. Pol. d. Sc. de Cracovie*, 1907, str. 937—958 i 1081.

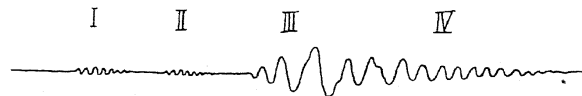
Przejdźmy do innego działu, do ulubionych badań¹⁾ Rudzkiego, w których zakresie zasłynął: do seismologii. Jest to może istotnie najbardziej zajmująca część geofizyki, już z tego powodu, że trzęsienia ziemi są najważniejszym materiałem do poznania budowy wnętrza ziemi. Chcąc poznać zawartość albo strukturę ciała przezroczystego, prześwietlamy je czyli przesyłamy przez nie fale świetlne i obserwujemy przebieg promieni świetlnych. Podobnie możemy zrozumieć, że sposób, w jaki fale elastyczne, fale trzęsienia ziemi, przechodzą przez ziemię, daje nam najwyraźniejsze wskazówki o wewnętrznym jej stanie. Doświadczeń takich oczywiście nie możemy robić umyślnie, dowolnie; musimy czekać, aż nadarzy się sposobność obserwowania trzęsienia ziemi. Na szczęście dosyć ku temu jest okazji; obliczono, że na rok przypada mniej więcej 30.000 trzęsień ziemi na całej kuli ziemskiej, przeważnie lekkich drgnień, niedostrzegalnych dla laika, ale dających się zanotować przez dzisiejsze przyrządy. Nie brak zatem materiału doświadczałnego, zwłaszcza, że istnieje obecnie przeszło 100 stacyj samozapisujących i chodzi tylko o umiejętne opracowanie, zanalizowanie i objaśnienie rezultatów tą drogą zdobytych.

Przypomnijmy sobie najprzód zasadnicze fakty z zakresu fizyki doświadczalnej, odnośnie do zjawisk sprężystości. Wiadomo, że gazy i ciecze okazują wyłącznie sprężystość objętościową, nie okazują zaś żadnej sztywności postaciowej; zgodnie z tem mogą się w nich rozchodzić tylko fale dylatacyjne czyli podłużne, które, jako fale głosowe, są dostrzegalne dla naszego słuchu. Ciała stałe izotropowe natomiast posiadają dwa współczynniki sprężystości, charakteryzu-

¹⁾ O rozchodzeniu się drgań podczas trzęsień ziemi. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 33, str. 348—376 (1898). O kształcie fali sprężystej w pokładach ziemskich. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 33, str. 377—397 (1898). O pewnym zjawisku podobnym do dyspersji optycznej. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 36, str. 115—126 (1898). O kształcie fali sprężystej w pokładach ziemskich. Rozpr. P. Akad. Um. w Krakowie 39, str. 143—157 (1900). Parametrische Darstellung der elastischen Welle in anisotropen Medien. Bull. Ac. Pol. d. Sc. de Cracovie, 1911, str. 503—536. Sur la propagation de l'onde élastique superficielle. Bull. Ac. Pol. d. Sc. de Cracovie, 1912, str. 47—58. Essai d'application du principe de Fermat aux milieux anisotropes. Bull. Ac. Pol. d. Sc. de Cracovie, 1913, str. 241—253. Ausgleichsfläche u. Erdbebeniefe. Die Naturwissenschaften, 1913, str. 406—407. Über die Theorie d. Erdbebenwellen. Die Naturwissenschaften, 1915. Über die Tiefe des Herdes des Erdbebens in Calabrien am 8. Sept. 1905. Bull. Ac. Pol. d. Sc. de Cracovie, 1907, str. 40—44.

jące sprężystość objętościową i sprężystość postaci; wskutek tego przez ciała stałe przechodzić mogą dwa rodzaje fal sprężystych: takie same fale podłużne jak w płynach, oprócz nich także nieco powolniejsze fale poprzeczne czyli torsyjne, w których cząstki drgają poprzecznie do kierunku rozchodzenia się fali. Lord Rayleigh i Lamb wykazali, że wzdłuż powierzchni ciała stałego jeszcze trzeci rodzaj fal może się rozchodzić (z jeszcze mniejszą prędkością niż poprzednio wymienione fale), którego mechanizm przypomina poniekąd sposób, jak fale wodne postępują wzdłuż powierzchni wody, z tą jednak różnicą, że mechanizm ten polega na siłach sprężystości, nie zaś grawitacji.

