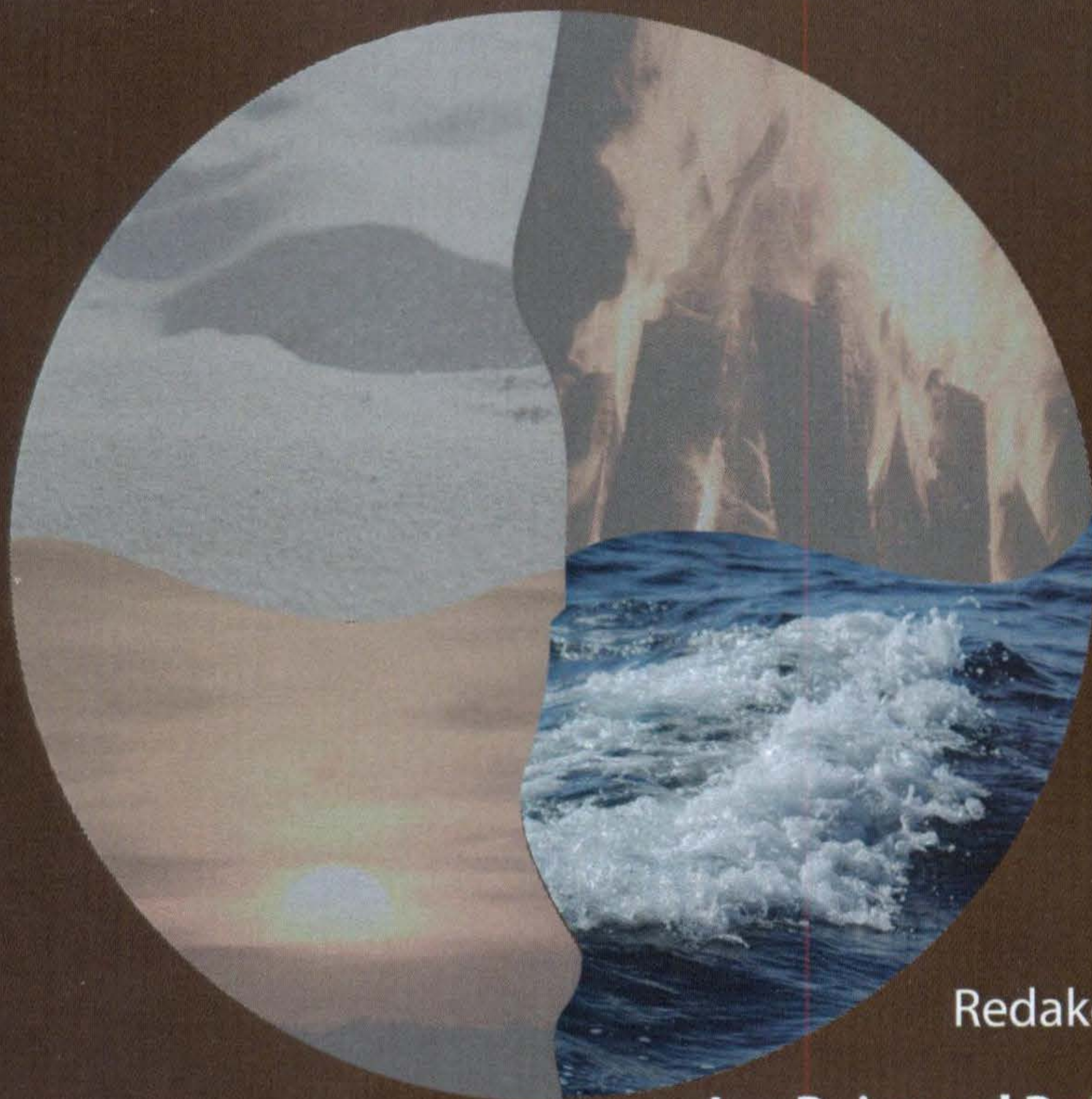


Badania w dydaktykach nauk przyrodniczych (Research in didactics of the sciences)



Redakcja:

**Jan Rajmund Paśko
Ewa Żesławska
Alicja Żylewska**

PEADAGOGICAL UNIVERSITY OF KRAKÓW
Department of Chemistry and Chemistry Education
KRAKÓW 2012

Badania w dydaktykach nauk przyrodniczych (Research in didactics of the sciences)

monografia pod redakcją:
Jana Rajmunda Paśko, Ewy Żesławskiej, Alicji Żylewskiej

PEADAGOGICAL UNIVERSITY OF KRAKÓW
Department of Chemistry and Chemistry Education
KRAKÓW 2012

Przemiany cywilizacyjne, do jakich dochodzi na całym świecie, szybszy rozwój, a także większy dostęp do najnowszych technologii musiał wkrótce spowodować także zmiany w procesie kształcenia. Tak by po pierwsze dostosować młodych ludzi do szybkich zmian w każdej dziedzinie życia codziennego, a po drugie dać im narzędzie i możliwość do bycia twórcą tego postępu. Nauka już dawno przestała dzielić się na fizykę, chemię, biologię i geografę a badania rzadko prowadzone są przez jeden ośrodek badawczy. Dziś najnowsze osiągnięcia to osiągnięcia z pogranicza wielu dyscyplin a badania prowadzone są przez międzynarodowe zespoły specjalistów z wielu pokrewnych dziedzin.

W obliczu faktów szereg państw przystąpiło do reform systemu oświaty. Między innymi reforma programowa z 2009 roku wprowadza do polskich szkół ponadgimnazjalnych przedmiot Przyroda. Treści przekazywane w ramach tego przedmiotu mają służyć utrwaleniu postawy naukowej (ucznia) wobec świata przyrody, zaciekawienia jego bogactwem i dostrzegania holistycznego charakteru nauk przyrodniczych. Różnorodność proponowanych (w ramach Podstawy Programowej) wątków tematycznych i interdyscyplinarność, a także aktualność naukowa stały się wyzwaniem dla wielu, nie tylko nauczycieli. Stwarza on bowiem możliwość ciekawego skonsolidowania treści z kilku dziedzin, co nie jest z kolei sprawą najprostszą. W dalszej części artykułu postaram się przedstawić dwa wybrane przeze mnie tematy, wskazując na związki między poszczególnymi przedmiotami.

Kształt „kuli” ziemskiej.

