O POSTACI I CIĘŻARZE ZIEMI.

Staraniem **Spółki Nakładowéj Warszawskiéj** wyszły z druku i są do nabycia we wszystkich księgarniach następujące dzieła:

Herbert Spencer: Zasady Etyki, z 3-go wydania oryginału angielskiego przełożył Jan Karłowicz. rs. 2.

Światełko, książka dla dzieci, napisana zbiorowo przez grono wybitniejszych autorów polskich, w ozdobnéj oprawie, z drzeworytami w tekście. rs. 1 kop. 80

Brandes Jerzy: Główne prądy literatury XIX stulecia: Szkoła Romantyczna we Francyi. (Całość oddzielna) rs. 2.

☞ Nabywający dzieła powyższe w kantorze **SPÓŁKI NAKŁADOWEJ (Warszawa, Zielna Nr. 7a)** kosztów przesyłki nie ponoszą.

Wkrótce wyjdą:

Chmielowski Piotr: Autorki Polskie XIX wieku.
Kramsztyk Stanisław: Siły Przyrody.
Prus Bolesław: Nowelle.
Smoleński Władysław: Dzieje Polski,
— Drobna Szlachta w Królestwie Polskiem.
— Kuźnica Kołłątajowska
I kilka innych.

PRAWDA

TYGODNIK POLITYCZNY, SPOŁECZNY I LITERACKI,

redagowany przez

Aleksandra Świętochowskiego.

przy współudziale grona pisarzy postępowych.

W kwartalnym dodatku bezpłatnym wydano dotąd:

1. Kwestyę polską, **Pypina.**
2. Cztery tomy słynnego dzieła **Brandesa:** Główne prądy literatury XIX stulecia.

Od października 1884 r. w tymże bezpłatnym dodatku wychodzi:
Ekonomia Polityczna.

Adres Redakcyi: **Warszawa, Zielna 7 a.**

Rocznik pedagogiczny, wydawany pod redakcyą *S. Dicksteina* przy współudziale wielu pedagogów. Rok I. 1880-1 Warszawa 1882. Cena rs. 2 kop. 50. Rok II. 1882-4 Warszawa 1884. Cena rs. 2 Wydania kasy pomocy imienia Mianowskiego.

Wydawnictwo Spółki Nakładowéj Warszawskiéj.

O POSTACI I CIĘŻARZE ZIEMI

PRZEZ

Stanisława Kramsztyka.

Wydanie drugie.

Co możemy.

WARSZAWA
SKŁAD GŁÓWNY
w biurze i ekspedycyi Spółki Nakładowej Warszawskiéj.
Zielna 7a.

1885.

12/47
WYŻSZA SZKOŁA ROLNICZA W OLSZTYNIE
1703

Дозволено Цензурою.
Варшава, 7 Февраля 1885 года.

WYŻSZEJ SZKOŁY GOSPOD. WIEJ. W ŁODZI
BIBLIOTEKA
1703
1474
Nr 2926

Warszawa Druk K. Kowalewskiego, Królewska № 23.

O postaci i wielkości ziemi.

I.

„Ziemia ma postać kuli pod biegunami spłaszczonéj.“

Treściwe, uświęcone to zdanie usłyszeliśmy w tak wczesnéj młodości, tak głęboko wbiło się w pamięć naszą, że mimowoli uważamy je za pewnik jakiś naukowy, za aksyomat podobny do tych, na których matematyka gmach swoich twierdzeń buduje. Wzrastając w sferze pojęć i wiadomości zebranych długą i mozolną pracą minionych pokoleń, przywykamy uważać je za prawdy jakby naturalne i wrodzone, przyjmujemy je z prostotą dziecka, odbiérającego bez uczucia wdzięczności dary swych opiekunów, jakby hołd sobie należny ani się zastanawiając, ile mrówczego trudu i orlich polotów złożyło się na zdobycie prawdy najprostszéj, która dziś jest własnością powszechną dla wszystkich dostępną.

Tak właśnie ma się rzecz z owém pojęciem kulistości ziemi i jéj podbiegunowych spłaszczeń. A jednak, nie daléj nad cztérysta lat temu, gdy

zuchwały genueńczyk puszczał się na morze nieznane, aby od zachodu dotrzéć Indyj, nęcących bogactwami swemi wzrok ówczesnéj Europy, uczeni doktorzy Salamanki przekonywali go o niedorzeczności i bezbożności podobnego zamiaru.

Czyż będziemy się dziwili Hezyodowi, że uważał ziemię za tarczę płaską oblaną ze wszech stron oceanem, gdy świat ówczesnego Greka był tak małym, że nie sięgał daleko poza granice Hellady, od Kaukazu do Sycylii zaledwie, w późniejszych dopiéro czasach kraniec ziemi usunął się po słynne słupy Herkulesowe, dzisiejszy Gibraltar, daléj rozpoczynała się już kraina baśni; i dla Talesa przeto w siódmym wieku przed Chrystusem ograniczona ta przestrzeń jest kręgiem po wodzie płynącym.

Pojęcie płaskości ziemi ustąpić mogło dopiéro wtedy, gdy umysł myślicieli zdołał się oswobodzić z krępujących go więzów złudzeń zmysłowych, gdy duch ludzki nauczył się sięgać daléj, aniżeli wzrok ludzki sięga. Plato pojmuje, że ziemia ciągnie się daleko poza obszary znane jego rodakom; „my, co mieszkamy między rzéką Phazis a słupami herkulesowemi, osiadłszy nad brzeziemi morza wewnętrznego, niby mrówki lub żeby dokoła bagna, znamy zaledwie drobną część ziemi,“ a snując genialne swe rojenia z naczelnéj zasady dobra i doskonałości, uważa za formę tyzową ziemi sześcia», gdy światu całemu przypa-

da najdoskonalsza postać kuli. Już jednak przed Platonem domyślać się zaczęto kulistości ziemi Być może, że zasadę tę wygłosił piérwszy Pytagoras, lubo i w jego zestawieniu żywiołów z bryłami foremnemi ziemia sprowadza się do sześcianu.

Jaśniéj i dowodniéj za kulistoscią ziemi przemawia Parmenides z Elei w piątym wieku przed Chrystusem, ale dopiéro trzej najgenialniejsi przedstawiciele w starożytności nauk przyrodzonych, matematyki i astronomii, Arystoteles, Archimedes i Ptolemeusz uzasadniają pogląd ten dowodami opartemi na obserwacyi i matematycznie wyrozumowanemi. W długiej wszakże pomroce wieków średnich poglądy tych umysłów potężnych poszły niemal w zatracenie, a ziemia podawnemu pozostała płaską, tak dalece, że jeszcze u schyłku cztérnastego wieku Kolumb zaledwie zdołał wpoić w spółczesnych sobie ożywiającą go wiarę w możliwość drogi zachodniéj do Indyj. Chcąc jednak istotnie zadzierzgnąć nić, wiążącą myśl naukową starożytności z czasami nowemi, trzeba się posunąć aż do téj książki pamiętnéj, co rzeczywiście dopiéro rozpoczyna okres odrodzenia wiedzy i stoi na czele dalszego postępu nauki, który raz rozbudzony miał się już odtąd snuć nieprzerwanie. Łatwo pojąć, że punktem wyjścia pomysłów Kopernika o ruchach ziemi musiało być zupełne przeświadczenie o jéj kulistości; dlatego téż, wspomniawszy krótko o

kulistości świata, zestawia w drugim i trzecim rozdziale księgi piérwszéj znane sobie dowody kulistéj postaci ziemi, i oto co mówi:

„Ziemia także jest kulistą dla tego, że ze wszystkich stron na swoim środku spoczywa. Lubo dokładnéj jéj kulistości zaraz widzieć nie można, z przyczyny wyniosłości gór i wklęsłości dolin, to jednak nie zmieniają one bynajmniéj ogólnéj jéj okrągłości. Co się da tak okazać. Jeżeli skądkolwiek posuwamy się ku północy, biegun północny obrotu dziennego zwolna coraz bardziéj będzie się wznosił nad poziom, a drugi biegun jemu przeciwległy o tyleż będzie zapadał; nadto wiele gwiazd blisko bieguna północnego nie będzie już dla niego zachodziło, a w okolicy południowéj nieba niektóre całkiem nie będą już wschodziły; i tak gwiazda południowa Canopus nie jest widzialną we Włoszech, gdy przeciwnie błyszczy w Egipcie. Włochy znowu widzą ostatnią gwiazdę w rzéce Erydanie, któréj zimniejsza okolica nasza nie zna wcale. Dla tych przeciwnie, którzy ku południowi podróżują, gwiazdy przy biegunie południowym wznosić się będą coraz wyżéj, a zniżać, które wysoko nad poziomem były wzniesione. Jednocześnie i nachylenia biegunów zachowują zawsze jednakowy stosunek do dróg na ziemi przebieżonych, co żadnéj innéj tylko kulistej figurze służy. Stąd rzecz widoczna, że i ziemia między biegunami jest zamknięta i dlatégo jest kulistą. Przydajmy nadto że i mieszkańcy Wscho

du nie widzą zaćmień księżyca i słońca przypadających nad wieczorem, a mieszkańcy Zachodu zaćmień porankowych; zaćmienia zaś wydarzają się śród dnia: pierwsi, to jest wschodni, widzą późniéj, a ostatni wcześniéj. Że i wody morskie układają się do postaci kulistéj (1), dostrzegają to żeglarze, ląd bowiem stały, niewidzialny z pokładu okrętu, daje się często spostrzedz z wysokości masztu. I nawzajem, gdyby ktoś na szczycie masztu światło umieścił, wtenczas w miarę oddalania się okrętu od ziemi, ci którzy na brzegu stoją, widzieć będą to światło powoli się zniżające, dopóki nareszcie, jakby zachodząc, zupełnie nie zniknie (2). Wiadomo też, że woda z natury swéj płynna, zawsze dąży ku miejscom niższym, podobnie jak ziemia i od brzegu począwszy nie podnosi się wyżéj, niż to wypukłość ziemi pozwala. Dla tego ląd stały o tyle wystaje nad powiérzchnię wód eceanu, o ile w różnych miejscach jest wyższym".

W rozdziale trzecim rozbiéra Kopernik, jakim sposobem ziemia tworzy jednę kulę wraz z wodą, „zkąd, mniéj nas to dziwić będzie, że się znajdują mieszkańcy przeciwnożni czyli przeciwziemni. Że bowiem Ameryka północna jest na przeciwnéj stronie Indyj gangesowych, to z własności geo-

---

(1) Na kulistość morza zwrócił uwagę piérwszy Archimedes.

(2) Dowód Ptolemeusza.

metrycznych kuli wynika. Z tego wszystkiego uważam nakoniec za rzecz dowiedzioną, że ląd i woda odnoszą się do jednego środka ciężkości, który jest zarazem środkiem objętości ziemi, że rozpadliny ziemskie wypełnione są wodą, i że dlatego wody w porównaniu z lądem jest mniéj, chociaż co do powiérzchni więcéj wody może się wydawać. Ziemia wraz z oblewającemi ją wodami taką niezbędnie postać miéć powinna, jaką cień jéj wskazuje, ten zaś na zaćmionym księżycu przedstawia się w postaci doskonałego łuku“ (3).

Dowody powyższe kulistości ziemi, przez Kopernika wyliczone, były po większéj części znane już w starożytności; godna wszakże uwagi, że w zestawieniu tém brak dowodu czerpanego z okrągłości widnokręgu czyli horyzontu, na którą to rzecz w nowych podręcznikach geografii kładzie się nacisk największy; wnosić z tego można, że dowód ten nie został wyprowadzony z obserwacyi w czasach, gdy tak skrzętnie gromadzono skazówki do określenia postaci ziemi, ale obmyślony został późniéj, na potwierdzenie ustalonego już poglądu. Rzeczywiście, sama okrągłość widnokręgu nie ma tu żadnéj zgoła wagi, choćby bowiem ziemia zupełnie była płaską, obszar, którybyśmy wzrokiem objąć mogli, byłby zawsze liniją kołową zamknięty poprostu dlatego, że wzrok na wszystkie strony jednakowo daleko sięga. Do-

(3) Dowód Arystotelesa.

jwód z horyzontu wtedy dopiéro nabiéra siły, gdy dodamy, że widnokrąg powiększa się w miarę, ak wznosimy się w górę nad powiérzchnię ziemi; z wysokości np. 64 stóp angielskich nad powiérzchnią morza obejmujemy, według reguły braci Schlagintweitów, koło o promieniu 2 mil geograficznych, z wysokości zaś o 80 stóp większéj dojrzymy na granicy widnokręgu przedmioty rozłożone w odległości trzech mil. Ale okoliczność odrębna wprowadza tu pewne zawikłanie. Promienie światła biegnące z powiérzchni ziemi do oka obserwatora, znajdującego się na znacznéj wysokości, przechodzą warstwy powietrza coraz rzadsze i załamują się tak, że przebiegają właściwie liniję krzywą, wklęsłością obróconą ku dołowi. Sprowadza to złudzenie podobne do tego, jakiemu ulegamy, patrząc z boku na dno jeziora lub choćby tylko na naczynie napełnione wodą: woda wydaje nam się płytszą a dno podniesioném. Podobnie i w przypadku, który nas obecnie zajmuje: przedmioty dokoła nas rozłożone przedstawiają się nam jakby wyniesione i to tém więcéj, im daléj się od nas znajdują. Cała przeto powiérzchnia poziomu w dali nie zapada coraz głębiéj, ale wydaje się jakby ku górze wygiętą; a obserwator na wysokości będący doznaje złudzenia, jakby znajdował się w środku powiérzchni wklęśléj, a nie wypukléj.

Dlatego to może dawniejsi stronnicy kulistości ziemi w rozszérzaniu się widnokręgu nie widzieli

dowodu popierającego ich pogląd; to też nam może tłumaczy osobliwe zapatrywanie się niektórych filozofów starożytnych, jak Leucyppa np., którzy ziemi postać nieckowatą, wydrążoną przypisywali.

Do dowodów zresztą przez Kopernika przytoczonych można chyba dodać jeszcze analogiję naszéj bryły ziemskiéj do pokrewnych jéj ciał niebieskich. Gdy wielki ten prawodawca nowéj astronomii strącał ziemię z naczelnego jéj we wszechświecie stanowiska i w rzędzie ją planet mieścił, ani mógł przypuszczać, jak silne podobieństwo ziemi i planet wykazać zdołają badania następne, ilu spólnemi cechami pokrewieństwo to uzasadnią. A gdy wszystkie te ziemie, zarówno jak słońce, około którego krążą, jak i księżyce, które do koła nich się toczą, wszystkie, z wyjątkiem chyba owych drobin, które jako meteoryty po całéj przestrzeni świata się snują, posiadają postać kulistą, któżby mógł ziemi jakąś odrębność, odmienną jéj postać przyznawać?

„A więc, tak kończy Kopernik rozumowania swoje o kulistości ziemi, nie jest ziemia płaska, jak Empedokles i Anaksymenes utrzymywali, ani bębnowata według Leucypa, ani czółenkowata według Heraklida, ani w inny sposób wydrążoną według Demokryta, ani obłą według Anaksymandra, ani od spodu opatrzoną korzeniem coraz cieńszym, w głębi nieograniczonym, według Kseno-

fanesa, ale jest doskonale okrągłą, jak to uczeni rozumieją.“

Jak to uczeni rozumieją! Przed trzystu tedy jeszcze laty uczeni tylko pojmowali kulistą postać ziemi, ogół z tą myślą jeszcze się nie oswoił. Ale w owym właśnie czasie zajść musiał przewrót pojęć i jaśniejsze rozumienie kształtu ziemi rozpowszechniło się zapewne w szesnastém stuleciu; wtedy to przedstawił się dowód jeżeli nie najpewniejszy, to niezawodnie najwymowniejszy i najdostępniejszy. Był to bowiem wiek wielki dla rozwoju ziemioznawstwa, pamiętny okres odkryć geograficznych. Dziś jeszcze, gdy morza i lądy żadnéj już dla nas nie kryją tajemnicy, a piśmiennictwo podróżnicze tak się rozrosło, że arcydzieła jego tylko uwagę na siebie zwrócić mogą, dziś jeszcze niepodobna bez najżywszego zajęcia i bez istotnego wzruszenia czytać opisów tych śmiałych wędrowców, co śród niepojętych dziś zawad i trudów piérwsi ziemię dokoła opłynęli i zuchwale rzucali się w obszary nieznane i tajemnicze jak grób, bo jak z za grobu nikt jeszcze stamtąd wieści nie przyniósł. Opisy tych wypraw rozbiegały się szybko, z ciekawością słuchano opowiadań o dziwnych krajach, ze zdumieniem dowiadywano się o antypodach naszych, a sprawa kulistości ziemi stanowczo wygraną została.