Analiza seismogramów wykazała, że przy rozchodzeniu się trzęsienia ziemi naogół właśnie te trzy rodzaje fal dają się zauważyć. Najszybciej postępują fale podłużne, z prędkością 7 km, a w głę-

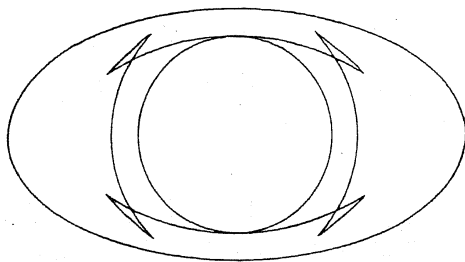


Rys. 1.

biach ziemi 12 km na sekundę; za nimi, rozchodząc się z mniejszą prędkością, koło 4 km na powierzchni, a 7 km w głębi, idą fale poprzeczne; wreszcie przybywają fale Rayleigha, postępujące wzdłuż powierzchni ziemi, więc po stosunkowo dłuższej drodze, z prędkością 3—4 km. Seismograf zakreśla zatem na przesuwającej się taśmie papieru diagramat (rys. 1), w którym zazwyczaj dają się rozróżnić owe trzy rodzaje fal, jako trzy charakterystyczne fazy: t. zw. faza wstępna pierwsza (I) i druga (II), oraz faza główna (III). Ta ostatnia odznacza się największymi amplitudami. Po niej następuje jeszcze t. zw. ogon (IV), fale stopniowo zanikające o stosunkowo długim okresie, które porównać możnaby do przeciągłych odgłosów grzmienia, jakie następują po właściwym hukku grzmotu. Z odstępów czasu między temi różnemi fazami (zwłaszcza I—II) zapomocą pewnych reguł empirycznych można ocenić dość dokładnie odległość, z której pochodzi trzęsienie ziemi, podobnie jak możemy obliczyć odległość piorunu z przeciągu czasu między zbliznięciem a dojsciem głosu do ucha.

Taka jest teoria przyjęta przez dzisiejszą seismologję. Badania

Rudzkiego na tem tle odnosiły się w szczególności do dwóch zagadnień. Zauważył przedewszystkiem, że skały, z których składa się zewnętrzna skorupa ziemi, zazwyczaj nie są to ciała równokierunkowe, lecz, jak łupki, gneisy a także i wiele granitów, mają strukturę różnokierunkową, anizotropową. Wskutek ciśnienia jednostronnego, któremu te materiały podlegały, przybrały one inne właściwości sprężyste w kierunkach stycznych do pewnej płaszczyzny symetrii, inne w kierunku prostopadłym do niej. Rudzki dowodzi zapomocą subtelnej analizy matematycznej, że w takim ośrodku powstają naogół nie tylko dwie różne fale, podłużna i poprzeczna, jak w ciałach izotropowych, ale trzy fale o charakterze mieszanym podłużno-poprzecznym. Ze źródła zaburzenia rozchodzą się zatem



Rys. 2.

trzy wstrząśnienia, z prędkościami różnemi w różnych kierunkach przestrzeni, które dają się przedstawić graficznie zapomocą wykresu t. zw. powierzchni falowej (rys. 2), złożonej w tym przypadku z elipsoidy, z powierzchni owalnej oraz z trzeciej powierzchni o kształcie bardzo zawiłym (powierzchni dwunastego stopnia). Przypomina to nieco teorię podwójnego załamania w optyce, ale stosunki są tu jeszcze o wiele zawiłsze. Bardzo zajmujące są też dalsze rozważania Rudzkiego co do praw, według których na granicy takich ośrodków powinno odbywać się załamanie fal, jeżeli i w tym przypadku ważna pozostaje znana w optyce zasada Fermata (zasada optycznej najkrótszej drogi).

Badania Rudzkiego stanowiłyby zupełny przewrót, zupełną rewolucję w poglądach na seismologję, gdyby istotnie całą kulę ziemską należało uważać za złożoną z takich materiałów różnokie-

runkowych. Rudzki sam jednak zauważa, że to odnosi się zapewne tylko do zewnętrznych warstw, aż do głębokości jakich 100—120 km, w których istnieją silne napięcia styczne, że natomiast wewnątrz ziemi, t. j. pozostałych 6.270 km zapewne uważać można za materiał przybliżenie równokierunkowy. Owe zjawiska odgrywają zatem prawdopodobnie większą rolę tylko w zewnętrznych warstwach ziemi, tu zaś mogą tłumaczyć pewne osobliwości seismogramów, zwłaszcza odnośnie do fazy I i II (np. wielokrotne powtarzanie się wstrząśnień).