Interesującym zagadnieniem z punktu widzenia interdyscyplinarności przedmiotów przyrodniczych może być problem określenia kształtu Ziemi napotykanym na pierwszych stronach podręcznika geografii, a zarówno tam, jak i w wielu artykułach zamieszczanych w renomowanych czasopismach, a także podręcznikach akademickich traktowany jest on w sposób lakoniczny. Pojęcie geoidy łączy ze sobą treści z geografii, a także fizyki, która daje nam narzędzia by w sposób dokładny (ściśle) określić, co pod tym pojęciem rozumiemy. Geoida, to podobnie jak elipsoida – bryła powstała z obrotu elipsy, forma powstała w wyniku obrotu ... Ziemi. Problem nie został, więc rozwiązany a całe stwierdzenie okazuje się być tautologią.

Wyjaśnienie może stać się pretekstem do wprowadzenia lub powtórzenia takich pojęć jak grawitacja, przyspieszenie dośrodkowe (odśrodkowe), potencjał i powierzchnia ekwipotencjalna.

Co do tego, że Ziemia ma kształt kuli nie miał wątpliwości Mikołaj Kopernik. W swojej „De revolutionibus” pisze: „[...] Chociaż wyraźnej jej kulistości bezpośrednio widzieć nie można, z przyczyn wyniosłości gór i wklęsłości dolin, to przecież nierówności te bynajmniej nie zmieniają ogólnej jej krągłości, co się daje tak uzasadnić [...]”. Jednak już wiele lat wcześniej, bo w 230 r p.n.e. Eratostenes wyznaczył rozmiary kuli ziemskiej niewiele się w tych pomiarach myląc¹. Ziemia – kula stwarzała jednak nie byle problem: Dlaczego woda nie spływa z takiej kuli? Na pierwszych stronach swojego dzieła również Kopernik podejmuje problem wszechoceanu oblewającego Ziemię: „[...] Także i wody układają się do postaci kulistej, o czym wiedzą żeglarze, dostrzegając z wysokości masztu łód stały, którego z pokładu okrętu jeszcze nie widać [...]” (Kopernik, 2004). Szybko jednak łączy go z pojęciem środka ciężkości² oraz grawitacją, które stały się kluczowe dla określenia kształtu planety (rys.1.). Wykazał się przy tym niezwykłą intuicją – grawitacja została „odkryta oficjalnie” niespełna 150 lat po jego śmierci.

1. Pomiar Eratostenesa różni się od współczesnych o zaledwie 1%!

2. „[...] jako ląd i woda wspierają się na jednym środku ciężkości Ziemi, który jest zarazem środkiem jej objętości [...]”.



Rys. 1. Zawieszony pion wskazuje punkt, do którego zmierzają wszystkie ciała puszczone na powierzchni Ziemi.

To siła grawitacji utrzymuje wszystkie ciała, a także wodę, na powierzchni Ziemi. Wartość przyciągania grawitacyjnego dwóch mas punktowych maleje wraz z kwadratem odległości między nimi.

$$\vec{F} = G \frac{Mm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Ziemię możemy potraktować tak, jakby jej nie miała, wynosząca $6 \cdot 10^{24}$ kg, masa skupiała się w jej centrum i traktować, jako punkt materialny, w kierunku którego spadają wszystkie ciała puszczone na powierzchni Ziemi³.

Dziś jednak wiemy, że Ziemia idealną kulą nie jest i bynajmniej nie chodzi tu o wysokie szczyty gór czy głębokie rozpadliny, ale o jej ruch obrotowy. W tym miejscu znów należy przywołać Kopernika, który jako pierwszy opierając się o własne obserwacje i skomplikowane (z p-tu widzenia geometrii) rozważania, ściśle udowodnił, że Ziemia obraca się wokół własnej osi⁴. Punkty na równiku wirują z niemałą prędkością 1674 km/h.

Ziemia, dziś już to wiemy z całą pewnością, nie jest jednorodna wewnątrz, a poszczególne jej sfery różnią się zarówno składem chemicznym, jak i własnościami fizycznymi. Dzięki, głównie uranowi oraz innym pierwiastkom promieniotwórczym tworzącym płaszcz i skorupę Ziemi jest ona półpłynna w środku i podobnie jak porcja gliny na kole garncarskim, pod wpływem działania siły odśrodkowej bezwładności, zostaje spłaszczona na biegunach, tworząc elipsoidę. Wpływ na kształt Ziemi ma przyspieszenia odśrodkowe, którego wartość maleje z odległością wirującego punktu od osi obrotu $a_{od} = \omega R$, gdzie $\omega = \frac{2\pi}{T}$ jest prędkością kątową.

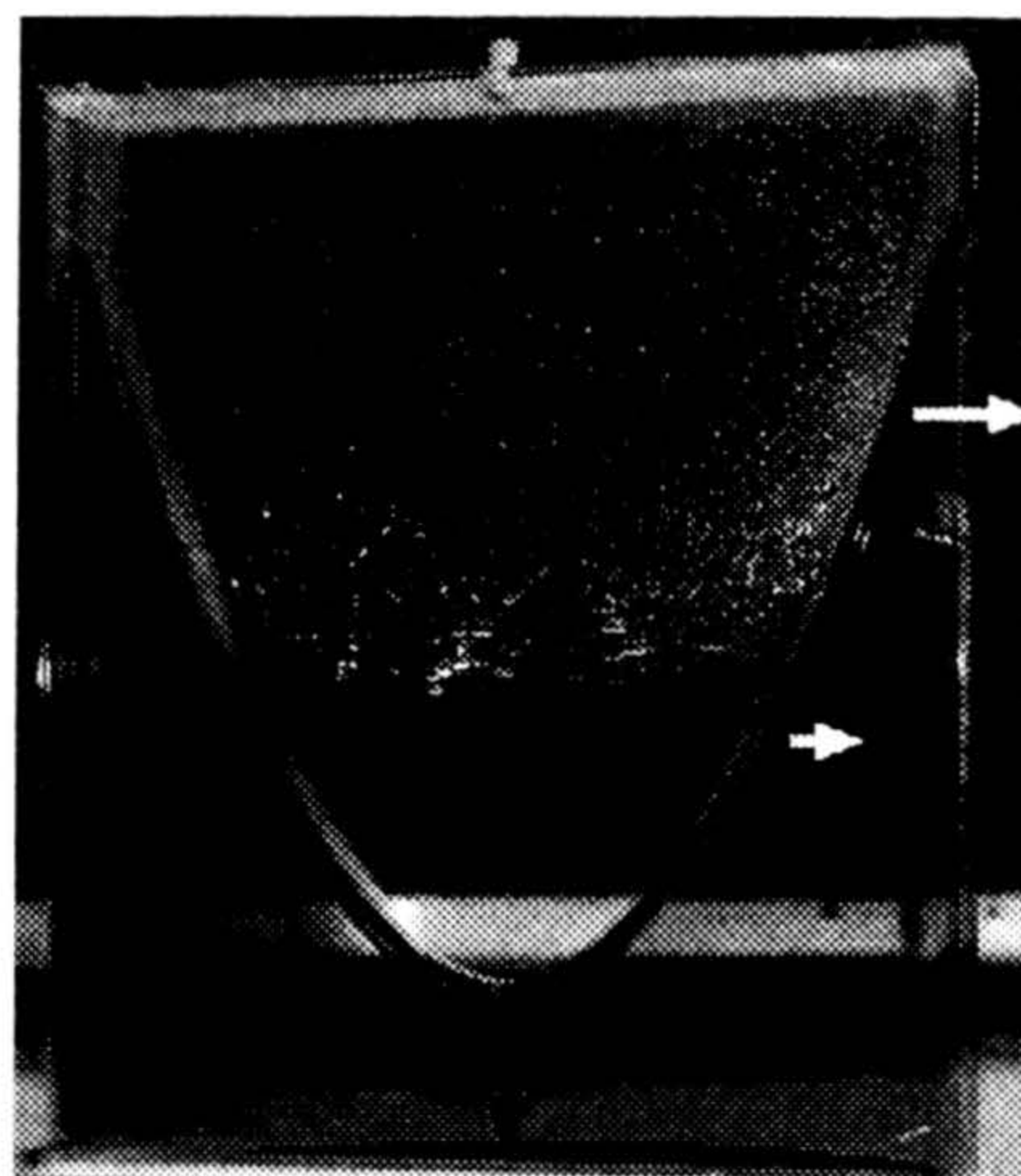
Stąd jego wartość jest największa dla punktów umieszczonych na równiku, a równa zero dla tych znajdujących się na osi obrotu.