II.

Pytanie o wielkości ziemi łączy się bezpośrednio z pojęciem, jakie o jéj postaci mamy; niepodobna bowiem dochodzić rozległości tarczy o granicach nieokréślonych albo téż bryły o korzeniu nieograniczenie w tajemniczą głąb sięgającym; ale zadanie to jasno się przedstawia, gdy mamy do czynienia z bryłą ściśle ograniczoną, zamkniętą, a ułatwia się niesłychanie w obec bryły prawidłowéj, jaką właśnie przedstawia ziemia kulista.

Kula stanowi formę geometryczną tak prawidłową, że znajomość jedynie jéj promienia pozwala rachunkiem bardzo prostym ocenić wszystkie inne jéj wymiary, i długość kół na niéj nakréślonych, i pole jéj powiérzchni, i jéj objętość wreszcie. Wszystko to, od czasów Archimedesa, jest rzeczą łatwą, gdy znamy promień kuli; ale skoro nam o ziemię idzie, nie może być mowy o bezpośrednim pomiarze jéj promienia i pozostaje jedynie droga wręcz odwrótna. Należy przeto zmierzyć wielkie koło na jéj powiérzchni

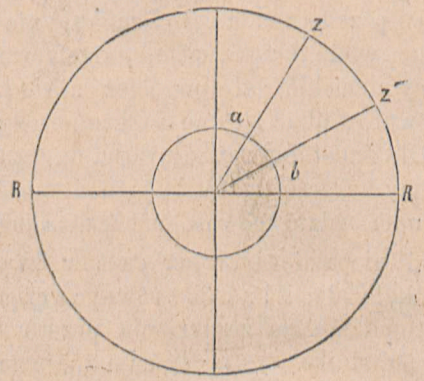
nakréślone, a gdy znalezioną tę długość podzielimy przez znaną liczbę archimedesową, wskazującą ile razy okrąg koła większy jest od swojéj średnicy, znajdziemy średnicę, a zatém i promień kuli ziemskiéj. Takim sposobem zadanie pomiaru ziemi sprowadza się do zmierzenia wielkiego jéj koła, to jest południka. W takiéj rozciągłości przedstawione to zadanie nie byłoby zapewne wiele łatwiejszém, aniżeli zmierzenie średnicy ziemskiéj, ale przecież nie trudno tu będzie wprowadzić istotne a niezmierne ułatwienie. Dla zupełnéj prawidłowości okręgu koła oznaczymy bezpośrednio całą jego długość, skoro znaną nam będzie pewna, oznaczona jego część.

A od niepamiętnych już czasów zwykło się okrąg koła dzielić na 360 równych części, zwanych stopniami; dla znalezienia przeto długości całego południka wystarczy nam znajomość długości jednego jego stopnia,—i rzeczywiście całe olbrzymie zadanie zmierzenia ziemi sprowadza się do pomiaru stopnia południka. Wychodząc tedy z któregokolwiek miejsca na ziemi, należy się posunąć w kierunku południka na północ lub na południe o długość jednego stopnia i przestrzeń przebieżoną zmierzyć. Ale, niestety, do wykonania rzecz ta równie jest trudną, jak łatwą jest do pojęcia.

Bo najpiérw na ziemi nie masz zgoła drogoskazów, któreby nas ostrzegały, żeśmy się o jeden stopień na jéj powiérzchni posunęli; pomiar roz-

B.W.S.G.W.

począć możemy z któregokolwiek punktu, ale nie wiemy zgoła dokąd go prowadzić, gdzie go ukończyć. Drogoskazów takich niema na ziemi, ale bardzo je wyraźnie wyczytać można na niebie. Prosty rysunek rzecz tę nam wyjaśni.



Kółko małe *ab* przedstawia nam południk ziemski, okrąg zaś większy jest wyobrażeniem południka niebieskiego; podobnie jak ciężarek zawieszony na nitce pod wpływem siły ciężkości wypręża ją w kierunku przechodzącym przez środek ziemi, tak też i ludzie w różnych miejscach ziemi, stojąc prosto, utrzymują się w kierunku pionowym. Człowiek przeto znajdujący się w miejscu *a* widzieć będzie nad głową, w zenicie swoim, gwiazdę *z*, a gdy przejdzie po po-

łudniku do miejsca *b*, inną już dostrzeże nad głową gwiazdę *z'*. Otóż samo spojrzenie na rysunek uczy, że łuk na pozornéj sferze niebieskiéj, zawarty między dwiema gwiazdami *z* i *z'*, jest takąż częścią całego południka niebieskiego, jaką łuk *ab* jest częścią południka ziemskiego, czyli innemi słowy łuk *zz'* ma zupełnie tyleż stopni co łuk *ab*. Jeżeli przeto, wychodząc z któregokolwiek na ziemi miejsca, posuwać się będziemy po południku, dopóki gwiazda, która piérwotnie była tuż nad naszą głową, nie oddali się od naszego zenitu na jeden stopień, to wiedzieć będziemy, żeśmy i na ziemi jeden stopień przebiegli. Dla usunięcia nasuwającéj się tu wątpliwości, pośpieszamy dodać, że w porównaniu z odległością gwiazd wymiary ziemi są nieskończenie małe, że względem sfery niebieskiéj jest ona zaledwie punkcikiem, tak, że położenie gwiazdy jest zupełnie jednakie, czy spoglądamy na nią z powiérzchni ziemi, czy téż z jéj środka, bylebyśmy tylko kierunku swego nie zmienili.

Pominęliśmy tu wprawdzie pewne zawikłanie, pochodzące z obrotu dziennego, w skutek którego każda gwiazda w drodze swéj od wschodu ku zachodowi chwilowo tylko na południku się znajduje; ale téż niekoniecznie brać trzeba pod uwagę gwiazdę będącą w zenicie; gdy bowiem przechodzimy na północ lub na południe, podobnież i każda gwiazda zmienia względem nas wyniesienie swe nad poziom, swą wysokość. Najdogod-

niéj przeto będzie obrać gwiazdę, która ani wschodzi ani zachodzi i stale błyszczy w jednym punkcie sklepienia niebieskiego; gwiazdą tą jest gwiazda biegunowa. Mieszkaniec bieguna widzi ją nad swoją głową, dla mieszkańca równika znajduje się ona tuż w jego poziomie, a dla mieszkańca sfer pośrednich wznosi się na tyle stopni nad poziom, na ile stopni jest od równika oddalony, czyli, innemi słowy, pod jaką szérokością geograficzną mieszka. Jeżeli przeto przy posuwaniu się na północ lub na południe poznamy, że gwiazda biegunowa podniosła się lub zniżyła o jeden stopień, znaczyć to znów będzie, że przebiegliśmy jeden stopień na południku. Nawiasowo dodać tu można, że właśnie położenie gwiazdy biegunowéj, wzniesienie jéj nad poziom, oznacza szérokość geograficzną danego miejsca, bo téż łuk południka między dwoma miejscami stanowi różnicę ich szérokości geograficznych.

Z rozumowania tego przejść możemy teraz do opowieści historycznéj usiłowań, jakie łożył człowiek w celu oznaczenia postaci i wielkości ziemi.

III.

Piérwszy pomiar południka a zatém i ziemi dokonany został przed dwoma tysiącami lat w Egipcie.

Żaden inny kraj, mówi Peschel, nie nadawał się do tego celu tak dobrze, jak stary kraj Faraonów; dolina bowiem Nilu ciągnie się prawie w kierunku południkowym i jest zupełnie płaską. Kraj podzielonym był na dwa szeregi obwodów, ciągnące się wzdłuż Nilu, przedzielone granicami idącemi w kierunku wschodnio-zachodnim, poprzecznie do rzéki. Dla oznaczenia rozległości tych powiatów, dawno już zmierzono ich długości i szérokości, tak że dla znalezienia rozciągłości kraju z południa na północ trzeba było tylko zsumować długości powiatów po jednéj stronie rzéki położonych. Wszystko więc było przygotowaném; trzeba było tylko bystrości myśli greckiéj, aby materyał ten spożytkować w olbrzymim celu zmierzenia ziemi. I dokonał tego ateńczyk Eratostenes, powołany w trzecim wieku przed Chrystusem przez Pot-

lemeusza Ewergeta na przewodniczącego słynnéj biblioteki aleksandryjskiéj. Usłyszał on mianowicie, że w Syenie, daleko na południe leżącéj, w czasie najwyższego stanowiska słońca, w chwili południa, przedmioty zgoła cienia nie rzucają, a promienie słoneczne oświetlają wody studzien aż do dna. Wniósł z tego słusznie, że w dniu przesilenia letniego słońce znajduje się niemal w zenicie Syeny. Poznał nadto, że tegoż samego dnia, również w południe, słońce w Aleksandryi odaloném jest od zenitu na 7° 12'. Słońce jest więc gwiazdą, o któréj mówiliśmy wyżéj, wypływa zatém z tego, że i łuk południka ziemskiego między Syeną a Aleksandryą wynosi także 7° 12', co stanowi $^1/_{50}$ część całego okręgu koła. A że według dawnych pomiarów egipskich odległość tych dwu miast wynosiła 5000 stadyj, przeto cały południk ziemski obejmuje ich 50 razy więcéj, to jest 250000 stadyj. W owych już zatém czasach, gdy zaledwie świtała myśl o kulistości ziemi, dowiedział się już człowiek, jak wielką jest bryła, którą zamieszkuje, a któréj tak małą zaledwie znał naówczas cząstkę.—Krytyka nieraz rozpatrywała wyniki pracy Eratostenesa, pragnąc ocenić, jak dalece zbliżył się on do prawdy. Rozstrzygnięcie wszakże jest trudném, z mniéj lub więcéj bowiem uzasadnionych tylko domysłów wnosić możemy, jak wielką była stadya do pomiaru tego użyta. Dokładny zwłaszcza jéj rozbiór podaje Lelewel, najsumienniej-

szy badacz geografii starożytnéj. Prawdopodobnie wynosiła ona około $^1/_{40}$ dzisiejszéj mili geograficznéj; w takim razie obwód ziemi według Eratostenesa miałby 6250 mil geograficznych, zatém niemal o 1000 mil więcéj, aniżeli wypada z pomiarów nowszych. Nikt wszakże za błąd ten poniżać pracy Eratostenesa nie zechce, nikt też nie mógłby żądać dokładności w czasach owych, gdy ani astronomii ani miernictwu nie stały na usługi narzędzia ścisłe, gdy brakło jeszcze owéj wprawy, którą wyrobić miała dopiéro praca długich wieków i pokoleń. Nie z tego bowiem zasługę matematyka greckiego sądzić należy, jak wykonał, ale co wykonał; pamiętać należy, że on piérwszy wskazał drogę, która wciąż się doskonaliła i doskonali jeszcze, ale w zasadzie pozostała jedną i tą samą.

W sto lat późniéj inny filozof grecki, Pozydoniusz z Apamei, drogą podobną jak Eratostenes a następnie Ptolemeusz metodą nieco ściślejszą, przeprowadzili pomiary południka; ale rezultaty przez nich osiągnięte nie górowały zapewne wiernością nad pracą piérwszą, a jednak starczyć miały na długi okres, aż do drugiéj połowy wieku siédmnastego. Wszelka bowiem myśl naukowa zaginęła śród narodów europejskich, a przez dziwną zamianę ról ciż sami synowie Wschodu, co niedawno zniszczyli zabytki wiedzy starożytnéj, zbratali się z nauką grecką, odtworzyli ją z niedopalonych szczątków aleksandryjskich i roz-

miłowali się w astronomii i geografii. Wtedy to, w dziewiątem stuleciu, z polecenia Kalifa Al-Mamuna, dwaj uczeni arabscy Chalif ben Abdelmalk i Ali ben Iza zmierzyli prętami odległość dwu punktów na powiérzchni ziemi; punkta te były oddalone o 2° t. j. o $^1/_{180}$ część południka, a odległość ich oznaczono na 450600 łokci; według tego zatém długość całego południka wynosi 450600×180=81108000 łokci.

O ile znamy długość łokcia arabskiego, wielkość powyższa niewiele różni się od dawnych egipskich pomiarów, a uczonym arabskim zarzucają nietylko, że pracowali zbyt pośpiesznie, ale nawet, że ułatwili sobie pracę, przekładając poprostu miary greckie na arabskie.

Sześć wieków upłynęło wszakże, zanim praca ta nanowo podjętą została. W r. 1550 lekarz francuski, Jan Fernel, udał się z Paryża drogą do Amiens powozem tak urządzonym, że mógł przeliczyć liczbę obrotów kół, i posuwał się tak daleko, dopóki z wysokości słońca w południe nie osądził, że przebiegł jeden stopień na północ. Pomimo uderzającéj niedokładności tego postępowania, długość tę oznaczył z błędem stosunkowo niewielkim, tak, że i on wzbudził podejrzenie, iż przedstawił jedynie wyniki prac dawnych swych poprzedników.

IV.

Z początkiem dopiéro wieku XVII nastaje nowy okres w sprawie pomiarów ziemi. Postęp techniki wytworzył przyrządy miernicze dokładniejsze, a wynalazek lunet i mikroskopów powiększył siłę wzroku ludzkiego i nadał mu pewność taką, że odtąd dopiéro położenie gwiazd należycie można było oznaczyć. Ale jak zmysły znalazły pomoc niespodziewaną, tak téż i rozwój matematyki nadał rozumowaniu ścisłość dawniej nieznaną; powstały nowe gałęzie téj staréj nauki, pod wpływem których miernictwo zupełnemu uległo przeobrażeniu. Obok niedokładności w oznaczeniu położenia gwiazd, drugiém walném źródłem błędów w pomiarach dawniejszych było to, że ziemia, najeżona chropowatościami, nie pozwala nigdzie oznaczyć dokładnie długości na przestrzeni nieco znaczniejszéj; trygonometrya uczy, jak szkopuł ten bezpiecznie ominąć można, bo według jéj zasad potrzeba istotnie zmierzyć na ziemi liniję niewielką, aby daléj już drogą rachunku poznać długość jakiéjkolwiek linii.

Zasługa wprowadzenia téj metody przypada geometrze holenderskiemu Willebrardowi Snelliusowi; polega ona na użyciu pomocniczéj siec

trójkątów i dlatego też nazywa się *triangulacyą* to jest *trójkątowaniem*.

Nie przyjdzie nam trudno zapoznać się z jéj głównemi zasadami. Dajmy, że idzie o zmierzenie długości części południka między miejscami A i B (fig. 2). Od punktu A prowadzimy w kierunku zupełnie dowolnym linią AC, którą obrać przeto możemy w warunkach najbardziéj sprzyjających; liniję tę, zwaną *podstawą*, zmierzyć należy jak

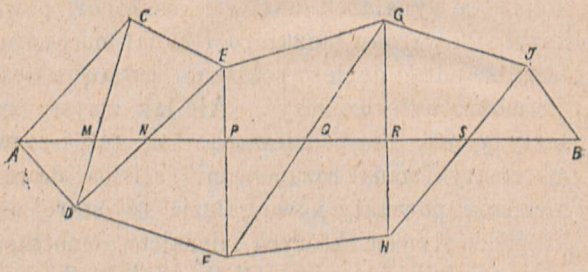


fig. 2.

najstaranniéj. Następnie z jednéj i drugiéj strony południka obiéramy stanowiska C, D, E, F i t. d. oznaczone przedmiotami stałemi i wyniosłemi. wieżami np., i tak, aby z każdego z nich dostrzedz można było stanowisko sąsiednie; wtedy z punktu A za pomocą lunety spoglądamy najpiérw na punkt C, następnie obracamy ją tak, aby dostrzedz punkt D; kąt, na jaki będzie trzeba obrócić lunetę, będzie właśnie kątem DAC na gruncie; następnie przenosimy się do punktu C, skąd podobnież, spoglądając na stanowiska A i D, zmierzymy kąt

ACD; w trójkącie przeto ACD znamy bok i dwa kąty i możemy rachunkiem oznaczyć długość boku CD. Jeżeli więc podobnie jak poprzednio oznaczymy kąty ECD i CDE, z rozwiązania, jak się mówić zwykło, trójkąta CDE znajdziemy długość boku DE, a w ten sposób postępując daléj, poznamy długość wszystkich boków nakréślonych na gruncie. Następnie trzeba jeszcze oznaczyć kąt CAM jaki obrana podstawa AC czyni z kierunkiem południka AM, wtedy z trójkąta ACM poznamy długość piérwszéj części południka AM; z tegoż trójkąta obliczymy długość CM, a że długość CD jest nam już znaną, znać téż będziemy bok DM trójkąta DMN, którego rozwiązanie da nam długość drugiéj części południka MN. Pojmujemy, że w ten sposób idąc daléj, znajdziemy częściami całą długość łuku południka AB. Możemy nadto miéć łatwą kontrolę całéj roboty, jeżeli zmierzymy ostatni bok IB i przekonamy się, czy pomiar ten jest zgodny z długością tego boku, otrzymaną rachunkiem. Całe zatém zadanie pomiaru południka sprowadza się do zmierzenia dowolnej podstawy i do zmierzenia szeregu kątów, co jest zadaniem nieporównanie łatwiejszém. Rachunek zaś znalazł istotną pomoc w logarytmach, których wynalazek na początek wieku XVII przypada.