Dlaczego przypuszczamy, że tylko zewnętrzne warstwy ziemi posiadają strukturę anizotropową? Przypuszczenie to opieramy na tem, że niewątpliwie w nich właśnie muszą występować największe nierówności ciśnień w różnych kierunkach, podczas gdy w głębszych warstwach ciśnienie prawdopodobnie rozchodzi się w ten sam sposób jak w cieczach, jako ciśnienie hydrostatyczne. Dowodem tego jest sam fakt, że źródło trzęsień ziemi, t. zw. hypocentrum, leży zazwyczaj w bardzo niewielkiej głębokości pod powierzchnią ziemi; to jest również ważnym wynikiem badań Rudzkiego. Podał on wzór teoretyczny, na którego podstawie obliczyć można głębokość ogniska trzęsienia ziemi z czasów, w których fala trzęsienia osiąga różne punkty na powierzchni ziemi położone¹⁾. Tak obliczył np. dla trzęsienia ziemi w Kalabrii (1905) $h = 7$ km; dla trzęsienia ziemi w S. Francisco (1906) $h = 16-32$ km. Podobnie w wielu innych przypadkach otrzymywano zawsze głębokości mniejsze niż 120 km. Rozumiemy to, przyjmując, zgodnie z opinią Helmherta i Hayforda, że liczba 120 km cechuje głębokość, poniżej której już nie sięgają zakłócające równowagę wpływy zewnętrznych ciśnień, spowodowanych bądź to przez kurczenie się ziemi, bądź to przez zjawiska geologiczne lub meteorologiczne. Ten zaś fakt tłu-

¹⁾ Zrozumiemy możliwość takiego obliczenia, zważając, że fale kuliste, pochodzące z ogniska w głębi leżącego, muszą wstrząsnąć prawie równocześnie cały obszar leżący powyżej ogniska na powierzchni ziemi; prędkość rozchodzenia się wzdłuż powierzchni jest zatem największa (nieskończenie wielka) dla epicentrum, t. j. dla punktu powierzchni położonego powyżej ogniska, tak samo też dla punktu diametralnie przeciwnego; musi natomiast osiągnąć pewną wartość minimalną w pewnym punkcie pośrednim. Odległość punktu, gdzie prędkość rozchodzenia jest minimalna, od epicentrum widocznie musi zależeć od głębokości ogniska; znajomość tej odległości może posłużyć do jej wyznaczenia.

maczy się łatwo, zważywszy, że głębsze warstwy, podlegające temperaturom wysokim i ciśnieniom niezmiernym, muszą mieć znacznie wyższy stopień plastyczności niż zewnętrzne i że z tego powodu nierówności ciśnień, jeżeli wogóle w nich powstają, o wiele szybciej muszą się wyrównać.

Tym sposobem wyjaśniają się wyniki co do wewnętrznego stanu ziemi, otrzymane różnymi drogami wnioskowania. Z jednej strony seismologia zmusza nas do przyjęcia, że wewnątrz kuli ziemskiej posiada właściwości ciała stałego sprężystego, inaczej fale poprzeczne byłyby wogóle niemożliwe. Dowodzą tego również pewne fakty z teorii przypływu i odpływu morza oraz obliczenia wahań osi obrotu w ziemi (t. zw. wahania szerokości geograficznej), którym Rudzki poświęcił studjum¹⁾ nadzwyczaj głębokie, swego czasu nagrodzone przez Polską Akademię Umiejętności.

Z drugiej jednak strony widzimy, że siły tektoniczne, wywołujące trzęsienia ziemi, oraz procesy górotwórcze, ograniczają się do zewnętrznych warstw kilkudziesięciu, najwyżej 120 kilometrów grubości; skorupa ta spoczywa na głębszych warstwach o wyższym stopniu plastyczności, które zachowują się wobec nagłych, krótkotrwałych wstrząsów jak ciało stałe, siłom wiekowym natomiast, górotwórczym, poddają się, podobnie jak masa ciekło-plastyczna. Doprowadza nas to do teorii izostazji, pochodzącej od Airy'ego, Pratt'a, Dutton'a, ku której i Rudzki się skłaniał, zwłaszcza w późniejszych czasach. Według tej teorii, lądy i oceany tworzą naogół, zgrubsza, system równowagi hydrostatycznej; góry wzniosły się, gdyż składają się z materiałów lżejszych, pływających jak bryły lodu po wodzie, głębiny zaś wytworzyły się tam, gdzie skorupa składa się z materiału większej gęstości. Nie mogą wchodzić w omawianie pomiarów anomalij ciężkości, które stanowią najsilniejszy bezpośredni argument, przemawiający za tą teorią, ale wspomnę o bardzo zajmującym przyczynku Rudzkiego²⁾ do tej kwestji. Oparł się on na fakcie, że w Szwecji i Norwegji znale-

¹⁾ Teoria fizycznego stanu kuli ziemskiej. Rozpr. P. Akad. Um. w Krakowie, 37, str. 225—421 (1900).