Rozważając problem kształtu Ziemi przy pomocy rozkładu sił: grawitacji i odśrodkowej, działających na dowolny punkt umieszczony na powierzchni kuli stwierdzamy, że na równiku są one zwrócone przeciwnie względem siebie. Siłę odśrodkową odejmuje się od siły grawitacji. Stąd masa ciała w okolicy równika jest o ok. 0,3% mniejsza niż w rejonie bieguna. Siła wypadkowa $\vec{Q}$ dla Ziemi – elipsoidy jest w każdym punkcie prostopadła do jej powierzchni.

3. W naukach ścisłych taką możliwość stwarza nam twierdzenie Gaussa.

4. W „De Revolutionibus” Kopernik szeroko przywołuje także innych uczonych, którzy przed nim postulowali obrót własny ziemi.

Innymi słowy, wektor $\vec{Q}$ nie posiada składowej stycznej do powierzchni Ziemi⁵. Powierzchnię taką w fizyce nazywamy powierzchnią o stałym potencjale grawitacyjnym (rys.2a.).



Rys.2. a) Wypadkowa siła działająca na każdy punkt położony na powierzchni Ziemi jest prostopadła do tej powierzchni, b) Powierzchnia cieczy w wirującym akwarium z wodą przyjmuje kształt paraboli.

Dla przykładu powierzchnia wody w wirującym akwarium przyjmuje kształt paraboli. Jest to powierzchnia stałego potencjału grawitacyjnego dla cząsteczek wody umieszczonych w pionowym polu grawitacyjnym, doznających działania skierowanej „poziomo” siły odśrodkowej (rys.2b.).

Wbrew pozorom kształt powierzchni ekwipotencjalnej nie jest wcale łatwy do wyznaczenia/wyliczenia. Jedną z trudności jest obliczenie siły grawitacji, której w przypadku elipsoidy nie

$$F = -\frac{dE_p}{dr}.$$

możemy wyznaczyć, jak to ma miejsce w przypadku kuli, ze wzoru 1. Przybliżone obliczenia, choć ze względu na formalizm matematyczny wykraczające poza program szkoły średniej, są możliwe do zrealizowania przez wielu jej uczniów. Opierają się one o związek między siłą a energią: Siła jest pochodną energii potencjalnej po zmiennej r , wziętej ze znakiem minus:

Analogicznie, natężenie pola grawitacyjnego $\vec{E}$ jest gradientem potencjału V :