Metody przez siebie obmyślonéj użył Snellius do zmierzenia łuku południka w Holandyi, między Bergen op Zoom a Alkmaarem 1615 r. Nie-

zadawalniający rezultat téj pracy nie jest zapewne winą metody postępowania, ale niedokładnych jeszcze narzędzi, któremi się posługiwano.

Chwała przeprowadzenia piérwszego dokładnego pomiaru ziemi przypada Francyi, która na długo stała się głównem ogniskiem tych badań.

Daleko już słynęło obserwatoryum paryskie, ale króla nudziły suche prace astronomiczne; dla rozerwania tedy Ludwika XIV pracą więcéj zajmującą postanowiono zmierzyć wielkość ziemi. Stanowi to istotną epokę w téj sprawie; zadanie to bowiem poruczono Picardowi, który je pomyślnie przeprowadził w r. 1669—1670, zmierzywszy łuk południka 1° 21' 57'' między Malvoisine i Amiens. Korzystał on nietylko z narzędzi dokładniejszych niż Snellius, ale i metody rachunkowe wprowadził ściślejsze; trójkąty bowiem nakréślone na ziemi uważał jako sferyczne, to jest ograniczone liniami krzywemi, nie za płaskie, za jakie je Snellius przyjmował; a zarazem téż i podstawa była dłuższa—5663 sąż. par. Byłto piérwszy pomiar istotnie matematyczny, z którego wypadło, że długość jednego stopnia wynosi 57060 sążni paryskich (toises).

Właściwie i Picard nie uniknął błędów zarówno w pomiarze podstawy, jak i w astronomicznem oznaczeniu krańcowych punktów mierzonego łuku południka; ale dzięki osobliwemu zbiegowi błędy astronomiczne wynagrodziły o tyle

błędy geodetyczne, że nawzajem się zniosły, a praca Picarda posiada ścisłość uderzającą.

W historyi umysłowego rozwoju ludzkości pomiar ten ma znaczenie niesłychanie doniosłe. W owym to bowiem czasie genialny umysł Newtona, zestawiając analogicznie bieg ciał spadających na ziemi i ruchy planet, odgadywał prawo ciążenia powszechnego, które miało stać się podstawą dalszego rozwoju astronomii. Prawo to usiłował wykazać na objawach wzajemnego przyciągania ziemi i księżyca, a matematyczne uzasadnienie tego wymagało dokładnéj znajomości promienia ziemskiego. Pomiar jednak Snelliusa był jeszcze tak błędnym, że obliczona na jego zasadzie wielkość promienia ziemskiego, wprowadzona do rachunku, nie potwierdziła genialnego tego domysłu, a Newton zmuszony był badania swe opuścić. Dopiéro, gdy się o wynikach pomiarów Picarda dowiedział, wrócił do swych poszukiwań, a gdy piérwszy rachunek słuszność jego prawa potwierdził, doznał tak żywego wzruszenia, że nie był w możności rachunku tego powtórzyć i do przeprowadzenia go musiał wezwać pomocy przyjaciela.

V.

Po pomiarach Picarda można tedy było pytanie o wielkości ziemi uważać za rozwiązane, ale właśnie wtedy, w drugiéj połowie siedmnastego wieku, powstała nowa, a niezmiernie ważna kwestya, tycząca się znowu saméjże postaci ziemi, zaczęto bowiem powątpiewać o zupełnéj jéj kulistości. Dostrzeżono mianowicie, że zégary przewożone na południe, w okolice bliższe równika, opóźniały się, a dla należytego ich uregulowania trzeba było wahadło skracać. Dla rozstrzygnięcia téj rzeczy udał się w r. 1677 z polecenia akademii paryskiéj Jan Richer do Kajenny, gdzie przekonał się, że tam zégar jego opóźniał się codziennie o $2\frac{1}{2}$ minuty, i że wahadło sekundowe paryskie było tam o $1\frac{1}{4}$ linii zbyt długie.

Ponieważ przyczyną poruszającą wahadło jest siła ciężkości, z wolniejszego tedy jego biegu można było wnosić, że siła ciężkości słabiéj działa w okolicach równika, że rośnie natomiast w miarę posuwania się stąd ku biegunom.

Natychmiast po powrocie Richera Newton poznał że niejednostajność ta działania siły ciężkości jest następstwem obrotu ziemi około osi. Jak bowiem przy obrocie kamyka uwiązanego na nitce,

tak też w skutek obrotu ziemi wzbudza się siła odśrodkowa, przeciwdziałająca sile ciężkości i rosnąca w miarę posuwania się od biegunów, które pozostają w spoczynku, do równika, którego punkta największe drogi około osi opisują. Ale stąd wypływa i dalszy wniosek, tyczący się postaci ziemi. Jeżeli zgodzimy się na to, a geologija poważnemi dowodami domysł ten popiéra, że ziemia niegdyś była wstanie płynnym, to sam

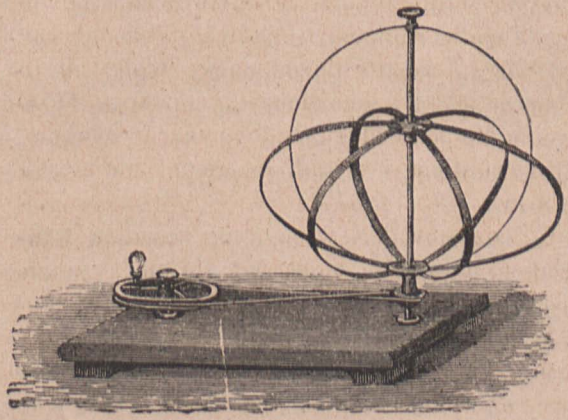


fig. 3.

już jéj obrót około osi zmienić musiał pierwotną doskonałą jéj postać kulistą i sprowadzić spłaszczenie podbiegunowe. Uzmysławia to najlepiej proste doświadczenie. Na osi przyrządu zwanego machiną odśrodkową (fig 3) a służącego do szybkiego wprawiania w obrót różnych przedmiotów osadzamy kulę, utworzoną z prążków

metalowych, giętkich; różne punkta tej kuli niejednakowo są od osi oddalone, biegną tedy z niejednakową szybkością. Na jej przeto równiku, w miejscach najbardziej od osi odległych, wzbudza się siła odśrodkowa największa; punkta tam położone najznaczniej od osi odbiegają, wskutek czego kula przybrać musi postać spłaszczoną, postać *elipsoidy obrotowej*, inaczej *sferoidy*. A właśnie płynna, przynajmniej plastyczna pierwotnie ziemia, w takichże samych znajdowała się warunkach; ruchliwe, swobodne między sobą jej cząstki ulegać mogły wpływowi siły odśrodkowej wzbudzonej jej obrotem; ziemia musiała się pod biegunami wydąć, spłaszczyć pod równikiem i z kuli zamienić na sferoidę obrotową.

Tak rozumował Newton, a na zasadzie teoretycznych wywodów, opierając się na szybkości obrotu ziemi, obliczył nawet spłaszczenie ziemi na $^1/_{230}$; inny znakomity fizyk i matematyk ówczesny Huyghens podzielił ten pogląd, ale rachunek jego, z nieco odmiennych zasad o wewnętrznéj budowie ziemi wychodzący, doprowadził do ułamku $^1/_{578}$ na owo przypuszczalne spłaszczenie. Nie wszyscy jednak uczeni przystawali na zdanie dwu wielkich matematyków. W początkach mianowicie ośmnastego wieku, w ciągu lat 1700—1718 astronomowie La Hire i Cassini przedłużyli pomiar Picarda na północ do Dunkierki i na południe do Perpignan u Pireneów; na

znacznéj téj przestrzeni długość stopnia nie wszędzie okazała się jednakową; na krańcu południowym 57098, na północnym 56960 toazów. Niezgodność ta była rezultatem owych błędów, które się utaiły na niewielkiéj linii zmierzonéj przez Picarda, a obecnie silnie się uwidoczniły. Cassini jednak, uważając rezultat ten za zupełnie wiarogodny, wniósł stąd, że ziemia jest w kierunku swéj osi wydłużoną, że zatém spłaszczenie przypada nie pod biegunami ale na równiku, czyli że ziemia ma postać jajowatą.

W ten sposób wszczął się zacięty spór naukowy, tyczący się już nie wielkości ziemi, ale jéj postaci, i dający się streścić w pytaniu: cytryna czy pomarańcza; do jednéj lub drugiéj bowiem z tych postaci da się porównać ziemia wydłużona lub spłaszczona pod biegunami.

Rozstrzygnięcie tego zasadniczego sporu zawdzięczamy znowu akademii paryskiéj. Dla rozjaśnienia wątpliwości co do miejsca spłaszczenia ziemi należało przedsięwziąć pomiary w dwu miejscach, jak najbliższych bieguna i równika. Gdyby bowiem ziemia była kulą istotną, długość jednego stopnia południka byłaby wszędzie tąż samą; co innego wszakże, jeżeli nie jest ona wszędzie jednakowo skrzywiona. Wtedy, posuwając się po południku, aby dostrzedz zmianę wysokości gwiazdy o 1° na niebie, trzeba będzie na ziemi przebiedz przestrzeń większą w tych stronach, gdzie jest więcéj spłaszczoną, aniżeli

tam, gdzie jest silniéj skrzywioną; to znaczy, że w okolicy spłaszczonéj stopień południka musi być dłuższym, aniżeli w stronie bardziéj skrzywionéj. Trzeba zatém było zmierzyć długość stopnia w okolicy równika i w okolicy bieguna; w tym celu udała się w roku 1735 komisya astronomiczna, wyznaczona przez akademiję, do Peru, w roku zaś następnym podążyła druga w strony podbiegunowe do Laponii. Druga ta komisya lapońska, w skład któréj wchodzili Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, i do któréj przyłączył się astronom szwedzki Celsius, zmierzyła od Tornea do Kittis łuk niewielki (0° 57' 28,5") i pracę swą ukończyła już na wiosnę 1737, roku.

Komisya peruwiańska, złożona z Bouguera Lacondamine'a i Godina, rozpostarła siéć swoich trójkątów bardzo blisko równika, na północnéj jego stronie, a że napotkano tam znaczne przeszkody z powodu chropowatości gruntu, zarazem téż zmierzono łuk daleko większy (3° 7' 14"), od Quito do Cuença, ukończono ten pomiar daleko późniéj, dopiéro w sierpniu 1739 (1).

---

(1) Pomiar peruwiański uważany był w swoim czasie za nadzwyczaj dokładny. Rzeczywiście, ostatnia linia sieci trójkątów, odpowiadająca linii IB (fig. 2 str. 20), według zmierzenia bezpośredniego miała długość 5259 t.; rachunek zaś trygonometryczny, oparty na długości podstawy (6273 t.), okazał długość o sążeń mniéj, co znaczy, że różnica stanowi-

Z pomiarów tych, w zestawieniu z dawniejszym pomiarem Picarda, okazuje się długość jednego stopnia:

w Peru . . 56750 toazów (110608 metrów)
we Francyi . 57060 „ (111212 „)
w Laponii . 57438 „ (111949 „)

Widzimy więc jasno, że długość stopnia południka wzrasta w miarę, jak przesuwamy się od równika ku biegunowi, i zanim jeszcze pomiary peruwiańskie ukończone zostały, mógł już 13 listopada 1737 Maupertuis oświadczyć akademii nauk, że ziemia jest spłaszczoną pod biegunami, a gdy w r. 1750 Lacaille poznał, że koło przylądka Dobréj Nadziei stopień południka dłuższy jest niż pod równikiem, zwycięztwo Newtona i Huyghensa było stanowcze.

ła około $^1/_{5000}$ téj linii krańcowéj. O ile od tego czasu postąpiła dokładność robót, okazuje się stąd, że obecnie wymaganą jest ścisłość przynajmniéj $^1/_{100000}$, a przy znakomitym pomiarze hiszpańskim z r. 1865 otrzymano błąd wynoszący zaledwie $^1/_{5850000}$, to jest długość obliczona podstawy (14500 metrów) różniła się od rzeczywistéj mniéj niż o 3 millimetry.

VI.

Skoro już przeto oznaczono wielkość i postać ziemi, główny cel pomiarów ziemi, znowu się odtąd zmienia. Szło teraz oczywiście o ścisłe wyznaczenie spłaszczenia ziemi.

Gdy ziemia przestała być kulą, tém samém i południki nie są okręgami ale elipsami, średnica czyli oś równikowa nie jest już równą osi biegunowéj. Pomiary, o których daléj mówić będziemy, wykazały, że długość piérwszéj wynosi 1719 mil geograficznych, druga zaś jest od niéj krótszą o 6 mil czyli blisko o $^1/_{300}$ część. Ułamek też właśnie $^1/_{300}$ nazywamy spłaszczeniem ziemi.

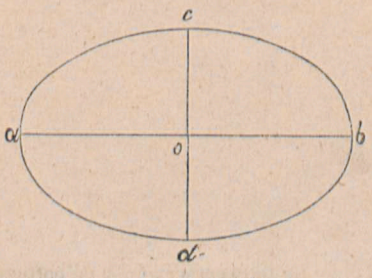


fig. 4.

Zwykle też nie porównywają się między sobą całe średnice, ale ich połowy; spłaszczenie zatém jest ułamkiem, jaki otrzymujemy, gdy różnicę

między półosią wielką (ao)(fig.4) a półosią małą (co) podzielimy przez półoś małą $\frac{ao-co}{ao}$. Zaledwie dodać tu potrzeba, że przy dochodzeniu ogólnéj postaci ziemi, góry i doliny nie mogą być brane pod uwagę. Wyobrażamy tu sobie ziemię wygładzoną, tak jakby wszelkie lądy zostały usunięte, a morze rozprzestrzeniło się po całéj bryle ziemskiéj; wtedy ta powiérzchnia morza stanowiłaby jakby powiérzchnię idealnéj elipsoidy czyli sferoidy ziemskiéj; dlatego to wyniki wszystkich pomiarów sprowadzają się czyli redukują drogą rachunku do powiérzchni morza. Nie zapominajmy przytém, że wszelkie wyniosłości i niziny ziemskie są nieznacznemi zaledwie na jéj powiérzchni nierównościami, zmarszczkami; najwyższe bowiem góry niewiele przenoszą tysiączną część jéj promienia.

Jak nieznaczném jest zresztą i samo spłaszczenie ziemi, okazuje się najlepiéj z tego, że nie dałoby się ono przedstawić wyraźnie na bardzo nawet wielkim globusie. Gdybyśmy bowiem promieniowi równikowemu nadali wielkość choćby łokcia, to na promień biegunowy wypadnie wziąć długość mniejszą o $\frac{1}{300}$ łokcia t. j. mniéj aniżeli o jednę liniję. Różnicy tak nieznacznéj nietylko byśmy dostrzedz nie mogli, ale same nieuniknione chropowatości i nierówności przy wyrobie kuli wynosić mogą więcéj; dlatego sztucznemu wyobrażeniu bryły ziemskiéj nadaje się postać kuli.