²⁾ Odkształcanie się ziemi pod ciężarem wielkich lodowców. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 87, str. 176—224 (1900). Dalsze badania nad odkształcaniem ziemi pod ciężarem wielkich lodowców. Wpływ ciężaru wielkich lodowców. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 39, str. 109—136 (1902). Deformationen der Erde während der Eiszeit. Zeitschr. f. Gletscherkunde 1, str. 182—192 (1906).

ziono dowody, iż morze podczas epoki lodowej sięgało znacznie wyżej niż obecnie: w zewnętrznych częściach Skandynawji do 280 m ponad poziom dzisiejszy; albo może raczej, iż ląd wówczas o tyle leżał niżej niż dzisiaj. Jako powodu tego zjawiska można się domyslać ciężaru powłoki lodowej, która wówczas pokrywała olbrzymie obszary kontynentu europejskiego i amerykańskiego i musiała wywołać zgniecenie i przytłoczenie odnośnych warstw skorupy ziemskiej. Obliczenia Rudzkiego wykazały, że, przypisując ziemi właściwości stałego ciała sprężystego, należałoby przyjąć, dla wywołania takiej różnicy poziomów, jaką w Skandynawji zauważono, że powłoka lodowa w owych stronach posiadała grubość 7 kilometrów. Przyjmując natomiast, że zewnętrzne warstwy unoszą się na pokładzie plastycznym, że uginają się pod ciężarem lodu i wznoszą się znów po jego stopieniu, jak tego wymaga hydrostatyczna teoria izostazji, Rudzki wyliczył, że do osiągnięcia owego skutku wystarczyłoby pokrycie płaszczem lodowym o grubości 933 metrów, co uznać trzeba, w przeciwieństwie do pierwszej ewentualności, za liczbę zupełnie możliwą i prawdopodobną, uprzątniając sobie stosunki dzisiaj panujące w Grenlandji. Oczywiście nie możemy wyobrazić sobie tych głębszych pokładów ziemi jako masy płynnej jak woda, lecz jako masę plastyczną, pomалу poddającą się wpływom zewnętrznym i bardzo powoli znów, po ich ustąpieniu, powracającą do stanu poprzedniego. Zgodnie z tem tłumaczy się fakt, że skutki zjawisk omawianych i dzisiaj jeszcze trwają. Według Penck'a, od czasu maksymalnego zlodowacenia półkuli północnej minęło około 30—40.000 lat. Lody te już dawno stopniały, Skandynawja wynurzyła się po ich ustąpieniu do dziś dnia o 280 m w swych częściach środkowych, ale zjawisko jeszcze nie ustało i ląd coraz bardziej wynurza się w sposób dostrzegalny, według różnych oznak wyraźnych. Jeszcze wyraźniej występuje to zjawisko w Ameryce północnej, gdzie północna Kanada, okolice zatoki Hudsona, tak szybko się wznoszą, że, według zdania niektórych geologów amerykańskich, za paręset lat miasto Chicago, leżące na południowym brzegu jeziora Michigan, będzie trzeba chronić tamami od zalania, a za 2000 lat jezioro to już nie będzie odpływało ku wschodowi, do St. Lawrence River, lecz na południe do Mississipi.