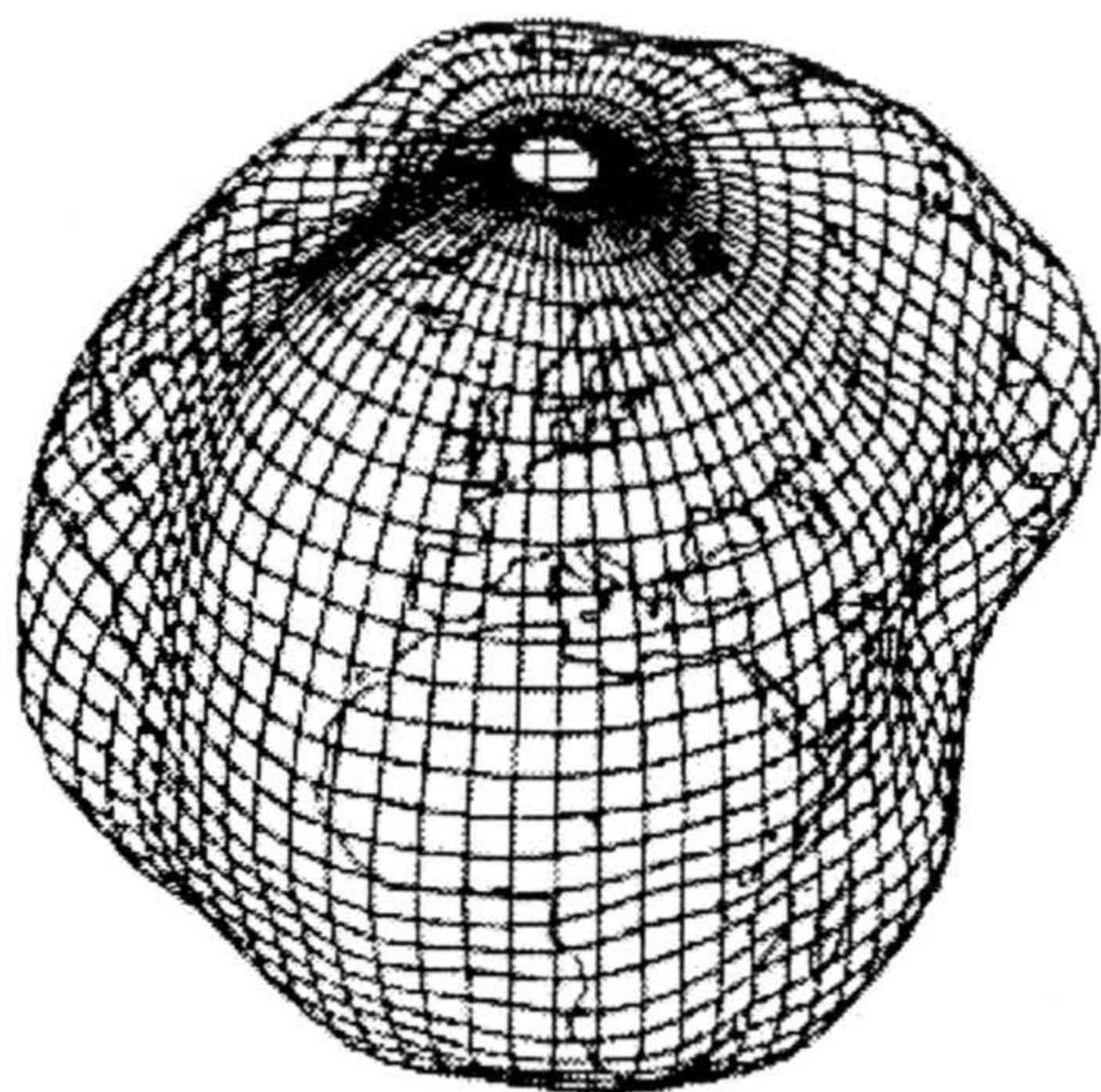
$$\bar{E} = -gradV.$$

Natężenie pola, często utożsamiane z przyspieszeniem grawitacyjnym, jest prostopadłe do powierzchni stałego potencjału, znak minus informuje, że wektor natężenia pola grawitacyjnego ma kierunek spadku potencjału.

Podsumowując, aby po „kuli” ziemskiej nie przelewały się fale kilometrowej wysokości, jej powierzchnia musi być powierzchnią stałego potencjału grawitacyjnego. Taką powierzchnią dla wypadkowej sił grawitacji i odśrodkowej bezwładności jest powierzchnia elipsoidy.

W całym rozważaniu „po cichu” przyjęliśmy, że masa w całej objętości elipsoidy jest rozłożona równomiernie. Tak jednak nie jest. Lokalne różnice w gęstości płaszcza, łańcuchy górskie, rowy oceaniczne, a nawet pływy morskie i wieżowce wpływają na lokalny grawitacyjny kształt Ziemi. Mierząc siłę grawitacji w pobliżu powierzchni Ziemi i wyznaczając na bazie tych pomiarów kształt powierzchni ekwipotencjalnej, naukowcom ukazał się całkiem odmienny

5. Gdyby posiadał składową styczną, jak ma to miejsce w przypadku Ziemi – kuli, w kierunku równika przelewały by się fale kilometrowej wysokości.



Rys.3. Kształt geoidy ujawnia wyraźną depresję w rejonie Oceanu Indyjskiego (Geoida, 2012).

obraz planety. Bryłę tą określono mianem geoidy. Jej odchylenia/odstępstwa od powierzchni referencyjnej elipsoidy są rzędu od – 100 m do 80 m. Powierzchnia ekwipotencjalna przebiega 100 m poniżej elipsoidy w rejonie Oceanu Indyjskiego oraz 80 m powyżej niej w rejonie Islandii i Oceanu Atlantyckiego odzwierciedlając wzmożoną działalność konwekcyjną w tym obszarze.

Współcześnie pomiar siły grawitacyjnej potrafimy przeprowadzić z dokładnością do ośmiu cyfr znaczących. Określenie kształtu Ziemi z tak dużą dokładnością może wpłynąć na lepsze rozumienie fizyki jej wnętrza a tym samym poprawić dokładność prognoz trzęsień ziemi, wybuchu wulkanów itp.

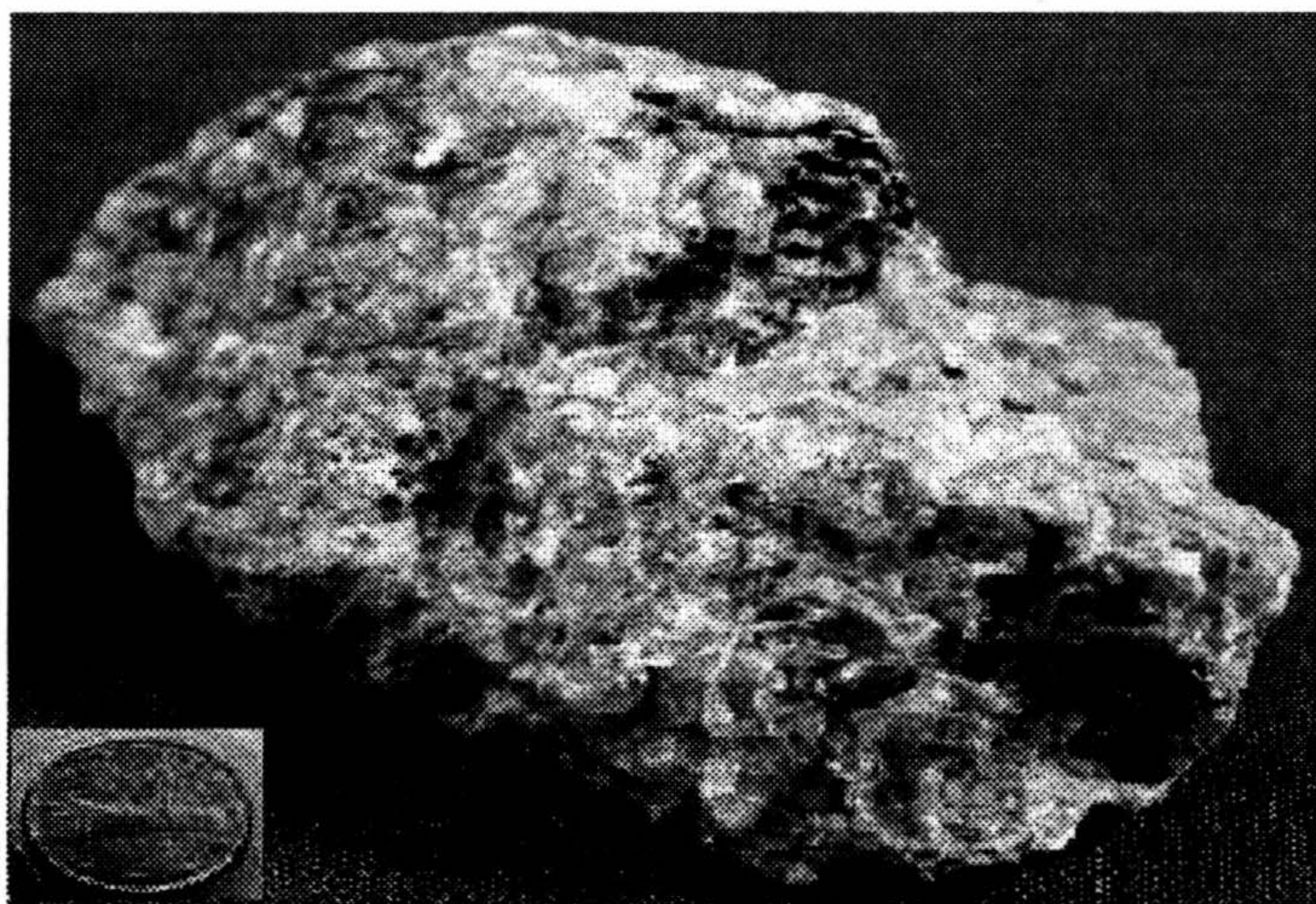
Uwzględniając, w procesie kształtowania wyobrażeń o kształcie „kuli” ziemskiej, także jej strukturę wewnętrzną, a więc skład chemiczny, procesy chemiczne i zjawiska, do jakich dochodzi w jej wnętrzu, bezpośrednio wpływające na jej formę, temat zdaje się wiązać większość przedmiotów przyrodniczych.