Nie sądźmy wszakże, aby już owe pomiary a-

kademii francuskiéj doprowadziły do dokładnego oznaczenia spłaszczenia ziemi; okazuje się to już stąd, że z zestawienia pomiarów francuskich z lapońskiemi otrzymano liczbę $^1/_{145}$, a francuskich z peruwiańskiemi $^1/_{340}$. Już sama ta niezgodność dodała nowego bodźca do dalszych prac, a skoro raz poznano drogę do celu wiodącą, gorliwie się po niéj uwijano, tak, że w drugiej połowie ośmnastego wieku przeprowadzono kilka pomiarów południka, nietylko w Europie, ale w Ameryce i Azyi. Kwestya postaci, czyli właściwiéj mówiąc, spłaszczenia ziemi, wszędzie wówczas żywe budziła zajęcie, dzięki zwłaszcza zabiegom uczonego i ruchliwego jezuity Boskowicza (Boscovich), który działał zarówno przykładem, jak i gorliwą zachętą, a domyślając się słusznie, że wpływ, jaki góry wywierają na odchylenie pionu, sprowadzać może błędy w obserwacyach astronomicznych, radził pomiary przedsiębrać w okolicach płaskich i położonych jak najdaléj od pasm górskich. Jednakowoż: z powodu głównie niedokładności narzędzi, wszystkie owoczesne prace nie przedstawiają należytéj ścisłości i do rozstrzygnięcia całéj kwestyi zgoła się nie przyczyniły.

VII.

U samego dopiéro schyłku zeszłego stulecia sprawa pomiarów ziemi przyjmuje zwrót pomyślniejszy. Szczęśliwym zbiegiem kwestya wielkości i postaci ziemi połączyła się tym razem z zadaniem czysto praktycznem, pod którego znamieniem zdobyła sobie poparcie żywsze i silniejsze. Szło wtedy o zastąpienie miar dawniejszych, niedogodnych i dowolnych, miarami prawidłowemi i uzasadnionemi.

„Ktokolwiek zastanawia się, mówi Laplace, nad olbrzymią liczbą miar używanych, nietylko u różnych ludów, ale nawet u jednego narodu; nad ich podziałami dziwacznemi i do rachunku niedogodnemi; nad trudnością poznania ich i porównywania, ten zgodzić się musi na to, że jedną z największych usług, jakąby rządy oddać mogły społeczeństwu, byłoby przyjęcie układu miar, którychby podziały nadawały się jak najłatwiéj do rachunku i któreby, w sposób jak najmniéj dowolny, wyprowadzały się z miary zasadniczéj, *przez samą przyrodę wskazanéj*.“

Usiłowania Laplace'a i innych znalazły chętne przyjęcie w zgromadzeniu ustawodawczém, rządzącém podówczas Francyą, i na jego zlecenie akademija nauk powierzyła 1790 r. opracowanie nowego układu miar komisyi, do składu któréj należeli najznakomitsi ówcześni uczeni —Borda, Lagrange, Laplace, Monge i Condorcet. Trudne to zadanie komisya spełniła w sposób przynoszący istotną chlubę Francyi.

„Tożsamość rachunku dziesiętnego, mówi daléj Laplace, z rachunkiem liczb całkowitych nie pozostawia żadnéj wątpliwości co do korzyści, jaką przedstawia podział wszystkich rodzajów miar na części dziesiętne; dla przekonania się o tém, dosyć porównać trudności mnożenia i dzielenia liczb wielorakich z łatwością tychże działań na liczbach całkowitych.... Nie wahano się przeto zgoła co do przyjęcia podziału dziesiętnego, a dla osiągnięcia jednostajności w całym układzie miar postanowiono wyprowadzić je wszystkie z jednéj i téjże saméj miary linijnéj i jéj podziałów dziesiętnych. Zadanie zostało przeto sprowadzone do wyboru téj miary powszechnéj, któréj nadano nazwę *metra*.“

Za dawną radą astronoma Gabryela Mouton jeszcze z r. 1670 za ową zasadniczą jednostkę miar długości postanowiono użyć pewnéj, oznaczonéj części południka ziemskiego, a tą drogą nowe zadanie wprowadzenia miar powszechnych powiązało się z badaniami postaci ziemi.

Długość południka można było wprawdzie wyprowadzić z pomiarów dawniejszych, „ale, mówi znów Laplace, gdy nowy pomiar łuku większego jeszcze, dokonany na zasadach dokładniejszych, powinien był na korzyść nowego układu miar i wag wzbudzić zajęcie powszechne, postanowiono zmierzyć łuk południka między Dunkierką a Barceloną.“

Jest to ten sam sławny południk paryski, którego drobny łuk mierzył niegdyś Picard, tak, że nowy ten—trzeci pomiar francuski stanowi przedłużenie dwu piérwszych. Praca ta, z polecenia konwencyi narodowéj, rozpoczętą została w roku 1792, i pomimo ówczesnych burz rewolucyjnych szczęśliwie dokonaną pod przewodnictwem akademików Méchaina, Bordy i Delambre'a. Południowy kres tego pomiaru stanowiła Barcelona, ale następnie w r. 1806—1808 Biot i Arago posunęli trójkątowanie daléj, aż do Formentery, tak, że obszerność zmierzonego łuku wynosi 12° 22' 33''; jest to część południka przebiegająca całą Francyję i sięgająca poza Hiszpanię aż na morze Śródziemne.

Wynik tych pomiarów przyjęty został z zupełném zaufaniem w dokładność dokonanych robót, bo téż najznakomitsi matematycy i mechanicy, w których ówczesna Francya tak obfitowała, przyczynili się do spełnienia tego olbrzymiego zadania. Kątomiary (teodolity) zostały znacznie udoskonalone; ale baczniejszą jeszcze uwagę

zwrócono na pręty służące do zmiervenia podstawy. Dawniéj używano prętów drewnianych lub łańcuchów stalowych, a proste te narzędzia, pomimo wszelkich ostrożności, nie mogły dawać rezultatów zupełnie rzetelnych,—już dlatego, że jak wiadomo, długość wszystkich ciał ulega zmianie wraz z temperaturą; oznaczano wprawdzie temperaturę miar za pomocą termometrów, ale któż mógł ręczyć, że rtęć termometru posiada zupełnie tę samą temperaturę co pręt, którego termometr dotykał. Pręty miernicze użyte do pomiaru, o którym teraz mówimy, a obmyślane przez Bordę, stanowiły linijały podwójne, z których jeden był platynowy a drugi miedziany; oba pręty były w jednym końcu ściśle zeszrubowane, a daléj swobodnie obok siebie ułożone, tak, że wydłużały się pod wpływem temperatury, niezależnie jeden od drugiego; ponieważ zaś rozszérzają się niejednakowo, można było z różnicy ich długości oznaczyć dokładnie ich temperaturę; pręt mierniczy stanowi tu zarazem i termometr.

Opierając się na rezultatach tego pomiaru i na znaném z prac dawniejszych spłaszczeniu ziemi, oznaczono długość ćwiartki południka ziemskiego na 5.130.740 dawnych sążni paryskich (toazów), które pozostały i nadal jednostką do pomiarów ziemi używaną. Rezultat ten, jeszcze przed zupełném ukończeniem całego pomiaru, przedstawiono ciału prawodawczemu, które postanowieniem 4 messidora r. VII (22 czerwca

1799) przyjęło za zasadniczą jednostkę miar długości, za jeden *metr*, dziesięciomilionową część ćwiartki południka ziemskiego (0,513.074 sąż. par. czyli 443,296 linij paryskich).

W ten sposób zgromadzenie narodowe francuskie ogłosić mogło, że obdarza świat jednostką miar niezmienną, bo wziętą z saméj przyrody, jednostką, którąby stokrotnie zatracona, mogła być znowu odnalezioną po tysiącach i setkach tysięcy lat. Na nieszczęście piękny ten zamiar zupełnie spełnionym nie został, bo pomimo nadzwyczajnéj dokładności pracy pomiar ten francuski nie jest wolny od drobnych błędów, tak że metr ustanowiony w r. 1799, metr urzędowy (*mètre des archives*, stąd, że ten metr legalny przechowywanym jest w archiwum państwa francuskiego), nie jest dokładnie, jak to zobaczymy, dziesięciomilionową częścią ćwiartki południka ziemskiego. Nie uwłacza to wszakże zgoła zasłudze uczonych francuskich i doniosłości ich pracy, która stała się podnietą dla innych krajów; za tym przykładem dokonano już w początkach bieżącego wieku tyle pomiarów ziemi, że na ich zasadzie, jeszcze przed upływem piérwszéj połowy stulecia, zdołał nakoniec Bessel obliczyć ze znaczną dokładnością wymiary ziemi.

VIII.

Pamiętne te obliczenia oparł Bessel na dziesięciu najdokładniejszych pomiarach, dokonanych pod różnemi szérokościami geograficznemi, które tu wyliczymy w kierunku od równika ku biegunowi.

1) Pomiar idący przez sam równik; byłto jeszcze dawny *pomiar peruwiański*, dokonany przez Bouguera, Condamine'a, Godina, Ulloa, w r. 1735—44, od Tarqui od Cotschesqui, między 3° 4' 32" szer. płn. a 0° 2' 31" szer. płd.; długość zmierzona wynosi 176875,50 toazów.

2) *Piérwszy pomiar wschodnio-indyjski*, przeprowadzony przez majora Lambtona 1802—1805, od Trivandeporum do Paudree, między 11° 44' 53" a 13° 19' 49" szer. płn.; 89813 toazów.

3) *Drugi pomiar wschodnio-indyjski*, Lambtona i Everesta, 1802—1843 od Punnae pod 8° 9' 31" do Kullianpoor pod 24° 7' 12"; 906172 toazów.

4) *Pomiar francuski*, Méchain, Delambre, Biot i Arago, 1792—1808, od Formentery 38° 39' 56" do Dunkierki 51° 2' 9"; 705.257 toaz. Południk

ten, tylokrotnie mierzony, ma być zmierzonym jeszcze do granic Sahary, t. j. o 7° daléj, co w połączeniu z pomiarem angielskim wyda 29° łuku zmierzonego.

5) *Pomiar angielski*, rozpoczęty trójkątowaniem generała Roy 1785 i przeprowadzony przez Mudgego 1800—1802 od Dunnose pod 50° 37' 8" do Clifton 53° 27' 31"; 162075 toaz.

6) *Pomiar hanowerski*, dokonany przez znakomitego Gaussa 1821—1824, od Getyngi pod 51° 31' 48" do Altony 53° 32' 45"; długość łuku wynosi tu wprawdzie tylko 115164 toaz., niemniéj jednak pomiar ten ma znaczenie bardzo doniosłe z powodu wielu ulepszeń przez Gaussa wprowadzonych. Tu mianowicie użytym został po raz piérwszy heliotrop, który pozwala nader dokładnie nastawiać lunetę na przedmioty bardzo odległe.

7) *Pomiar duński*, przeprowadzony przez Schumachera, dyrektora obserwatoryum altońskiego, 1820—1823, od Lauenburga pod 53° 22' 17" do Lyssabel 54° 54' 10",=87436,5 toaz.

8) *Pomiar pruski*, dokonany przez Bessla i Baeyera 1831—34 pomiędzy Trunz pod 54° 13' 11' a Kłajpedą czyli Memlem pod 55° 43' 40"= 86177 toaz. I ten niewielki pomiar w dziejach nauki pamiętne zajmuje miejsce; Bessel bowiem, znakomity kierownik obserwatoryum królewieckiego, obmyślił ulepszone metody obserwacyi i mierzenia i nauczył, jak prowadzić dostrzeżenia,

aby błędy narzędzi wywierały wpływ jak najmniejszy. A nadto uzupełnił on znacznie teoryę pomiarów i podał ściślejsze metody obliczeń. Gdyby ziemia była płaską, linije na niéj poprowadzone byłyby prostemi, a utworzone z nich trójkąty byłyby płaskie, tak jak figury kréślone na papiérze; gdyby znów była zupełną kulą, to najkrótsza odległość między dwu na niéj obranemi punktami stanowiłaby łuk wielkiego okręgu, przechodzącego przez te punkta, a trójkąty na ziemi byłyby kulistemi. Ale ziemia nie jest kulą, ma postać do kuli tylko podobną t. j. sferoidalną, i trójkąty przeto na niéj nakréślone nie są rzeczywiście kuliste, ale sferoidalne; boki tych trójkątów nie są łukami kół, ale linijami daleko bardziéj zagmatwanemi, linijami o podwójnéj krzywiźnie, które nazywamy *geodetycznemi*, albo *linijami najkrótszemi*, dlatego, że wskazują najkrótszą odległość dwu punktów na ziemi. W obiegu swoim linija taka wije się spiralnie dokoła ziemi, to znaczy, że gdybyśmy ją przedłużyli daléj około ziemi, tak aby wróciła do równoleżnika, z którego wyszła, to, w ogólności, nie napotka już punktu, od którego bieg jéj rozpoczął się, ale przetnie równoleżnik ten w innem miejscu, pod inną długością geograficzną. Dzieło Bessla i Baeyera o tym pomiarze pruskim stanowi jakby podręcznik, według którego prace te najczęściéj się prowadzą.

9) *Pomiar rossyjski*, dokonany przez Struvego i generała Tennera 1816—27, od Bielina pod 52° 2' 40" do Hochlandu pod 60° 5' 10"= 459363 toaz. Struve, głośny dyrektor obserwatoryum pulkowskiego, uważany za najbieglejszego obserwatora nieba, również metody obserwacyi w niejednym szczególe udoskonalił, sam zaś pomiar ma ważne znaczenie z powodu rozległości, na jakiéj przeprowadzony został.

10) *Pomiar szwedzki*, dokonany przez Svanberga i Ofverboma, 1801—1803, od Malörn pod 65° 31' 30" do Pahtawara pod 67° 7' 50"=92.7781 toaz.

Zestawić i rozebrać cały ten materyał, dostarczony przez dziesięć powyższych pomiarów, wynaléźć na jego zasadzie wymiary ziemi i jéj postać, stanowi zadanie bardzo trudne. Możnaby, opierając się na dwu którychkolwiek z tych pomiarów, indyjskim i angielskim np., oznaczyć promień i spłaszczenie sferoidy ziemskiéj; ale bryła tak obliczona nie będzie się w ogólności zgadzała dokładnie z rezultatami pomiarów innych. Sprzeczności te należy pogodzić, trzeba wszystkie dane podciągnąć pod jeden rachunek i wydobyć z niego wypadek, któryby jak najlepiéj odpowiadał wszystkim pomiarom, któryby zatém najbliższym był prawdy, najprawdopodobniejszym. Matematyka, ta najdzielniejsza kierowniczka rozumowania, i tu pomocy swéj nie odmawia; drogą wskazaną przez Gaussa i Le-

gendre'a, a zwaną metodą najmniejszych kwadratów, pozwala ona z liczb dostarczonych przez obserwacyę wynaléźć najprawdopodobniejszą wartość wielkości szukanych, wskazując zarazem, jaką pewność osiągnąć możemy, czyli jak wielkie mogą być błędy, których się jeszcze obawiać należy.

Metody téj do skombinowania kilku pomiarów ziemi użył piérwszy Walbeck w Abo 1819 r., a 1829 rachunki te powtórzył Schmidt w Genewie, rozporządzając już większą liczbą danych; rezultaty jednak przez nich otrzymane okazują jeszcze różnicę dosyć znaczną (według Walbecka spłaszczenie ziemi wynosi $\frac{1}{302,78}$, według Schmidta $\frac{1}{279,479}$), tak, że najpiérwsze dokładne obliczenie wymiarów ziemi zawdzięczamy dopiéro Besslowi 1842 r. Na zasadzie przytoczonych wyżéj dziesięciu pomiarów, obejmujących razem 50° 34' różnych południków, znalazł on następne wymiary:

Promień równika	3.272.077,14	toaz.	(6.377.397,16 metr.)
„ biegunowy	3.261.139,33	„	(6.356.078,96 „)
Różnica obu	10.937,81	„	(21.318,20 „)

Różnica ta jest tylko $4\frac{1}{2}$ raza większą od najwyższéj góry europejskiéj Montblanc, a zaledwie $2\frac{1}{2}$ raza większą od najwyższego szczytu na ziemi, od góry Everest czyli Gaurisankar, wznoszącéj się w Himalajach na wysokość 8837 metrów.