Weszlśmy na teren spekulacji o przeszłości ziemi i o trwaniu epok geologicznych; tem samem zbliżyliśmy się do słynnego zagadnienia t. zw. wieku ziemi, które niedgdyś Lord Kelvin opra-

cował w tak śmiały i genialny sposób i któremu także Rudzki poświęcił zajmującą pracę¹⁾. Rudzki, podobnie jak Lord Kelvin, oparł rachunki na założeniu, że ziemia stygnie wskutek ciągłej straty ciepła; ale zamiast pewnych hypotetycznych założeń Kelvina wprowadził empiryczną podstawę do obliczeń, mianowicie skurczenie powierzchni ziemi spowodowane tem stygnięciem. Wyobrażając sobie wyprostowane warstwy epoki sylurskiej wraz z wszystkimi fałdami gór, wyrachował na podstawie danych geologicznych, że zajmowały wówczas powierzchnię większą o blisko 8 milionów km² (t. j. o powierzchnię Europy) niż dzisiejsza powierzchnia ziemi. Aby takie nastąpiło skurczenie, według jego rachunku musiał upłynąć czas, który oceniał — od syluru do dziś dnia — na 139 do 486 milionów lat, zależnie od dobrania pewnych współczynników niedokładnie znanych. Lord Kelvin, jak wiadomo, na tak zw. wiek ziemi otrzymał liczbę 40—100 milionów lat; można to było uważać za pewnego rodzaju zgodność co do rzędu wielkości, umacniającą zaufanie do tych spekulacji. Tymczasem dzisiaj straciły one wszelką podstawę, wskutek odkrycia substancji promieniotwórczych. Substancje te wywiązują bezustannie ciepło, a ilość ich jest wprawdzie minimalna, rzędu 10⁻¹² grama na centymetr sześcienny; mimo to ilość ciepła wytwarzanego w kuli ziemskiej byłaby tak kolosalna, w założeniu, że całe wnętrze zawiera ten sam procent substancji promieniotwórczej jak zewnętrzne warstwy, że przewyższałaby daleko wszelkie straty ciepła, których ziemia doznaje wskutek promieniowania nazewnątr. Nie wiemy oczywiście, czy owe substancje znajdują się też w głębiach ziemi; w każdym razie rozumiemy, że jest dzisiaj rzeczą wątpliwą, czy ziemia wogóle stygnie, czy może przeciwnie ogrzewa się; tem samem spekulacje oparte na owej hipotezie straciły rację bytu. Rudzki sam przyznaje to w pięknym artykule²⁾, przed trzema laty napisanym, wskazując wzajemnie inne zupełnie metody wyznaczania wieku ziemi, jakie wyłożyły się właśnie z badań transformacji promieniotwórczych. Wiedząc, z jaką szybkością z materji promieniotwórczej wywiązują się hel oraz znając zawartość helu i substancji promieniotwórczych w różnych minerałach, posiadamy klucz do oceniania ich wieku i tym sposobem Strutt znalazł dla wieku różnych formacji geo-

¹⁾ O wieku ziemi. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 41, str. 96—133 (1901).

²⁾ L'âge de la Terre. Scientia, 13, str. 161—173 (1913).

logicznych liczby w następującej tabliczce zestawione. Inna metoda tego rodzaju, zastosowana przez Holmesa, opierająca się na szybkości transformacji uranu w ołów i na stosunku tych dwóch pierwiastków w różnych minerałach, dała liczby tego samego rzędu wielkości.

Strutt (hel):		Holmes (ołów i uran):	
oligocen	8 mil. lat	węglowa f.	340 mil. lat
eocen	31 " "	sylur	430 " "
wapień węglowy	150 " "	archaiczna f.	1.025—1.640 " "
archaiczna f.	710 " "		

Mimo zasadniczej różnicy w metodzie wnioskowania dochodzimy znów do wniosku, nie odbiegającego zbyt co do rzędu wielkości od wyniku poprzednich spekulacji, mianowicie, że t. zw. wiek ziemi może liczyć się na setki, a może na tysiące milionów lat.

Wspomniałem dotychczas tylko o głównych tematach badań Rudzkiego z zakresu właściwej geofizyki, powiązanych w pewnego rodzaju logiczną całość ogólnem swem znaczeniem dla teorii fizycznego stanu kuli ziemskiej. Oprócz nich, Rudzki dał nam jeszcze szereg ważnych przyczynków do różnych innych kwestyj, wchodzących w zakres właściwej mechaniki, hydrodynamiki i fizyki atmosfery. W studjum¹⁾ o ruchu wahadła poziomego uzupełnił odnośną matematyczną teorię, wykazując pewne zasadnicze wady tego przez geofizyków tak cenionego przyrządu. W innej pracy²⁾, łączącej się z badaniami nad falami trzęsień ziemi, rozwinął teorię drgań prętów wyciętych z różnokierunkowego materiału (gneis, łupki i t. p.) a tem samem podał sposób określenia współczynników sprężystości takich ciał. W zakresie hydrodynamiki wchodziły dwie ważne prace³⁾, w których krytykował Helmholtza teorię fal wodnych i udowodnił, że postępowe fale niewirowe nie mogą istnieć bez równoczesnego prądu postępowego. Teoretycznie interes-

¹⁾ Über die Bewegung des Horizontalpendels. Beitr. z. Geophysik 6, str. 133—155 (1903).