Tektonika płyt litosfery

Struktura wewnętrzna Ziemi oraz procesy fizyko – chemiczne, jakim ulegają materia ją tworząca, stanowią kolejny interdyscyplinarny wątek tematyczny, który może zostać rozwinięty podczas lekcji Przyrody. Dryf kontynentów, ich rozsuwanie się w jednym a zderzanie w innym miejscu są przyczyną zróżnicowania krajobrazu.

Za procesy wewnętrzne kształtujące oblicze naszej planety odpowiedzialne jest ciepło wewnętrzne Ziemi. To dzięki niemu następuje mieszanie się materii płaszcza i skorupy. Materia z głębszych partii skorupy ziemskiej i górnego płaszcza wypływa ku powierzchni, by następnie, w innym procesie powędrować w głębsze warstwy Ziemi. Skały poddane działaniu wysokiej temperatury i ciśnienia ulegają przeobrażeniu i stopieniu – „na wierzch” wypływają, jako zupełnie inna materia. Przykładowo, tlenek krzemu, SiO_2 można spotkać w kilku postaciach krystalicznych, kwarcu, krystobalitu, trydymitu itd. Podobnie jest z wapieniem, który w temperaturze znacznie przewyższającej 500°C i pod wysokim ciśnieniem przeobraża się w marmur. Krążenie materii w przypowierzchniowych sferach ziemi trwa po dziś dzień.

„Wewnętrzny ogień” także w bardziej wyraźny sposób kształtuje powierzchnię ziemi, przyczyniając do powstawania ciągnących się kilometrami łańcuchów górskich, archipelagów wysp, wulkanów itp. Według szacunków nieustannie w przestrzeń kosmiczną emitowanych jest 44 tryliony watów ciepła pochodzącego w pewnej tylko części z wysokoenergetycznych rozpadów pierwiastków promieniotwórczych⁶, a w połowie to ciepło oddawane w procesie stygnięcia po Wielkim Wybuchu, nazwane niekiedy ciepłem pierwotnym (The Geological Society of America, 2012). Koncentracja pierwiastków promieniotwórczych i ich nierównomierne rozłożenie w głębi globu, powodują lokalne różnice temperatury jej wnętrza. Dążąc do jej wyrównania, w półpłynnej warstwie płaszcza dochodzi do zjawiska konwekcji.



Rys.4. Granit z rejonu lotniska w Helsinkach. Przykład powolnej krystalizacji minerałów w bardzo odległym okresie historii Ziemi 3 – 3,5 mld lat temu).

„Wewnętrzny ogień” także w bardziej wyraźny sposób kształtuje powierzchnię ziemi, przyczyniając do powstawania ciągnących się kilometrami łańcuchów górskich, archipelagów wysp, wulkanów itp. Według szacunków nieustannie w przestrzeń kosmiczną emitowanych jest 44 tryliony watów ciepła pochodzącego w pewnej tylko części z wysokoenergetycznych rozpadów pierwiastków promieniotwórczych⁶, a w połowie to ciepło oddawane w procesie stygnięcia po Wielkim Wybuchu, nazwane niekiedy ciepłem pierwotnym (The Geological Society of America, 2012). Koncentracja pierwiastków promieniotwórczych i ich nierównomierne rozłożenie w głębi globu, powodują lokalne różnice temperatury jej wnętrza. Dążąc do jej wyrównania, w półpłynnej warstwie płaszczu dochodzi do zjawiska konwekcji.