Spłaszczenie zaś otrzymujemy z podzielenia téj różnicy przez promień równikowy, co daje ułamek $\frac{1}{299,1528}$, z prawdopodobnym błędem mianownika o 3,148 jedności, tak, że spłaszczenie ziemi, według obliczeń Bessla, nie jest większém od $\frac{1}{296,005}$ ani mniejszém od $\frac{1}{302,301}$. Ćwiartka południka wynosi 5.131.179.811 sąż. par., co, po zredukowaniu na długość metra legalnego, czyni 10.000.855.76 metrów, gdy, według znaczenia téj jednostki długości, winno ich być w ćwiartce południka okrągło 10.000.000; metr zatém urzędowy, wprowadzony obecnie i w wielu innych krajach, przyjęty przez komisyę międzynarodową miar, zawiązaną w Paryżu 1870 r., nie jest, ściśle mówiąc, miarą zupełnie naturalną; jest to długość również dowolna jak i każda inna jednostka miar; to wszakże nie uwłacza zgoła znaczeniu miar metrycznych, ważność ich polega bowiem głównie na podziale dziesiętnym, a więcéj jeszcze na tém, że wszystkie inne miary, powiérzchni, objętości i ciężarów, związane są z zasadniczą jednostką długości, z metrem.

Już po ukończeniu powyższéj ważnéj pracy Bessla niektóre z powyższych pomiarów zostały znacznie przedłużone, a mianowicie:

Drugi pomiar wschodnio-indyjski przeprowadzony został od 8° 9' 31" aż do Kaliana pod 29° 30' 48", t. j. od przylądka Komoryńskiego aż pod Himalaje=1212867 toaz.

Pomiar angielski, wydłużony w obie strony, ciągnie się od S. Agnes 49° 20' 3" do Saxavord pod 60° 49' 39"=624623 toaz.

Pomiar rossyjski rozciągnięty został na południe aż do Staronekrasówki, niedaleko ujść Dunaju, pod 45° 20' 3", a na północ aż po sam kraniec Skandynawii, do Fuglenaes niedaleko Hamerfestu, pod 70° 40' 11"; jest to zatém największy z dokonanych dotąd pomiarów południka; obejmuje bowiem przeszło 25° czyniących 1,447,787 toaz; ukończonym został 1851 r.

Do pomiarów powyższych przybył nadto jeden jeszcze, dokonany na półkuli południowéj, w Ziemi Przylądkowéj, przez Maclera 1842—1852, między 34° 21' 6" a 29° 44' 18" szer. płd., 262,468 toaz.

Prawie spółcześnie z Besslem astronom angielski Airy obliczył metodą odmienną niż Bessel, wielkość spłaszczenia na $\frac{1}{299\,33}$ a długość ćwiartki południka na 5.131.251,25 toaz., co się różni zaledwie o 71,44 t. od długości znalezionéj przez Bessla. Dlatego to te wymiary ziemi, przez astronoma królewieckiego obliczone, uważane być mogą za bardzo zbliżone do prawdy.

Jednakowoż uderzająca zgodność rachunków Bessla i Airego pozorną raczéj jest tylko niż rzeczywistą, bo obliczenia następne: Clarke'go, Jamesa, Fischera, Listinga wydały na spłaszczenie ziemi wartość odmienną, w ogólności większą. James (1858) otrzymał $\frac{1}{291.86}$, Clarke (1866)

$\frac{1}{294.979}$, a następnie (1878) $\frac{1}{293}$, Fischer (1868) $\frac{1}{288.50}$, Listing (1872) $\frac{1}{289}$.

Liczby te przekonywają dostatecznie, że wielkości spłaszczenia ziemi a zatém i jéj wymiarów nie znamy jeszcze z wszelką pożądaną ścisłością. Klein, uważając za najprawdopodobniejsze spłaszczenie $\frac{1}{289}$ obliczył promień równikowy ziemi na 3.272.766,1 toaz. Zamieniona na mile geograficzne wielkość ta daje na średnicę równikową ziemi $1718^{9}/_{10}$, a na średnicę biegunową, czyli oś ziemską $1712^{9}/_{10}$; cała powiérzchnia ziemi wynosi $9.260.510^{1}/_{2}$ mil kwadratowych, a jéj objętość 2.649.900.000 mil sześciennych. Liczby te wszakże uważać należy za przybliżone tylko, bo według Listinga niepewność nasza co do znajomości całéj powiérzchni ziemi stanowi obszar przewyższający pięciokrotnie powiérzchnię Sycylii.

IX.

Jeżeli idzie o znalezienie wielkości ziemi, jedyną drogę jéj oznaczenia stanowią pomiary; gdy wszakże mamy na celu wyłącznie tylko oznaczenie jéj postaci, a raczéj spłaszczenia, to do tak ograniczonego celu posłużyć nam może ów prosty przyrząd fizyczny, który piérwszy kazał się tego spłaszczenia domyślać.

Widzieliśmy, że jedno i to samo wahadło kołysze się najwolniéj na równiku, a ruchy jego stają się szybsze w miarę zbliżania się ku biegunom; wahadło np., któreby na równiku na poziomie morza dokonywało w ciągu dnia 86400 wachnięć (któreby tam przeto było sekundowém), odbywa ich w Warszawie (również odniesione do powierzchni morza) o 140, a na biegunie o 224 więcéj. Wypływa stąd wniosek bezpośredni, że natężenie siły ciężkości czyli przyciąganie ziemi jest najsłabsze na równiku a najsilniejsze na biegunie.

Tego wzrostu siły ciężkości, w miarę przesuwania się od równika ku biegunowi, dwie są przy-

czyny. Jedną jest siła odśrodkowa, dążąca do oderwania ciał od ziemi, przeciwdziałająca zatém jéj przyciąganiu, i która, jakeśmy to widzieli wyżéj, jest najznaczniejszą na równiku, a nie występuje zgoła na biegunach. Drugą stanowi spłaszczenie ziemi; pod względem bowiem przyciągania ziemia działa tak, jak gdyby cała jéj masa skupioną była we środku; strony zatém biegunowe, znajdujące się bliżéj tego środka, doznają działania silniejszego, aniżeli daléj od niego położona okolica równikowa.

Ponieważ zaś znamy szybkość obrotu ziemi naokoło osi, obliczyć przeto można w każdém miejscu działanie siły odśrodkowéj, a tém samém wpływ jéj na działanie siły ciężkości; znamy zatém i udział, jaki tu przypada spłaszczeniu ziemi. W ten to sposób obserwacye wahadła posłużyć mogą do oznaczenia wielkości spłaszczenia biegunowego.

Już w czasie pomiarów peruwiańskich Bouguer używał w tym celu wahadła, a lubo wyniki, otrzymane tak z jego, jak i z następnych badań, nie były zgodne z rezultatami pomiarów południka, nie zrażono się tém wszakże i prowadzono badania te daléj w różnych stronach ziemi. Za przykładem kapitana marynarki angielskiéj Katera 1816, inni dowódzcy okrętów obserwowali bieg wahadła na wielu dalekich wybrzeżach. Na najrozleglejszą jednak skalę i z pożądaną dokładno-

ścią prace te prowadził w latach 1822—3 Edward Sabine; na okręcie wojennym, danym do jego rozporządzenia przez rząd angielski, przebiegł on morza od równika aż do Szpicbergu, oznaczając w kilkunastu miejscach długość wahadła sekundowego.

Według obliczeń przeprowadzonych przez Listinga i przedstawionych towarzystwu naukowemu getyngskiemu 1877, za wypadek średni wszystkich dotychczasowych obserwacyj wahadła przyjąć można na spłaszczenie ziemi liczbę $\frac{1}{248{,}48}$. Wynik ten nietylko się różni od rezultatu otrzymanego drogą pomiarów $\frac{1}{289}$ ale i różne obserwacye oddzielne dosyć znacznie odstępują od powyższéj liczby średniéj.

Wahadło, jak już wiemy, kołysze się prędzéj tam, gdzie natężenie siły ciężkości jest większe. Na natężenie to ma zaś wpływ nietylko działanie całéj ziemi, ale silnie ujawnić muszą wpływ swój okolice najbliższe miejsca, w którém się dostrzeżenia prowadzą. Można przeto z góry przewidywać, że na stacyi śródlądowéj, otoczonéj dokoła gruntami stałemi, ciężkiemi, natężenie siły ciężkości winno być znaczniejszém niż na małych wyspach, śród rozległych mórz, zatém oblanych wodą, któréj gęstość jest 2 ½ raza mniejszą od średniéj gęstości mas, stanowiących skorupę ziemską. Wbrew jednak tak uzasadnionemu oczekiwaniu, ruch wahadła zdradza w ogólności

znaczniejsze działanie przyciągania ziemskiego na wyspach niż na lądach.

Sprzeczność ta prowadzi do wniosków bardzo ciekawych. Jak to w r. 1868 okazał Fischer, powiérzchnia morza nie posiada postaci prawidłowéj kuli albo raczéj elipsoidy, czyli, innemi słowy, morze nie posiada jednakiego poziomu, jak to w ogóle przywykliśmy sobie wyobrażać; w skutek mianowicie przyciągania wywieranego na wodę przez lądy wznoszące się znacznie nad dno oceanu, woda musi się na wybrzeżach podnosić, więcéj lub mniéj, zależnie od rozległości lądu i od gęstości pokładów, z których jest zbudowanym, tak jak podnosi się ona i obok ścian naczynia szklanego, lubo zjawisko to następuje tu z przyczyny nieco odmiennéj. Wzdłuż przeto wybrzeży woda występuje nad powiérzchnię prawidłowéj elipsoidy ziemskiéj, co znów w środkowych okolicach oceanu sprowadza zaklęśnięcie się jéj, tak jakby była obniżoną pod tę powiérzchnię idealną. Powiérzchnia zatém morza nie jest wszędzie jednakowo od środka ziemi odległą, a różnica między wysokością poziomu morskiego w pobliżu lądów a wysokością jego w stronach dalszych dochodzi kilkuset i więcéj stóp. Wahadło więc zawieszone na lądzie stałym lub na jego wybrzeżu znajduje się daléj od środka ziemi niż wahadło umieszczone na małéj, morskiéj wysepce; pomimo przeto sąsiedztwa mas ciężkich ulega słabszemu już przyciąganiu i kołysze się wolniéj.

Czy tłomaczenie to zdoła zupełnie wyjaśnić wszelkie wątpliwości, okażą dopiéro przyszłe badania; dotąd bowiem obserwacye wahadła prowadzone były głównie w miejscach nadbrzeżnych i na wyspach, rozprzestrzenienie przeto tych badań po okolicach czysto lądowych nauczy, czy obserwacye lądowe okażą należytą między sobą zgodność i czy rzeczywiście zauważaną dotąd różnicę rzucić można jedynie na karb odrębności stanowisk lądowych i morskich. Ale widzimy tu zarazem, jak czułym przyrządem miernicznym jest wahadło i jakie usługi oddać może szczegółowéj topografii bryły ziemskiéj.

X.

Oprócz pomiarów bezpośrednich i wahadła istnieje trzecia jeszcze droga oznaczenia spłaszczenia ziemi; można je mianowicie odczytać w biegu księżyca naokoło ziemi. Obieg ten księżyca utrzymywany jest przez przyciąganie, jakie nań ziemia wywiera, i gdyby nie było żadnych wpływów ubocznych, droga jego stanowiłaby elipsę zupełnie prawidłową. Ale przemożny wpływ słońca zakłóca ową regularność i w ruchu księżyca wywołuje mnóstwo zboczeń, których zbadanie i wytłomaczenie od dawnych czasów stanowi jeden z najważniejszych ustępów astronomii. Nietylko wszakże samo słońce jest przyczyną owych odstępstw; pojmujemy, że i wszelka niejednostajność w ruchach lub postaci ziemi odbić się musi w biegu księżyca. Gdyby ziemia była kulą doskonałą, wywierałaby ona na księżyc wpływ stały; przyciąganie przez nią na księżyc wywierane, pomijając wpływ odległości, byłoby zawsze jednakowém; przy jakiéjkolwiek innéj postaci przyciąganie to zależy od położenia, jakie księżyc względem ziemi zajmuje.

Bryła ziemska nieznacznie wprawdzie od postaci kuli odstępuje, dlatego i pochodząca stąd nierówność w biegu księżyca jest nieznaczna, ale bieg tego towarzysza ziemi tak jest dobrze astronomom znany, że śród mnóstwa zawikłań udało się i to drobne odstępstwo wykryć. Laplace zaś wykazał związek matematyczny, jaki zachodzi między spłaszczeniem ziemi a tą nierównością, tak, że skoro tę ostatnią poznano, można było na jéj zasadzie spłaszczenie ziemi obliczyć.

Tą drogą znaleziono liczbę $\frac{1}{334}$, która zapewne znacznie odstępuje od wartości otrzymanéj sposobami bardziéj bezpośredniemi, ale stanowić będzie rezultat bardzo zgodny, jeśli zważymy trudność tego zadania. To wykrycie postaci ziemi z ruchów ciała niebieskiego jest niewątpliwie jednym z najpiękniejszych przykładów potęgi, jakiéj myśl ludzka nabiera, gdy jest rozumowaniem matematycznem wsparta.

XI.

W każdym razie, choćby spłaszczenie ziemi dało się i innemi drogami oznaczyć, to jednak dokładną znajomość jéj wielkości osiągnąć będziemy mogli jedynie z jéj pomiarów. W miarę wszakże, jak powiększała się liczba pomiarów południka w różnych okolicach ziemi, mnożyły się też sprzeczności i anomalije; tak np. długość stopnia, wypadająca z pomiaru pruskiego Bessla, wynosi pod 55° średnio 57145 t., gdy z pomiarów rossyjskich Struvego pod 56° długość ta wynosi tylko 57137; jest przeto mniejszą od piérwszéj, gdy tymczasem, jako w miejscu bardziéj odległém od równika, z powodu spłaszczenia ziemi, winnaby być większą; podobnaż różnica okazała się między pomiarem hanowerskim a angielskim. Wszystkich tych sprzeczności niepodobna rzucać na karb błędów; musimy zgodzić się na to, że ziemia w różnych miejscach odstępuje od regularnéj postaci sferoidy.

Od czasów Newtona podstawą wszystkich prac nad oznaczeniem postaci ziemi było przypuszcze-

nie, że jest ona elipsoidą obrotową, t. j. bryłą, którą wyobrazić sobie można jako utworzoną przez obrót półelipsy około jéj małéj osi. W przypuszczeniu takiém wszystkie południki są elipsami, równoleżniki zaś dokładnemi okręgami kół. Otóż przypuszczenie to może być błędném, niedostatecznem; być może, że południki nie są zupełnemi elipsami, albo też równoleżniki nie są okręgami. Dlatego James i Clarke zajęli się badaniem postaci południków i przekonali się, że w przypuszczeniu postaci eliptycznéj sprzeczności okazują się najmniejszemi, że przeto postać eliptyczna południków ma za sobą prawdopodobieństwo większe, aniżeli jakakolwiek inna ich forma. Należało zatém pozostać przy południkach eliptycznych; ale trzeba było rozpatrzéć jeszcze, czy ziemia jest istotnie bryłą obrotową, to znaczy, czy równik i równoleżniki są okręgami; być bowiem może, że i te linie ziemskie są elipsami, czyli, innemi słowy, że i równik posiada pewne spłaszczenie, że wszystkie jego promienie nie są równe, że i on posiada oś wielką i oś małą, to jest, że wraz z osią biegunową ziemia posiada nie dwie, ale trzy osie różne, że jest bryłą trójosiową, elipsoidą trójosiową.

Przypuszczenie to podjął po raz piérwszy generał rossyjski Schubert w 1859, a lubo pogląd ten wkrótce zarzucił, to zajął się nim znów gorliwie Clarke, starając się wynaléźć wymiary ziemi, w przypuszczeniu, że jest elipsoidą trójosiową. Obli-

czenia swoje zmieniał i przerabiał kilkakrotnie a ostatnią w tym przedmiocie pracę ogłosił 1878; z dawnemi pomiarami zestawił on tu pomiar dokonany w latach 1872—1877 w Indyach wschodnich, ze wszelką możliwą ścisłością, między 10° a 32° szer. płn. Z rachunków jego wypływa, że oś wielka równika przecina powierzchnię ziemi w zatoce gwinejskiéj i w Polinezyi zachodniéj, t. j. innemi słowy, że okolice te najbardziéj są od środka ziemi oddalone, że tam znajduje się największe nabrzmienie równika; oś zaś mała przechodzi w pobliżu Ceylonu i w pobliżu Panamy, czyli, że w tych punktach zachodzi spłaszczenie równikowe. Ale spłaszczenie to równikowe wynosi zaledwie $\frac{1}{45}$ część spłaszczenia biegunowego ($\frac{1}{293}$ według Clarkego) co znaczy, że różnica między największym a najmniejszym promieniem tego eliptycznego równika wynosiłaby zaledwie około 1500 stóp. Liczby te wskazują jasno, jak dalece postąpiła dokładność pomiarów ziemi, a jeżeli mówimy o sprzecznościach i niepewnościach, to widzimy, jakich one drobiazgów zaledwie dotyczą.