²⁾ Über d. Bestimmung dynamischer Elastizitätskonstanten. D. Erdbebenwarte 7 (1908).

³⁾ Przyczynek do teorii fal. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 29, str. 399—403 (1895).

Przyczynek do teorii fal niewirowych. Rozpr. P. Ak. Um. w Krakowie 30, str. 393—403 (1896).

sująca jest dalej praca¹⁾, w której bada mechanizm przewodzenia ciepła w płynącej masie cieczy (w rzece lub prądzie morskim).

W innej rozprawie²⁾ roztrząsa pewne problemy kosmogoniczne: analizuje układ atmosfery na wirującym ciele niebieskim, oraz wyjaśnia kwestję rozkładu temperatury wewnątrz takiej gazowej masy, żywo dyskutowaną przez uczonych amerykańskich (L. See i inni). Mniejszy, ale ciekawy przyczynek do fizyki atmosfery³⁾ stanowi obliczenie współczynnika promieniowania cieplnego dla powietrza.

Nie wchodzimy w analizę artykułów treści bardziej popularnej z zakresu geofizyki i meteorologii lub licznych (i nieraz cennymi uwagami wzbogaconych) referatów, jakie ogłaszał w *Naturwissenschaften*, *Erdbebenwerte* i innych czasopismach. Wspomnieć wypada jeszcze o dwóch dziełach⁴⁾, w których Rudzki całokształt tej nauki przedstawił w sposób prawdziwie mistrzowski, o „Fizyce Ziemi“, która wyszła w r. 1909 w języku polskim, a w r. 1911 w uzupełnionem wydaniu niemieckiem, oraz o podręczniku meteorologii, który, ukończony przed wojną, obecnie po śmierci autora wychodzi drukiem w Warszawie. „Fizyka Ziemi“ jest dziełem naukowym nawskróś oryginalnem, może jedynem w całej literaturze światowej, w którym znaleźć można wyłożoną systematycznie, gruntownie i zgodnie z obecnym stanem nauki całą fizykę lito- i hydrosfery; dla specjalistów tem jest ważniejsze, że własne badania autora w odpowiedni sposób zostały w niem uwzględnione.

Podręcznik meteorologii, jakkolwiek pisany przystępnie, bez aparatu matematycznego, pod pewnym względem stoi również na poziomie znacznie wyższym niż podobne dzieła zagraniczne, ponieważ mianowicie meteorologia nie występuje w nim jako zbiór statystycznych reguł empirycznych, lecz przybiera postać, o ile to możliwe w dzisiejszym stanie wiedzy, nauki o fizyce atmosfery. Taki zaś jest oczywiście kierunek, w którym ta nauka dzisiaj się

¹⁾ Über d. Wärmeleitung in einem Strome. Beitr. z. Geophysik 13, str. 338—347 (1914).

²⁾ O prawie rozkładu temperatury wewnątrz gazowego ciała niebieskiego. Prace mat. fiz. 13, str. 341—351.

³⁾ Von der Strahlung der Luft. Meteorol. Zeitschr. 1913, str. 458—459.

⁴⁾ Fizyka Ziemi. Kraków 1909, str. XI + 588. (Nakł. P. Ak. Um. w Krakowie).

Physik der Erde. Leipzig 1911. S. VIII + 584 (Tauchnitz).

Zasady meteorologii. Nakł. Kasy im. Mianowskiego. Warszawa.

rozвивa i w którym postępując, stanie się kiedyś gałęzią nauk ścisłych, równorzędną z innymi działami geofizyki.

Jeżeli nakoniec uprzytomnimy sobie jeszcze raz całą działalność Rudzkiego na polu geofizyki, uznać musimy, że plon jego pracy był wielki, jak wielkie były problemy, które sobie stawiał. Przy bliższym studjowaniu jego dzieł potęguje się wrażenie głębokiej czci dla umysłu, którego właściwą, najgłębszą sprężyną było bezwzględne, fanatyczne zamiłowanie prawdy. Ono było powodem jego nieufności względem ryzykownych hipotez, jego przenikliwego krytycyzmu względem siebie i innych, jego ścisłości w rozmowaniu, ono było źródłem jego pomysłów naukowych.