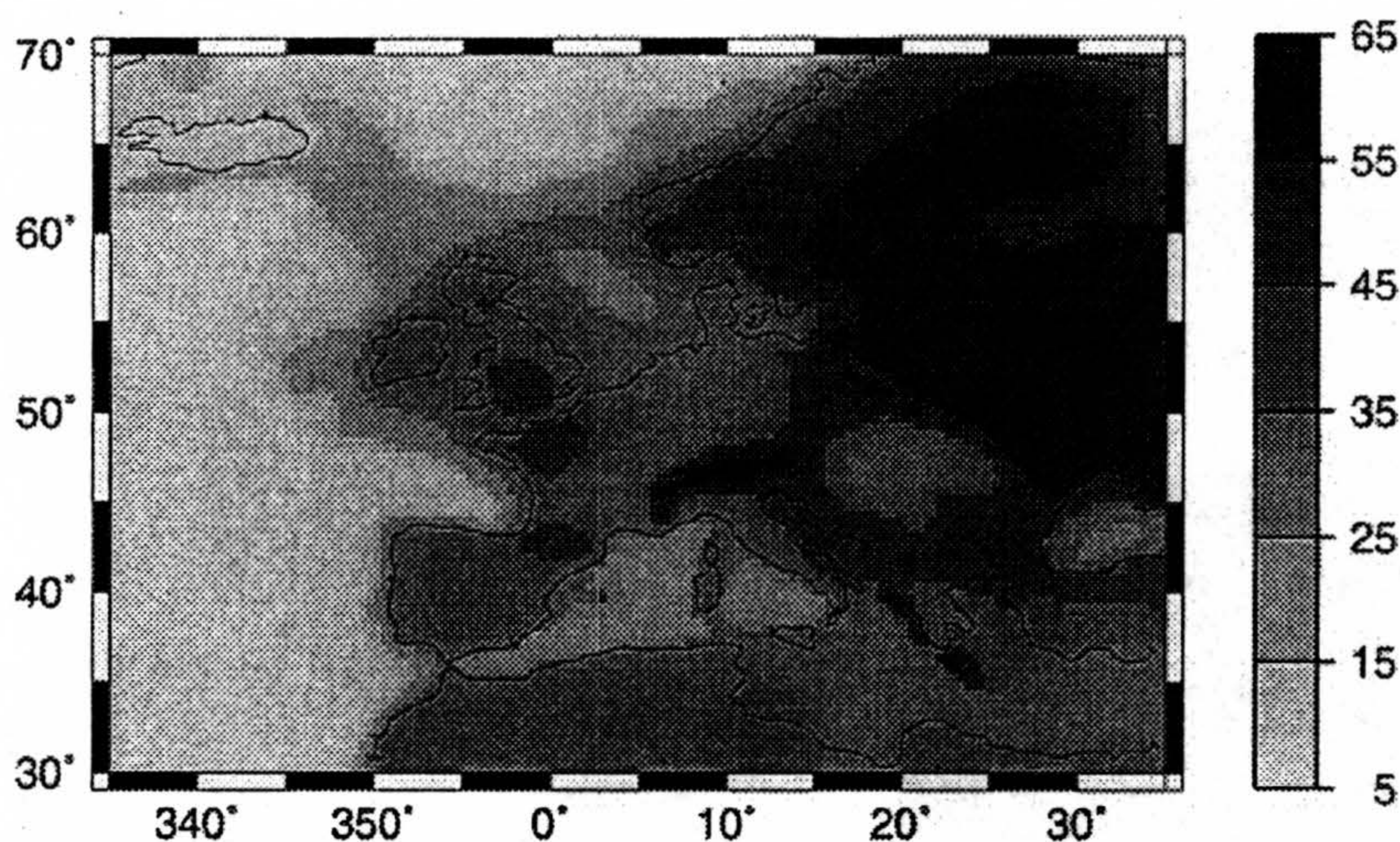
Konwekcja, czyli ruch cieczy (lub gazu) wynikająca z różnicy gęstości cieczy o różnej temperaturze. Ciecz podgrzewana od dołu rozszerza się i unosi do góry, tu ochładza się (jej gęstość rośnie) i zstępuje w dół, zamykając jej obieg. Proces ten powtarza się wielokrotnie. Wykorzystuje się go np. w kolorowych lampach, gdzie podgrzewana od spodu ciecz formułuje bąble poruszające się to do góry a po ostygnięciu spadające w dół. Sama konwekcja jednak nie wystarczy, aby wyjaśnić wszystkie zjawiska mające istotny wpływ na kształtowanie się krajobrazu. Do tego konieczne jest różnica w składzie chemicznym, ale i własnościach fizycznych poszczególnych sfer Ziemi.

Najlepiej poznana jest zewnętrzna warstwa Ziemi zwana skorupą. Jest to także najbardziej zróżnicowana, pod względem cech fizycznych, jak i składu chemicznego, sfera planety. Średnia gęstość skał tworzących skorupę to ok. $3,0 \text{ g/cm}^3$, jej grubość (miąższość) w zależności od miejsca występowania – kontynenty czy dna oceanów – różni się zasadniczo i sięga od kilkuset metrów do 8 – 10 km w strefach przykrytych wodą do 35 – 40, a nawet 70 km pod młodymi łańcuchami górskimi. Poniżej skorupy wydzielić można kilkukilometrowej grubości strefę nieciągłości Mohorovicicia, w której dochodzi do skokowego wzrostu prędkości fal sejsmicznych, co świadczy o zmianie (tu wzroście) gęstości skał ją tworzących⁷.

Strefa przejściowa oddziela skorupę od leżącego niżej płaszczu, dzielonego zwyczajowo na górny i dolny. Płaszcz ziemi obejmuje 67% masy kuli ziemskiej. Najwyższa część płaszczu wraz ze skorupą tworzy litosferę – twardą i sztywną geosferę. Poniżej niej znajduje się podatna

6. 8 TW z rozpadu promieniotwórczego ^{238}U (jego zawartość w skorupie ziemskiej to jedyne 0,0002%), kolejne 8TW z rozpadu ^{232}Th i 4TW z promieniotwórczego potasu ^{40}K .

7. O budowie głębszych partii ziemi wnioskujemy na podstawie badań geofizycznych, głównie sejsmicznych, wykorzystujących fale sejsmiczne i ich zachowanie się w trakcie przejścia przez różne ośrodki skalne. Prędkość fal sejsmicznych zależy od własności sprężystych i gęstości ośrodka, w którym się rozchodzą. Im większa gęstość skały, tym większa prędkość fal sejsmicznych.



Rys.5. Grubość skorupy ziemskiej wyznacza strefa nieciągłości Mohorovicicia. Na mapie Moho Europy widać, iż tarcza bałtycka i płyta wschodnioeuropejska zaczęły formować się bardzo dawno (ok. 3,5 mld lat temu), natomiast część zachodnia Europy – tu skorupa jest najcieńsza – zaledwie 360 mln lat temu (Du et al., 1998).

na deformacje astenosfera, która różni się od poprzedniej nie tyle składem chemicznym, co fazą materii, jest półpłynna (Kearey & Vine, 1990). To właśnie w astenosferze występują prądy konwekcyjne prowadzące do przemieszczania się magmy, jej podnoszenia i wyciekania przez skorupę ziemską. W płaszczu ziemi dochodzi do procesów, które stanowią bezpośrednią przyczynę wulkanizmu, górotwórczości, ruchów mas kontynentów, a przez nas postrzegane są jako czynniki kształtujące krajobraz.