XII.

Dopóki ziemię uważano za bryłę obrotową, wszystkie południki przedstawiały się jako linije równe między sobą, a usiłowanie oznaczenia wielkości ziemi jedynie z pomiarów południka było zupełnie usprawiedliwioném; mogłyby w tym celu posłużyć również i pomiary równoleżników, ale, że rzecz ta przedstawiała więcéj jeszcze trudności astronomicznych, dlatego zaniedbywano ją i nazwa pomiaru ziemi była równoznaczną z nazwą pomiaru południka, lub też pomiaru stopnia szérokości geograficznéj. Co innego wszakże, skoro sama postać obrotowa ziemi popadła w wątpliwość; powstaje pytanie, czy równoleżniki są czy nie są dokładnemi okręgami, czyli czy stopnie każdego z nich mają jednakową długość, czy też, podobnie jak południki, w różnych miejscach mają długość odmienną. Rzecz tę można znowu rozstrzygnąć jedynie przez pomiary równoleżników, przez pomiary stopnia długości, ponieważ stopnie równoleżników oznaczają właśnie długość geograficzną.

Pomiar łuku równoleżnika, podobnie jak i południka, obejmuje część astronomiczną i miernicą czyli geodezyjną; ta ostatnia ma na celu oznaczenie długości tego łuku w miarach linijnych i polega na trójkątowaniu, nie różni się zatém niczém od takichże robót przy pomiarach południka; pomocy astronomii znowu tu wezwać potrzeba dla oznaczenia ile stopni wynosi ten łuk zmierzony, czyli o ile stopni długości różnią się krańcowe jego punkta; ale jeżeli już dokładne oznaczenie stopnia szerokości połączone jest z istotnemi trudnościami, to stają się one daleko większe, gdy idzie o długość geograficzną.

Podstawę do oznaczenia długości geograficznych stanowi obrót dzienny ziemi, a raczéj powodowany przez to obrót pozorny kuli niebieskiéj, objawiający się wschodem i zachodem słońca i wszystkich innych gwiazd. Południem nazywa się chwila przejścia słońca przez południk danego miejsca, a że słońce posuwa się pozornie od wschodu ku zachodowi, w różnych przeto miejscach południe przypada tém wcześniéj, im bardziéj na wschód są one położone. Skoro zaś w ciągu 24 godzin słońce przebiega na niebie cały okrąg, czyli 360°, albo w ciągu godziny 15°, dwa miejsca zatém, których chwila południa różni się o godzinę, różnią się o 15° długości geograficznéj; w ten sposób zégar stał się przyrządem miernicym do oznaczania długości geograficznéj. Aby np. poznać długość Warszawy względem Paryża,

trzeba mieć dwa zégary a raczéj chronometry, z których jeden byłby nastawiony według czasu paryskiego, drugi według warszawskiego.

Dlatego to przewożenie zégarów daje możność oznaczenia długości, ale że wstrząśnienia, zmiany temperatury, wpływ wilgoci powodują niejedno stajność w biegu najlepszego choćby chronometru, dlatego metoda ta nie przedstawia ścisłości, potrzebnéj przy pomiarach równoleżnika.

Inna metoda polega na tém, że między miejscami, których różnicę długości oznaczyć należy, daje się nagły sygnał, widzialny z obu powyższych miejsc, przez zapalenie np. pewnéj ilości prochu, albo przez wypuszczenie rakiety. Obaj obserwatorowie notują natychmiast czas, w którym sygnał ten dostrzegają; jeżeli przeto zégary ich nastawione są należycie według czasów miejsc, w których się znajdują, to porównanie obu tych czasów wyda różnicę długości. Rozumié się, że sposób ten posługiwać może jedynie dla miejsc nie zbyt między sobą odległych; gdy miejsca te są daleko między sobą położone, używać należy sygnałów niebieskich, to jest zjawisk astronomicznych, które dla całéj ziemi zachodzą spółcześnie; zjawiskami temi są przedewszystkiém zaćmienia księżyca, które już w czasach starożytnych służyły do oznaczania długości geograficznéj; od czasu zaś wynalezienia lunet posługiwać się można nierównie częściéj zachodzącemi za-

ćmieniami księżyców Jowisza. Wszystkie te metody przedstawiają spólną trudność w należytém uchwyceniu chwili, w któréj dane zjawisko zachodzi, tak, że przy staranném nawet postępowaniu błąd w czasie wynosić może około sekundy, co czyni 15 sekund w łuku długości. Rozwój dopiéro telegrafii elektrycznéj umożebnił o wiele większą ścisłość; sygnał przesłany telegrafem przybywa natychmiast do miejsca swego przeznaczenia, tak, że przy pewnych ostrożnościach za pomocą téj metody różnicę długości oznaczyć można z błędem nieprzechodzącym $\frac{1}{50}$ sekundy w czasie.

Rozumié się zresztą, że stopnie różnych równoleżników mają rozmaitą długość, bo koła te maleją w miarę zbliżania się ku biegunom.

Piérwszy pomiar stopnia długości przeprowadzony został przez Cassiniego i Maraldiego na równoleżniku paryskim. Ale naukową wartość posiada dopiéro pomiar 1811—1825 w pobliżu równoleżnika 45°, od ujść Girondy, przez Francyą, górę Cenis, Turyn i Medyolan do Fiume, na przestrzeni 15°32'27", rozpoczęty we Francyi pod kierunkiem Brousseaud, a we Włoszech prowadzony przez oficerów sztabu generalnego austryackiego. Ale i ten pomiar, podobnie jak inny pomiar francuski, dokonany w 10 lat późniéj od Brestu przez Paryż do Strasburga, nie przedstawia jeszcze takiéj ścisłości, aby na jego zasa-

dzie rozstrzygnąć można było pytanie, czy stopnie równoleżników są równe.

Najrozleglejszy dotąd pomiar długości przeprowadzony został w l. 1857—72 za podniętą Struvego wzdłuż równoleżnika 52° od Walencyi na wybrzeżu zachodniém Irlandyi aż do Orska na granicy Europy i Azyi w gubernii orenburskiéj; łuk ten obejmuje zatém przeszło 69°. Równoleżnik 52° przebiega zaledwie o 13' na południe Warszawy, a pamiątkę tego to pomiaru stanowi na placu teatralnym w Warszawie pręt żelazny, wskazujący kierunek południka warszawskiego. Wspomnieć tu też należy o pomiarze równoleżnika w Indyach, między 72° a 83° dług. wsch. względem Greenwich, 1872—1877, który posłużył Clarkemu do wyprowadzenia przytoczonych wyżéj wymiarów ziemi, uważanéj za elipsoidę trójosiową.

XIII.

Z wywodów powyższych wypływa, że dla dokładnego oznaczenia postaci i wielkości ziemi potrzebną jest znajomość zarówno południków jak i równoleżników; przez zestawienie i skombinowanie w jednym rachunku pomiarów obu rodzajów tych linij możnaby otrzymać wymiary i spłaszczenie ziemi, jakó też rozstrzygnąć pytanie, czy ziemia jest bryłą obrotową. Tą myślą powodowany generał pruski Baeyer, dawny spółpracownik Bessla w słynnych jego pomiarach, ogłosił r. 1861 pismo „O postaci i wielkości ziemi“, w którém rozwinął projekt rozległych pomiarów stopni szérokości i długości geograficznéj w Europie środkowéj. Mało która książka doznała powodzenia takiego, jak powyższa praca Baeyera; rząd bowiem pruski, jakby pragnąc wynagrodzić dawne zaniedbanie Niemiec w téj sprawie, gorliwie się nią teraz zajął i wezwał rządy państw sąsiednich do spółudziału w pracach, które wkrótce rozwinęły się ponad piérwotny zamiar Baeyera; nietylko bowiem państwa środkowo-eu-

ropejskie, ale cała Europa, z wyjątkiem krajów półwyspu bałkańskiego, do projektu tego chętnie przystąpiła. Co lat kilka odbywają się zjazdy przedstawicieli różnych państw, naczelne kierownictwo całego zadania zostaje w rękach stałéj komisyi międzynarodowéj, złożonéj z siédmiu członków, a wykonywanie jéj postanowień poruczoném jest urzędowi centralnemu w Berlinie. Prace posuwają się szybko, pomiary dawne uzupełniają się i łączą z nowemi, tak, że wkrótce już Europa pokryta będzie gęstą siécią trójkątów geodetycznych. Sprawa ta międzynarodowa budzi wszędzie żywe bardzo zajęcie; u nas mało o niéj wiadomo, dlatego zapewne, że udziału bezpośredniego przyjmować w niéj nie możemy; to jednak usprawiedliwić nie może obojętności naszéj dla jednego z najważniejszych zadań nauki spółczesnéj.

Doniosłość prac, o których teraz mówimy, polega nietylko na ich rozległości, na ścisłości postępowania, na ujednostajnieniu i udoskonaleniu narzędzi do pomiarów używanych, ale więcéj jeszcze na tém, że zwrócono baczną uwagę na niektóre punkta, niedostatecznie przy dawnych pracach uwzględniane.

Wspomnieliśmy już wyżéj, że wszelkie prace geodezyjne odnoszą się do powiérzchni przypuszczalnéj, idealnéj, jakąby ziemia posiadała, gdyby lądów nie było, a cała jej powiérzchnia pokrytą była morzem; dla takiego przenoszenia trój-

kątów geodezyjnych na powierzchnię morza potrzebną jest dokładna znajomość wzniesienia różnych punktów ziemi nad poziom oceanu, którą się osiąga przez prace niwelacyjne czyli przez poziomowania. Dlatego komisya międzynarodowa szczególną uwagę zwróciła na dokładność tych robót, nastając zarazem na konieczność odnoszenia wszystkich pomiarów do jednego poziomu; jakeśmy to bowiem wyżéj poznali, powierzchnia morza nie wszędzie jednakową posiada wysokość; z poziomowań np. francuskich wypada, że pod Marsylią średni stan morza przypada o 1,022 metra niżéj, aniżeli oceanu Atlantyckiego pod Brestem, a o 1,0917 metra niżéj, aniżeli Baltyku pod Swinemünde, co się okazało z połączenia pomiarów niemieckich z francuskiemi. Jak się zdaje morze Śródziemne ma poziom niższy, aniżeli inne morza, brzegi Europy oblewające.

Niemniejszy nacisk kładzie komisya międzynarodowa na badanie natężenia i kierunku siły ciężkości w jak największéj liczbie punktów na ziemi. Natężenie siły ciężkości, jak widzieliśmy, oznacza się z szybkości kołysań wahadła; kierunek zaś, w którym ona działa, wskazuje kierunek pionu. Ponieważ ziemia pod względem swego przyciągania działa tak, jakby cała jéj masa w jéj środku skupioną była, dlatego pion w ogólności zwraca się ku środkowi ziemi; w wielu jednak punktach zbacza on, odchyla się od tego prawidłowego kierunku. Odchylenie to pionu nie daje

się dostrzedz bezpośrednio, bo właśnie tylko z kierunku nitki dźwigającéj ciężarek oznaczyć możemy kierunek pionowy; odchylenie pionu można tedy poznać jedynie drogą porównawczą. Położenie bowiem danéj miejscowości, t. j. jéj długość i szerokość geograficzną, oznaczyć można dwojako, albo bezpośrednio, t. j. zwykłemi metodami astronomicznemi, albo też możemy je obliczyć z pomiarów geodetycznych, jeżeli znamy odległość téj miejscowości od innego punktu astronomicznie wyznaczonego. Niezgodność tych dwu wypadków każe się właśnie domyślać jakiéjś nieprawidłości w kierunku pionu; dokładne bowiem ustawienie narzędzia astronomicznego i w ogóle każdego przyrządu mierniczego wymaga, aby oś jego pionowa zwróconą była ściśle ku zenitowi; ale że skazówkę do takiego ustawienia narzędzi stanowi właśnie pion, przeto wszelkie jego zboczenie odzwierciadlać się musi w rezultatach oznaczeń astronomicznych, a nawet, jak się to w ostatnich czasach okazało, wpływa znacznie i na pomiary kątów przy trójkątowaniu geodetyczném. Względy te wskazują jasno ważność badań pionu.

Przyczynę tych zboczeń miejscowych, lokalnych, stanowi przedewszystkiém wpływ gór sąsiednich, które ciężarek pionu ku sobie pociągają, jak to zauważono w Szwajcaryi, w Szkocyi, na Brokenie; toż samo poznał w 1870 r. zasłużony nasz rodak p. H. Stebnicki na północnéj stronie

Kakazu, ale dostrzeżono też odchylenie pionu w okolicach zupełnie płaskich, gdzie zgoła o działanie to gór winić nie można, jak w pobliżu Moskwy np. W tych razach domyślać się trzeba wpływu pokładów podziemnych, sąsiedztwa może rud jakich metalicznych, które tu powiększają średnią gęstość skorupy ziemskiéj, lubo mogą działać i w kierunku przeciwnym znaczne jakieś wydrążenia w wiérzchnich warstwach ziemi.

Gdy przeto idzie o oznaczenie postaci ziemi, należy unikać punktów, w których działanie siły ciężkości okazuje kierunek nienormalny; natomiast jednak zboczenia takie pionu zdradzają odstępstwo krzywizny ziemi od postaci prawidłowéj i pozwalają nawet wysnuwać domysły o wewnętrznéj budowie skorupy; dlatego badania te mogą oddać ważne usługi nietylko topografii szczegółowéj ale i fizyce kuli ziemskiéj.

Widzieliśmy, jak z biegiem czasu przeinaczała się w pojęciu człowieka postać zamieszkiwanéj przez niego planety i jak wraz z przeobrażaniem tych pojęć zmieniało się i zadanie, które za pomocą pomiarów ziemi osiągnąć zamierzano. Piérwotnie szło tylko o zebranie dowodów kulistości ziemi, następnie o oznaczenie jéj wymiarów. Gdy wzbudziła się wątpliwość o jéj zupełnéj kulistości, starano się znaléźć okolicę, w któréj podejrzywane spłaszczenie przypada, poczém znów usiłowano wykryć wielkość tego spłaszczenia.

Pomiary jednak coraz dokładniejsze wykazały odstępstwo postaci ziemi od elipsoidy obrotowéj czyli sferoidy i nasunęły domysł o drugiem, równikowém jéj spłaszczeniu. Ale i to ostatnie przypuszczenie elipsoidy trójosiowéj niewielu już obecnie liczy zwolenników. Pomijając już bowiem nieprawidłowości lądu, wywody teoretyczne oparte na badaniach wahadła nauczyły, że i sama powiérzchnia oceanu nie przedstawia zgoła jednostajnéj, prawidłowéj postaci, którąby się ująć dała w ściśle określoną formę matematyczną. Wystawmy sobie ową nieregularną powiérzchnię oceanu, rozprzestrzenioną kanałami pomiędzy wszystkie lądy, a bryła ta wodna przedstawiałaby nam istotną postać ziemi, bez względu na wygięcia lądu. Do pokrzywionéj téj bryły nie można odnieść żadnéj nazwy geometrycznéj i obmyślono dla niéj nazwisko odrębne, *geoidy*, to jest właściwéj bryły ziemskiéj (Fischer, Listing). Wyobrazić sobie można jednak formę geometryczną sferoidy, którąby postacią swoją i wymiarami jak najdokładniéj przystępowała do owéj właściwéj bryły ziemskiéj, lubo ta ostatnia w jednych miejscach wznosić się nad nią, w innych pod nią zagłębiać będzie. Na oznaczenie téj to sferoidy idealnéj łożono dotąd tyle pracy, a ustalenie jéj stanowi téż piérwsze zadanie i obecnych pomiarów ziemi. Nie jest jednak ich celem ostatecznym, bo, jak to słusznie Listing uważa, nie owa sferoida jest głównym przedmiotem badań geo-

metrycznych ziemi, ale właśnie geoida, z całém jéj powikłaném ukształtowaniem; a gdy oznaczone zostaną główne odstępstwa od owéj idealnéj formy geometrycznéj, przyjdzie koléj na drobne zboczenia miejscowe. Zadanie to przedstawia się w zarysach tak rozległych, że spełnienie go usuwa się w daleką przyszłość, a pokolenia następne długo jeszcze nie będą mogły, jak ów Macedończyk, utyskiwać, że do zrobienia nic już dla nich nie pozostało.