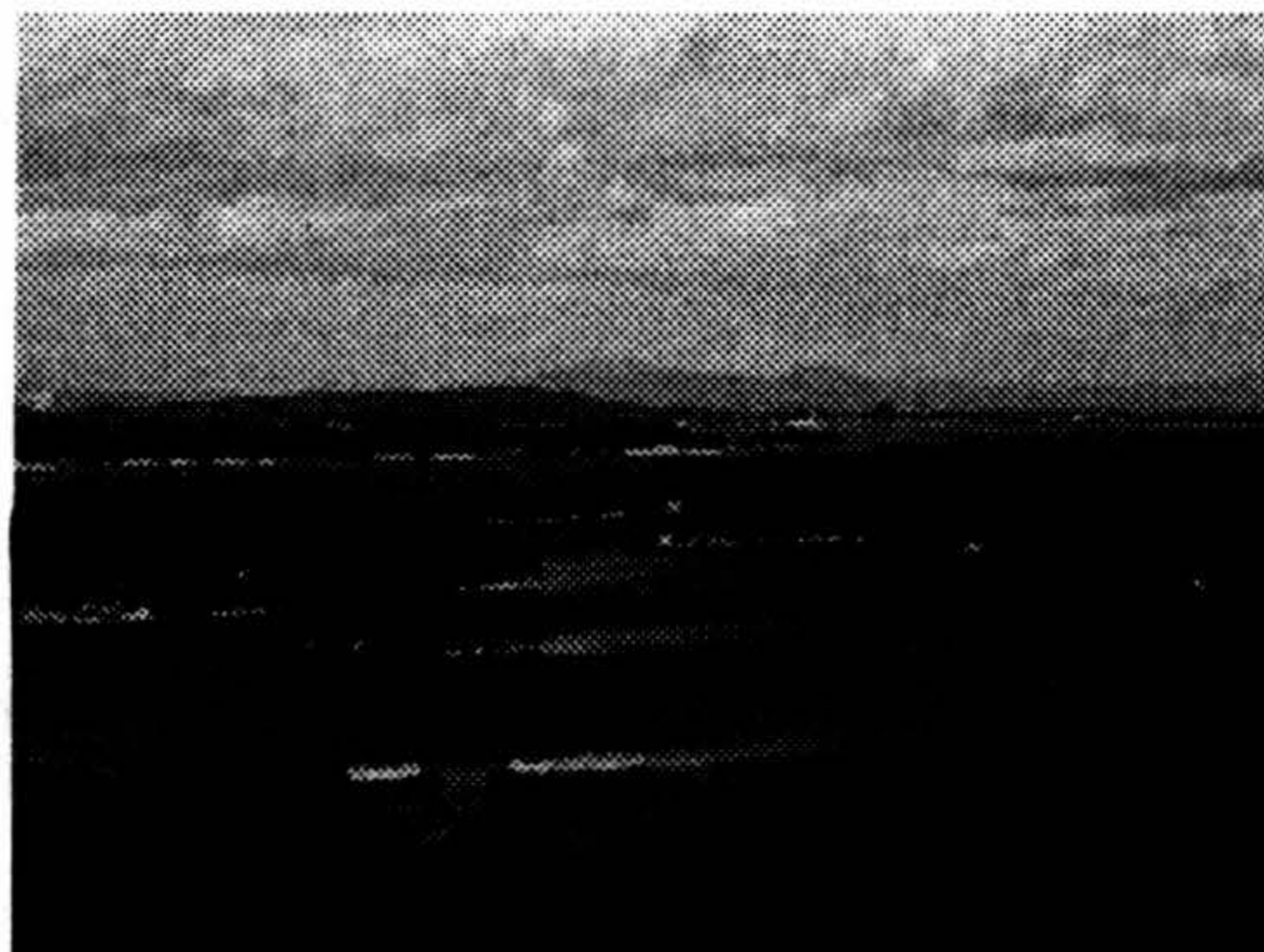
Granice pomiędzy płaszczem a niżej położonym jądrem wyznacza strefa nieciągłości Gutenberga. Prędkość fal sejsmicznych (typu P – rozchodzących się we wszystkich ośrodkach) w jądrze spada średnio o 6 km/s, a fale innego rodzaju (typu S – rozchodzą się tylko w ciałach stałych) nie są w ogóle rejestrowane. Pozwala to stwierdzić, z dużym prawdopodobieństwem, że jest ono w ciekłym stanie skupienia, a w jego składzie dominuje żelazo i być może tlen lub siarka. Wewnętrzna część jądra to prawdopodobnie żelazo w fazie stałej.

Litosfera nie stanowi jednej, zwartej, całości a składa się z współkształtnych z powierzchnią ziemi płyt tektonicznych. Sztywne płyty powoli dryfują, unosząc się na powierzchni astenosfery niejednokrotnie, jak to wynika z badań geologicznych, łącząc się w jeden superkontynent. Ostatni z nich, zwany Pangeą, uległ rozpadowi 200 mln lat temu. Materia płaszcza ogrzana w głębi wznosi się w pewnych miejscach do podstawy skorupy ziemi lub litosfery powodując jej pęknięcie. W ruchu konwekcyjnym w górę maleje ciśnienie, a więc i gęstość materii, a to z kolei przyspiesza jej wznoszenie się. Pod skorupą prądy konwekcyjne rozprzestrzeniają się poziomo i oddziałując na nią, powodują naprężenia a w konsekwencji pęknięcie sztywnej warstwy – tworzy się ryft. Z powstałej szczeliny na zewnątrz wypływa bazaltowa magma, która stygnąc, przyczynia się do rozszerzenia szczeliny i oddalania się płyt po obu jej stronach. Grzbiety śródoceaniczne – przecięte w ich osiowych częściach ryftem – zajmują ok. 15% powierzchni dna oceanu, a ich całkowita długość przekracza 60 tys. km. Występują one we wszystkich oceanach, a wśród nich szczególną pozycję zajmuje ryft ciągnący się wzdłuż Atlantyku, powodując oddalanie się obu Ameryk od Eurazji i Afryki o średnio 2,5 cm/rok.

Rozpadliny ryftowe nie są tylko i wyłącznie domeną środowiska oceanicznego. Podobne konstrukcje występują także na „suchym” lądzie. Najdłuższy na Ziemi rów tektoniczny biegnie wzdłuż Wschodniej Afryki i już wkrótce (za kilkadziesiąt milionów lat) doprowadzi do jej rozpadu⁸. Pierwsze rowy tektoniczne utworzyły się na tym obszarze 15 – 40 mln lat temu. Drugi etap rozpoczął się 5 mln lat temu i trwa po dziś dzień. Obecnie brzegi Morza Czerwonego oddalają się od siebie z prędkością 16 mm/rok a w Zatoce Adeńskiej to 20 mm/rok. Ryft Wschodnioafrykański charakteryzuje (cehuje się) intensywny wulkanizm. Skorupa ziemska w tym miejscu jest porozrywana i zastąpiła ją wznosząca się lawa.

Góry, jakie utworzyły się po obu stronach ryftu, są głównie pochodzenia wulkanicznego, w tym najwyższe szczyty Afryki: Kenia (5199 m n.p.m.) i Kilimandżaro (5895 m n.p.m.). Pęknięcie kontynentu przynosi szereg następstw dla dotkniętych nim obszarów. Powstałe góry, rowy, a także zmiana kierunku biegu rzek oraz wypełnianie nowych jezior, powodują zmiany klimatu i krajobrazu na wiele setek tysięcy, jeśli nie mln lat.

Wzrost płyt tektonicznych w strefach oceanicznych powoduje jednoczesne niszczenie starej skorupy kontynentalnej w innych obszarach. Miejsca, gdzie dochodzi do zapadania się starej, a więc ciężkiej, skorupy nazywamy strefą subdukcji. Dryfujące kontynenty wcześniej czy później ulegną kolizji. Mechanizmy tych zderzeń zależą od dwóch czynników: rodzaju zderzających się płyt – oceaniczne, cienkie, ale zbudowane z ciężkich skał bazaltowych; kontynentalne – grube (znaczna warstwa osadów) ale lekkie oraz od kierunku zapadania się płyty: ze wschodu na zachód czy odwrotnie.