O ciężarze ziemi.

I.

Początek badań nad oznaczeniem ciężaru ziemi sięga w przeszłość zgoła niedaleką; niemniéj jednak stanowią one ustęp dziejów wiedzy, równie ciekawy, jak i historya jéj pomiarów. Samo bowiem pytanie, ile ziemia waży, poruszoném być dopiéro mogło przy znacznym już stosunkowo rozwoju nauki.

Pospolite pojęcie ważenia traci zupełnie swe znaczenie, gdy idzie o zważenie rzeczy zbyt drobnych lub zbyt wielkich; zadaniu takiemu zaledwie sprostać mogą najgenialniejsze pomysły przy pomocy najdzielniejszych środków, jakie obecny postęp techniki na usługi nauki oddaje. Chemik znalazł drogi do obliczania ciężarów atomów, a astronom zdołał zważyć słońce. Nie będzie zgoła przesadą, gdy powiemy, że postęp nauki

znamionuje się doskonaleniem sztuki mierzenia i ważenia.

Pierwszy pomysł urządzenia wagi, na której by można zważyć ziemię —zawdzięczamy Johnowi Michel, członkowi towarzystwa królewskiego w Londynie i rektorowi w Tornhill, w hrabstwie Yorku. W r. 1759 obmyślił on przyrząd, zwany *wagą skręcenia*, który następnie oddał ważne usługi w różnych badaniach fizycznych. Michel zrozumiał, że jego waga skręcenia posłużyć może do celu, który nas tu zajmuje, i wybudował nawet odpowiedni aparat; nie mając wszakże czasu do przeprowadzenia tych prac, a przewidując bliski swój zgon, który nastąpił 1793 r., zapisał cały materyał Wollastonowi, profesorowi w Cambridge, ten zaś ofiarował go Cavendishowi, „najuczeńszemu z bogatych i najbogatszemu z uczonych,“ który zadanie to nakoniec szczęśliwie przeprowadził. W ogóle w sprawie ważenia ziemi Anglii przypada główna zasługa, podobnie jak niegdyś Francyi w kwestyi jéj postaci.

Zasadą wagi Cavendisha jest znowu tenże sam prosty przyrząd fizyczny, do którego tylokrotnie odwoływać się nam należało i przy oznaczeniu postaci ziemi, „ciężarek na sznurku,“ wahadło. Wiemy już, że przyczyną ruchu wahadłowego jest przyciąganie ziemi, i gdyby przyciąganie to było większém, szybkość wahań danego wahadła również wzrosnąćby musiała. Ruchy tegoż samego wahadła byłyby wolniejszemi na księżycu

a na słońcu szybszemi daleko niż na ziemi; siła bowiem przyciągania zależy od ilości cząstek, od massy ciała, zatém od jego ciężaru. Objawem przeto ciężaru pewnego ciała jest siła przyciągania przez nie wywierana, za miarę zaś tego przyciągania posłużyć może szybkość danego wahadła.

Gdybyśmy tedy wzbudzić mogli ruch wahadłowy przez wpływ przyciągania massy znanego ciężaru, moglibyśmy wnieść stąd o ciężarze ziemi, znamy bowiem szybkość ruchu wahadłowego, jaką ona wywołuje. Nie tak to jednak łatwo wykonać: choćbyśmy wyrobili olbrzymią kulę z najcięższego metalu i obok niej zawiesili wahadło, nie dostrzeżemy najlżejszego zboczenia, ciężar bowiem takiej bryły byłby zawsze jeszcze żadnym w porównaniu z ciężarem ziemi, a przewaga tej ostatniéj nie dopuszczałaby ujawnienia się działalności kuli. Aby dostrzedz objawy przyciągania pewnéj massy, trzebaby przedewszystkiém usunąć wpływ ziemi na wahadełko obok owéj massy zawieszone.

Dziwaczne to na pozór żądanie urzeczywistnić można, zawieszając owo wahadełko nie w położeniu pionowém ale poziomém. Jeżeli na obu końcach drążka, w środku zawieszonego, uczepimy dwie jednakowe kulki, to ciężary ich nawzajem się równoważą i żadna z nich ku ziemi pochylać się nie będzie; są one przeto jakby usunięte z pod wpływu przyciągania ziemskiego.

Taka jest myśl przewodnia przyrządu zbudowanego przez Michela, a który wsławił Cavendisha nie mniéj zapewne, aniżeli prace jego nad składem chemicznym wody.

Ogólne urządzenie wagi Cavendisha przedstawia fig. 5.

Na cienkiej nici srebrnéj uczepiony jest lekki drążek metalowy, dźwigający na obu końcach małe kulki metalowe, *a* i *b*,—widzimy, że tworzy on wahadło, mogące się kołysać jedynie w płaszczyźnie poziomej.— Kulki *a* i *b* są widocznie usunięte z pod przyciągania ziemskiego, tak że ujawnić się może słabe przyciąganie, jakie na nie wywierają dwie wielkie kule ołowiane M w pobliżu nich się znajdujące.

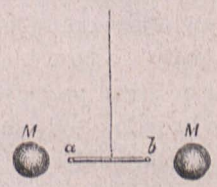


fig. 5.

W przyrządzie Cavendisha kule te w dziesiejszych jednostkach ważyły po 158 kilogramów i zawieszone były na końcach silnie zbudowanego pręta, a dla usunięcia wszelkich wpływów ubocznych cały ten przyrząd zamkniętym był w pokoju bez drzwi i okien, i oświetlonym był jedynie lampą, znajdującą się zewnątrz, któréj światło dostawało się przez mały otwór, a to dla usunięcia niejednostajnego ogrzéwania powietrza pokoju, toby bowiem sprowadzało lekkie prądy, mogące wywoływać kołysanie się wahadła.

Dodać jeszcze należy, że ruchy kulek obserwowane były z zewnątrz, za pomocą lunety, przez otwór boczny w ścianie pokoju.

Pręt podtrzymujący kule wielkie mógł być obracanym z zewnątrz pokoju. Gdy ustawionym był prostopadle do drążka *ab*, kule nie mogły wywierać żadnego wpływu na kulki małe, znajdowały się bowiem w jednakiéj od nich odległości ze stron przeciwnych: działanie ich nawzajem się znosiło. Ale skoro pręt obrócono tak, że kule wielkie zbliżyły się do małych, drążek poziomy zaczął się natychmiast obracać; teraz bowiem każda kulka jest silniéj przyciąganą przez kulę bliższą, usiłuje przeto do niéj się zbliżyć (Fig. 5 należy tak rozumieć, że drążek *ab* znajduje się na płaszczyźnie papieru; jedna zaś z kul *M* przed tą płaszczyzną, a druga po za nią). Ruchowi temu wszakże opiera się drut srebrny, na którym wahadło jest zawieszone, gdyż w skutek tego ruchu ulega on skręceniu, co powstrzymuje dalszy ruch drążka. Pod wpływem przeto współdziałania dwu przyczyn — przyciągania kul wielkich i skręcania drutu — drążek odbywać będzie wahania około pewnego położenia średniego, a za pomocą wspomnianéj wyżéj lunety będzie można zaobserwować obszerność i szybkość tych wahań.

Tym sposobem poznać można siłę, z jaką kule wielkie przyciągają kulki małe, daje się ona bowiem ocenić z szybkości wahań drążka poziomego.

Skoro więc waga skręcenia wykazać może, jak wielkie przyciąganie wywiera kula znanego ciężaru, to obliczyć już łatwo można, jaki ciężar posiada ziemia, znamy bowiem siłę przyciągania, przez nią wywieraną.

Taką tedy jest droga wiodąca do rozwiązania zagadki ciężaru bryły ziemskiéj.

II.

Należy nam teraz zapoznać się z wynikami mozolnych tych badań; rachunki wszakże Cavendisha i innych badaczy tak były prowadzone, że nie dawały ciężaru ziemi, ale dążyły do wyszukania jéj gęstości, t. j. liczby wskazującéj, ile razy ziemia gęstszą czyli cięższą jest od wody. Daje nam to tę korzyść, że unikamy liczby potwornie olbrzymiéj, o znaczeniu któréj trudnoby nam było wyrobić sobie pojęcie. Liczba bowiem jest wynikiem porównania danéj wielkości z pewną jednostką przyjętą za miarę; gdy przeto zbytnia wielkość liczby uniemożliwia uchwycenie rezultatu takiego porównania, przechodzi ona niejako w dziedzinę ilości nieskończenie wielkiéj i traci zwykłe, pospolite swe znaczenie.

Dla tego też, zamiast mówić o ciężarze ziemi, poprzestaje się zwykle na przytoczeniu jéj gęstości. Rozumié się zresztą, że może być tu mowa

jedynie o gęstości średniéj; ziemia jest bowiem nagromadzeniem najrozmaitszych materyałów, z których znamy te zaledwie, co stanowią zewnętrzną jéj skorupę. Otóż na taką to średnią gęstość ziemi otrzymał Cavendish liczbę 5,48 znaczy to, że ziemia jest prawie $5\frac{1}{2}$ raza gęstszą od wody, to jest waży $5\frac{1}{2}$ raza więcéj niż gdyby cała stanowiła bryłę wodną.

Zaledwie dodać należy, że skoro znamy gęstość ziemi, obliczenie jéj ciężaru wychodzi na zupełnie proste mnożenie, zwłaszcza przy użyciu miar metrycznych. Objętość ziemi, podana wyżéj w milach sześciennych, wynosi 1,082,841,000,000 kilometrów sześciennych; jednostka zaś wagi, gram, jest ciężarem jednego centymetra sześciennego wody; metr przeto sześcienny wody, zawiérający milijon centymetrów sześc., waży milijon gramów, czyli tysiąc kilogramów, a kilometr sześć., wody, obejmujący 1,000,000,000 m. sześc. ważyć będzie 1,000,000,000,000 (według przyjętego u nas sposobu czytania wielkich liczb —trylijon) kilogramów. Jeżeli przeto do powyższéj liczby, przedstawiającéj objętość ziemi w km. sześc., dopiszemy dwanaście zer, otrzymamy w kilogramach ciężar, jakiby posiadała ziemia, gdyby stanowiła bryłę wodną; istotny jéj ciężar jest 5 i pół raza większym. Potworność téj liczby uczy dostatecznie, dlaczego zamiast o ciężarze ziemi, mówi się raczéj o jéj gęstości.

Badania Cavendisha powtórzone zostały w r. 1837 przez Reicha we Freibergu. Używał on drogi téj saméj, udoskonalił ją jednak przez usunięcie źródeł niektórych błędów i doszedł do liczby nie wiele różnéj od poprzedniéj, bo 5,44. W r. 1842 długi szereg takich doświadczeń podjął Baily na zlecenie towarzystwa astronomicznego w Londynie, a wypadek średni z 2,000 przeszło obserwacyj wyniósł liczbę nieco większą niż Cavendisha, 5,68. W dziesięć lat późniéj Reich powtórzył raz jeszcze swe prace w warunkach korzystniejszych; — według tych badań średnia gęstość ziemi wynosi 5,58.

W ostatnich czasach za pomocą wagi skręcenia, raz jeszcze gęstość ziemi oznaczyli A. Cornu i J. Baille w Paryżu. Prace ich, prowadzone z jak najmożliwszą dokładnością, wydały w lecie 1872 liczbę 5,56, w zimie zaś 1872—3 liczbę 5,50.

Uderzająca zgodność wszystkich powyższych poszukiwań wskazuje, jak pewną i godną zaufania jest ta metoda ważenia ziemi; liczba wszakże przez nią osiągnięta nabiéra pewności tém większéj, że daje się stwierdzić badaniami, prowadzonemi według zasad odmiennych.

III.

Już Bouguer 1738 r. zauważył, że wysokie góry wywiérają wyraźny wpływ na kierunek pionu, odchylając go w skutek swego przyciągania z normalnego położenia. Gdyby przeto można było zmierzyć wielkość tego odchylenia, a zarazem ocenić ciężar góry, mielibyśmy znowu możność oznaczenia ciężaru ziemi, któréj siłę przyciągania znamy. Możność takich obliczeń przedstawiła góra Shehallien w Portshire w Szkocyi. Ponieważ postać téj góry jest prawidłowa a budowa jéj geognostyczna znana, można było przeto ze znacznem przybliżeniem ocenić jéj objętość, ciężar i położenie środka ciężkości. Zadaniem tém zajęli się Maskelyne i Hutton w r. 1774 i starannie oznaczyli kierunek pionun w pobliżu téj góry, a dla większej dokładności zawieszali piony po obu jéj stronach, na północy i południu. Kierunki pionów w różnych miejscach ziemi scho-

dzą się przedłużone w środku ziemi; choćby przeto wpływ góry był żaden, piony nie byłyby równoległe, ale różnica ich wzajemnego pochylenia zależałaby jedynie od różnicy szerokości geograficznéj obu stanowisk obserwacyjnych.

Przyciąganie góry odchyla oba piony od normalnego ich położenia tak, że się one ku sobie bardziéj pochylają, a tém samém tworzą między sobą kąt nieco większy, jak to objaśnia dostatecznie fig. 6.

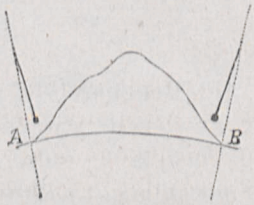


fig. 6.

Rozumie się, że oznaczenie tego pochylenia wahadeł polega na obserwacyach astronomicznych: gdyby bowiem piony było równoległe zwróconeby były ku jednéj i téj saméj gwieździe; z powodu wszakże pochylenia przedłużone ich kierunki napotykają na niebie różne gwiazdy, których odległość kątowa daje zarazem kąt, jaki owe dwa piony ze sobą czynią.

W ten sposób Maskelyne i Hutton poznali, że oba piony, umieszczone w miejscach A i B, czyniły między sobą kąt 54,6“, z pomiarów zaś geodetycznych okazało się, że łuk południka A B wynosił tylko 42,94“; przez wpływ przeto góry oba piony razem usunięte były od właściwie pionowego kierunku o 54,6“ — 42,94“ t. j. o 11,66 sekund

Rozumie się, że na wielkość tego odchylenia ma wpływ i odległość od góry, a raczéj od jéj środka ciężkości, bo ciężar każdej massy działa tak, jakby cała skupioną była w swym środku ciężkości. Dla tego też Maskelyne i Hutton obrali stanowiska na południku przechodzącym przez środek ciężkości góry, którego położenie, jakeśmy wyżéj wspomnieli, można było oznaczyć.

Na zasadzie tych obserwacyj obaj ci badacze oznaczyli gęstość ziemi na 4,73. Liczba ta znacznie jest mniejszą od liczby Cavendisha, ale téż droga ta nie może budzić równego, jak poprzednia zaufania. Jakkolwiek bowiem metoda sama przez się jest bez zarzutu, to jednak oznaczenie objętości, ciężaru i środka ciężkości góry zawsze będzie miało w sobie coś dowolnego; a co do góry Shehallien było to tém trudniejsze, że składa się ona z kilku różnych skał, których układ wzajemny nie jest zgoła prawidłowym. Korzystniejszą okazała się do tego celu góra *Arthurs-Seat* pod Edymburgiem, utworzona z bazaltu a na 800 stóp wysoka,— odchylenie pionu w jéj sąsiedztwie oznaczył 1856 r. James i obliczył ztąd gęstość ziemi na 5,3.

IV.

I w inny jeszcze zupełnie sposób wahadło do tegoż samego celu posłużyć może.

Siła przyciągania słabnie w miarę odległości od ciała przyciągającego; wahadło przeto zawieszone w pewnéj odległości od powierzchni ziemi kołysać się będzie wolniéj. W balonie np. wahadło w ciągu pewnego czasu dokona mniéj wachnięć, aniżeli w tymże samym czasie przy powierzchni ziemi, a szybkość tę wahań w danéj wysokości obliczyć można dokładnie, zgoła niezależnie od obserwacyi.