Rys.6. a) Krajobraz Japonii wcale nie jest zdominowany przez wulkany – jest ich znacznie mniej niż w Andach. Na zdjęciu jeden z kilkudziesięciu aktywnych, w Kagoshimie na południu Japonii, przypominający nieco Wezuwiusz (fot. M. Karwasz), b) Wyspy Japońskie to stosunkowo niewysokie wypiętrzenie (max. do nieco ponad 3 tys. m), głównie skał osadowych. Na zdjęciu archipelag Matsushima, jedno z najpiękniejszych (obok Hiroshimy) miejsc w Japonii, na wschodnim wybrzeżu Honsiu, nawiedzonym przez tsunami w 2011 (fot. 2006, M. Karwasz).

Przykładem zderzenia dwóch płyt oceanicznych są wyspy Mariany, powstałe przy okazji wsuwania się płyty pacyficznej pod filipińską. Archipelag wysp mariańskich tworzy 15 wulkanicznych wierzchołków wystających ponad powierzchnię wody. Ugięcie się w dół wsuwanej płyty pacyficznej spowodowało powstanie w tym miejscu najgłębszego rowu oceanicznego (10,9 km).

Zderzenie dwóch płyt typu kontynentalnego jak np. uderzenie półwyspu Dekan w Azję czy Afryki w Europę, było przyczyną wypiętrzenia się jednych z najwyższych łańcuchów górskich: Himalajów i Alp. Oba typy gór składają się z materiału zdrapanego z wierzchnich warstw mniejszej płyty zapadającej się pod większą. Te wierzchnie warstwy to głównie skały osadowe, które bardzo często „spoczywały” pierwotnie na dnie ciepłych oceanów. Zderzenie płyty oceanicznej i kontynentalnej może przebiegać na dwa sposoby. W pierwszym przypadku płyta oceaniczna wsuwa się pod małym kątem pod płytę kontynentalną. Przykładem takiego mechanizmu subdukcji są Andy charakteryzujące się wzmożoną działalnością sejsmiczną i wulkaniczną. W rejonie Andów znajduje się 178 wulkanów! Dla wulkanizmu Andów decydujący jest kąt nachylenia wsuwającej się płyty. Jest on na tyle duży (20 – 30°), że płyta dociera na głębokość, gdzie temperatura jest wystarczająco wysoka, by stopić tworzące ją skały.

W drugim przypadku, kiedy płyta oceaniczna zapada się pod kontynentalną w kierunku ze wschodu na zachód pod dużym kątem sięgającym blisko 90°, jak w przypadku wysp Japońskich, zderzenie powoduje wypiętrzenie niewysokich gór i nieznacznego też wulkanizmu w tej strefie.

I wreszcie Hawaje, które są przykładem jeszcze innego procesu. Wydaje się, że w głębi astenosfery pali się pod oceaniczną skorupą gorąca „świeca”. W dryfującej powoli skorupę oceanicznej wypala ona kolejne „dziury”, czyli poszczególne wulkany tworzące archipelag hawajski. Wulkany te położone niegdyś na dnie Oceanu Spokojnego ok. 1 mln lat temu zaczęły

wyrzucać potoki gorącej lawy. Każdej erupcji towarzyszyło powstanie kolejnej zastygłej pokrywy lawowej. Cały proces trwał na tyle długo, aż stożki wulkaniczne wynurzyły się ponad powierzchnię wody, tworząc wyspy. Nawet dzisiaj w pobliżu południowo – wschodniego brzegu Big Island pojawił się podwodny wulkan, który za jakiś czas (ok. 50000 lat) stanie się kolejną wyspą lub też łącząc się ze swoim sąsiadem, powiększy jego obszar (Tilling et al., 2012).

Różny przebieg zderzeń płyt tektonicznych decyduje o obserwowanych krajobrazach, a poszczególne mechanizmy powodują pionowe mieszanie się materiału skalnego, który ulegając przeobrażeniu, powraca w nowej formie na powierzchnię Ziemi.

W przeszłości archipelagi wysp wielokrotnie łączyły się w stabilne superkontynenty, po czym rozpadały się na mniejsze struktury. Łączenie sprzyjało migracji zarówno zwierząt, jak i roślin, stąd taka ich różnorodność na każdym z kontynentów. Separacja geograficzna niektórych gatunków przyczyniła się z kolei do powstania nowych, a więc w sposób znaczny zwiększała bioróżnorodność organizmów żywych.

Ziemia dostarcza nam całą paletę różnorodnych krajobrazów. Trudno znaleźć dwa takie same pasma górskie czy dwa takie same stożki wulkaniczne, o ile w ogóle jest to możliwe. Temat ten może stanowić wprowadzenie do omówienia cech charakteryzujących poszczególne kontynenty.

Przedmiot Przyroda, ze względu na łączenie elementów przedmiotów przyrodniczych, stanowić będzie wyzwanie zarówno dla nauczycieli, jak i ich uczniów. Niewątpliwie stwarza on okazję do rozwijania indywidualnych zainteresowań uczniów, a równocześnie rozwija zainteresowania i pasję nauczycieli. Daje także możliwość lepszego wykorzystania bazy dydaktycznej szkoły i osobowych zasobów nauczycieli oraz uwzględnienia specyfiki danej szkoły.

Literatura

- Du, Z. J., Michelini, A. & Panza, G. F. (1998). EurID: a regionalized 3-D seismological model of Europe, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 106, Issues 1–2, March 1998, 31–62
- Kearey, P. & Vine, F. J. (1990). *Global tectonics*, Blackwell Science.
- Kopernik, M. (2004) *O obrotach ciał niebieskich*, tłum. L.A. Birkenmajer, Wydawnictwo Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, Księga pierwsza, s.35–40,
- Tilling, R., Heliker, Ch. & Swanson, D. Plate Tectonics and the Hawaiian Hot Spot, <http://geology.com/usgs/hawaiian-hot-spot/> (dostęp: 07.07.2012),
- Europejska Agencja Kosmiczna, <http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/index.html> (dostęp: 08.07.2012).
- Geoida - <http://www.gs-enduro.de/html/navigation/karte.htm>, (dostęp: 09.07.2012).
- The Geological Society of America, The Source of Earth's Internal Heat <http://geology.com/press-release/earths-internal-heat> (dostęp: 07.07.2012),

Justyna Chojnacka

Instytut Fizyki

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Toruń, PL

e-mail: justyna@fizyka.umk.pl