Inaczéj jednak rzeczy się mają, gdy stanowisko to górne nie jest punktem odosobnionym, ale gdy obrano je na szczycie góry. Wtedy bowiem na ruchy wahadła wpływa i massa góry, przyśpiesza je mianowicie, powiększa liczbę wachnięć w ciągu pewnego czasu dokonywanych.— Istotnie przeto ich liczba będzie większą od obli-

czonéj, a nadmiar ten pozwoli nam ocenić przyciąganie wywierane przez górę. Gdy przeto zdołamy jeszcze ocenić objętość jéj i gęstość, będziemy znowu posiadali dane do obliczenia średniéj gęstości ziemi.

Z obserwacyj biegu wahadła na górze Cenis obliczył Carlini 1824 gęstość ziemi 4,39. Jak to jednak okazał następnie E. Schmidt, liczba ta wypadła zbyt małą z powodu pewnego błędu rachunkowego; wynosi ona właściwie 4,837.

Ale i w metodzie tej tkwią też same, co i w poprzedniej, źródła błędu, bo i tu rachunek cały oprzéć należy na przybliżonéj ocenie objętości i gęstości góry. Swieżo jednak, bo w sierpniu 1880 r., F. C. Mendenhall przeprowadził też same badania na szczycie stożkowatego wulkanu Fujiyama w Japonii; doprowadziły one do wypadku zgodniejszego z rezultatami osiągniętemi wagą skręcenia, bo do liczby 5,77.

Znakomity astronom angielski Airy użył tejże samej drogi, ale w sposób niejako odwrotny; zamiast zawiesić wahadło na szczycie góry, umieścił je na dnie kopalni.

Metoda ta polega w ogólności na tej zasadzie, dowiedzionej przez mechanikę, że punkt materyalny, znajdujący się wewnątrz kuli, ulega przyciąganiu tej tylko jéj części, która zamkniętą jest w powierzchni kulistej, przez tenże punkt przechodzącej, cała zaś warstwa zewnętrzna

działania nie wwyiera żadnego, przyciągania jej bowiem nawzajem się znoszą, — czyli krótko mówiąc, pukt znajdujący się wewnątrz ziemi ulega jedynie wpływowi jądra wewnętrznego.

Gdy więc zawiesimy jedno wahadło obok otworu szybu, a drugie na dnie głębokiéj kopalni nie będą się one kołysały jednocześnie. Wahadło dolne kołysze się jedynie pod wpływem jądra wewnętrznego, górne zaś pod wpływem tego jądra; i skorupy zewnętrznéj, wahania swoje zatém odbywa prędzéj, — różnica pozwala ocenić wpływ wyłączny téj skorupy ziemskiéj. Znamy więc siłę przyciągania skorupy wewnętrznéj ziemi i siłę przyciągania całéj ziemi; dla obliczenia przeto jéj ciężaru potrzebną tylko jeszcze była znajomość ciężaru owych warstw zewnętrznych.

Ciężar ten nie da się wprawdzie oznaczyć, ale domyślać się można, że wahadło ulega głównie wpływowi pokładów sąsiednich, tych zaś gęstość poznać można przez zbadanie natury gruntów okolicznych i przyjąć ją za gęstość całéj skorupy, o któréj tu mowa.

Jeszcze w 1826 Airy wraz z Whewellem starali się metodę tę zastosować, prace te wszakże nie powiodły się zgoła. Pomyślniéj zdołał je przeprowadzić Airy dopiéro w r. 1856; istotne usługi oddał wtedy telegraf elektryczny, którego w r. 1826 jeszcze nie znano, bo tym tylko sposobem można było dokładnie porównywać bieg wa-

hadła górnego i dolnego. Badania swe prowadził astronom angielski w kopalni węgla Hartonpod South-Shields, niedaleko Newcastle, w głębi 385 metrów; wahadło dolne kołysało się rzeczywiście cokolwiek wolniéj niż górne, a obliczenia na podstawie téj różnicy przeprowadzone wydały liczbę 6,623, — niewątpliwie zbyt wielką.

Na zasadzie zresztą tychże samych obserwacyj Airego, ale odmienną metodą rachunkową, otrzymał Haughton liczbę znacznie mniejszą 5,48.

Ostatnia ta droga oznaczania gęstości ziemi prowadzi zresztą do wypadków najbardziéj wątpliwych, bo polega ona na przybliżonéj ocenie gęstości skorupy, czego téż nieznamy. Prof. Birkenmajer, wykazując jéj niedostatki, radzi z niéj korzystać wsposób niejako odwrotny przyjąwszy bowiem gęstość średnią całéj ziemi za znaną z metody Cavendisha, można tym sposobem dojść gęstości warstw zewnętrznych ziemi, a tak odwrócona metoda Airego przydałaby się bardzo korzystnie, gdyby badania te prowadzono w różnych miejscach ziemi; do prac takich nadałaby się dobrze Wieliczka.

V.

Powyżéj opowiedziane metody nie wyczerpują wszystkich sposobów oznaczenia gęstości ziemi. Owszem, prostszy niewątpliwie od poprzednich przedstawił 1880 r. towarzystwu naukowemu królewskiemu w Londynie p. J. H. Poynting z Manczestru. Do zamierzonego celu użył on poprostu zwyczajnéj wagi.

Na jednym końcu belki szalek, w miejsce usuniętego talerza zawiesił ten eksperymentator ciężar ołowiany, ważący 459,92 gramów; ciężar ten uczepiony był za pomocą druta długiego na 6 stóp i zrównoważony został dokładnie ciężarami umieszczonemi na pozostałym talérzu szalek. Otóż pod powyższy ciężar ołowiany sprowadzono wielką bryłę ołowianą, ważącą 154.220,6 gramów. Masa ta wywarła na ciężar przyciąganie, które ujawniło się istotnie pochyleniem belki szalek, tak jakby ów uwieszony do niéj ołów stał się cięż-

szym. Aby belka znowu do równowagi wróciła, trzeba było na talarzyk dorzucić pewien ciężarek, który przeto stanowi miarę przyciągania, wywieranego przez wielką bryłę ołowianą na ciężar zawieszony. W doświadczeniu o którym tu mówimy, ciężarek dodany wynosił 0,01 miligrama, czyli około $^1/_{45\cdot000\cdot000}$ każdego z równoważących się ciężarów. Łatwo widzieć, że z doświadczenia tego otrzymać znowu można dane wystarczające do oceny ciężaru ziemi, a rachunki na téj zasadzie wykonane doprowadziły do liczby 5,69 jako średniej gęstości ziemi.

Jakkolwiek metoda powyższa zupełnie jest nową, została już ona zastosowaną (1880—81) i przez innego badacza, mianowicie przez prof. Jolly w Monachium, który zresztą na pomysł użycia wagi wpadł niezależnie od Poyntinga. Wagę swą umieścił prof. Jolly w górnéj części wysokiéj (25 metrów) i pustéj wieży; do talerze téj wagi na długich drutach, schodzących niemal aż do stóp wieży, uczepione były dwa inne talerz. Zamiast zwykłych ciężarów do ważenia użyto dwu flasz czyli kolb, szklanych, napełnionych jednakową ilością rtęci, a oprócz tego przygotowano dwie jeszcze takież same kolby puste i zalutowano je podobnie jak poprzednie.

Doświadczenia prowadzone były w ten sposób, że najpierw obie kolby napełnione rtęcią znajdowały się na talerzach górnych a obie puste na dolnych, następnie zaś jednę z kolb górnych zmie-

niano z odpowiednią kolbą z talerza dolnego. Tym sposobem masa rtęci znajdująca się w kolbie doznawała zbliżenia ku środkowi ziemi o odległość obu talerzy (21 metrów) i ulegała silniejszemu przyciąganiu; równowaga zatém wagi zrywała się, a dla przywrócenia jéj trzeba było dorzucać na drugą stronę wagi ciężarki, które w tym celu wyrobione były z blachy platynowéj.

Już sam ten rezultat niezmiernie jest ciekawy, stanowi on bowiem nowe potwierdzenie téj prawdy, że natężenie wzajemnego przyciągania dwu ciał wzrasta, gdy one się ku sobie zbliżają, a z pięćdziesięciu doświadczeń okazało się, że przyrost ciężaru jakiego doznawała rtęć (było jéj w kolbie 5,00945 kilograma) wynosił 31,686 miligramów.

Gdy następnie pod jednym z dolnych talerzy umieszczono kulę ołowianą, to kolba przenoszona z górnego talérza na dolny doznaje dalszego przyrostu ciężaru wskutek zbliżenia się do środka kuli ołowianéj, a ciężar rtęci okazuje się większym, aniżeli w doświadczeniach poprzednich; różnica przeto między przyrostem jednym a drugim daje miarę przyciągania téj kuli. Kula ołowiana, któréj używał prof. Jolly, składała się ze 115 części i przy średnicy niewiele mniejszej od jednego metra ważyła 5775,2 kilograma; ciężar jéj właściwy wynosił 11,186. Potężna taka bryła wywiera wprawdzie wpływ na kolbę i wtedy, gdy znajduje się ona na talerzu górnym, ale,

jak rachunek uczy, wpływ tego przyciągania od powiada ciężarowi zaledwie 0,0008 miligrama, a że drobiazg taki nie wpłynąłby wcale na wagę, której używał Jolly, można przeto na okoliczność tę baczenia nie zwracać; z pięćdziesięciu również obserwacyj okazało się, że gdy kolba napełniona rtęcią przechodziła z górnego talerza na dolny, pod którym znajdowała się kula, ciężar jéj wzrastał o 32,275 miligrama, to jest o 0,589 mg. więcéj niż w przypadku poprzednim, — znaczy to, że sama kula ołowiana powodowała przyrost ciężaru o 0,589 mg. Rachunek oparty na danych tego doświadczenia prowadzi do średniéj gęstości ziemi 5,692, z błędem możliwym, nieprzekraczającym granicy 0,068.

Metoda ta, podobnie jak i metoda Cavendisha, nie potrzebuje odwoływać się do przypuszczeń dowolnych i dla tego niemniejsze budzić może zaufanie. Jeżeli zaś prof. Jolly otrzymał liczbę nieco większą aniżeli różni badacze, którzy się wagą skręcenia posługiwali, to przyczyną tego mogą być znowu okoliczności czysto miejscowe, jakiś pokład ciężki i rozległy, ciągnący się pod gruntem Bawaryi. Waga przeto zwyczajna, podobnie jak i wahadło, stanowić może sondę, pozwalającą wnioskować o budowie głębszych warstw skoropy ziemskiéj.

VI.

Rozmaitość wyników wszystkich badań powyższych wskazuje, że podobnie jak kwestya postaci ziemi, tak też i pytanie o jej gęstości stanowczo załatwionem nie jest; ale podobnie jak tam tak i tu niepewność w bardzo już szczupłych zamyka się granicach. W każdym razie metoda Cavendisha, nie potrzebująca odwoływać się do obliczeń dowolnych, prowadzi do rezultatów najwiarogodniejszych, według których planeta nasza jest nieco więcej nad $5\frac{1}{2}$ raza cięższą od bryły wodnej téjże wielkości.

Sprawa dokładnego ważenia ziemi obchodzi nietylko geografa i geologa, jest ona równie ważna i dla astronoma; mechanika bowiem niebieska wskazuje drogi, któremi oznaczyć można, ile razy siła przyciągania słońca i planet większą jest aniżeli siła przyciągania ziemi, a tém samém po-

zwala ocenić stosunek masy tych ciał niebieskich do masy ziemi. Skoro zatém tę ostatnią znamy, możemy oznaczyć masy słońca i planet; za pomocą zatem wagi Cavendisha nietylko ziemię ale cały system słoneczny zważyć możemy. Znajomość zaś gęstości ciał niebieskich rzuca niemałe światło na ogólną budowę fizyczną tych odległych światów; skoro wiemy, że gęstość Jowisza jest cztery a Saturna ośm razy mniejszą niż gęstość ziemi, pojmujemy już, że te olbrzymy układu słonecznego nie przedstawiają zgoła brył jak ziemia zbitych, że są to planety odrębnej zupełnie przyrody.

A niemniéj doniosły wniosek z tak wykrytej gęstości ziemi wysnuć się daje i co do tajemniczego wnętrza, własnéj naszej planety. Średni ciężar właściwy ziemi $5\frac{1}{2}$ jest bardzo znaczny w porównaniu z ciężarem materyałów przeważnie skorupę ziemi składających; średnia bowiem gęstość znanéj nam skorupy lądowéj niewiele zapewne przechodzi liczbę $2\frac{1}{2}$, a obniży się mniéj więcéj do 1,6, jeżeli do mas stałych dodamy i powłokę wodną, oceaniczną. Z tego wypływa niewątpliwie, że wnętrze ziemi utworzoném jest z mas cięższych, aniżeli jéj warstwy wierzchnie.

Zapewne, wiadomość ta niewiele nas jeszcze uczy o zagadkowej budowie jądra ziemskiego, ale tyle tylko z pewnością o niém dotąd wiemy.— Po za tém obracać się już możemy jedynie w dzie-

dzinie domysłów. Bodaj czy nie najdalej na to pole zapuścił się geolog amerykański Dana, który przyjmuje, że jądro ziemi utworzone jest przeważnie z żelaza (ciężar właściwy 7 do 7,8).

Do śmiałego tego przypuszczenia prowadzi go uwaga, że głazy, pochodzące z najznaczniejszych, znanych nam głębi, bazalty i skały oliwinowe, są najcięższe (c. wł. 2,9—3,6) a zarazem najbogatsze w żelazo. Nie należy wszakże rozumieć, iżby pomiędzy zewnętrzną powłoką kamienną — *litosferą*, a owém ciężkiém jądrem żelaznem— *barysferą* — zachodziło przejście gwałtowne, w tym naprzykład rodzaju jak między oceanem powietrznym a wodnym; owszem jedna ustępuje drugiéj stopniowo, masy lżejsze zwolna przechodzą w cięższe, w warstwach granicznych wielokrotnie się między sobą mięszając.

Według Dany około dwu trzecich całéj bryły ziemskiéj składa się z żelaza, tak że to jądro żelazne musiałoby się rozpoczynać w głębokości nieco większéj nad sto mil. Na poparcie śmiałéj swéj hypotezy powołuje geolog amerykański meteoryty, t. j. głazy spadające na ziemię ze sfer światowych, a które uważa on za rozbite gruzy innych brył planetarnych. — Meteoryty te czyli aerolity dają się w ogólności podzielić na dwie grupy; jedne stanowią masy mniéj lub więcéj podobe do law wulkanicznych naszéj ziemi — są to meteoryty właściwe czyli głazy meteoryczne,

inne są żelazem rodzimém z niewielką ilością niklu—żelazo meteoryczne. Otóż w przypuszczeniu Dany głazy meteoryczne są szczątkami powłoki czyli litosfery, bryły zaś żelaza meteorycznego szczątkami jądra czyli barysfery owych rozbitych ciał niebieskich, i podobną budowę przypisuje ziemi.

Nordenskjöld napotkał pod Ovifak na zachodnich brzegach Grenlandyi wielkie bryły żelazne z których jedna ważyła przeszło 10,000, druga 4,000 kilogramów; bryły te uważa on nie za żelat, zo meteoryczne, ale za masy wyrzucone z głębi ziemi wraz z bazaltem, który uległ zwolna zwietrzeniu i oswobodził uwięzione w nim żelazo.— Gdyby przypuszczenie to było prawdziwém, mogłoby stanowić słaby wprawdzie, ale bezpośredni dowód poglądu Dany. I odwoływanie się do meteorytów także na bardzo wątłéj oparte jest podstawie, bo wedle poglądów obecnych zwykło się je uważać chętniéj za samoistne ciałka niebieskie, aniżeli za utwory z rozbicia ciał niebieskich powstałe.

Zapewne składa się bryła ziemska z warstw współśrodkowych, których gęstość ku środkowi ziemi wzrasta. Ale według jakiego prawa wzrost ten zachodzi, jest dla nas rzeczą nieznaną. Wiemy, że temperatura powiększa się w miarę zagłębiania się w ziemię, ale nie wiemy, jak daleko powiększanie to sięga; pojmujemy, że ciśnienie

w znacznéj głębi dochodzi olbrzymich rozmiarów, tak że ciała znajdują się tam w odrębnych zupełnie warunkach, a od wszystkich tych i od innych nieznanych nam okoliczności zależy zmiana gęstości.

Ale i na tém tak niewdzięcznem na pozór polu matematyka nie odmawia niezawodnéj swéj pomocy. Widzieliśmy wyżéj, że już Newton i Huygens starali się teoretycznie obliczyć spłaszczenie ziemi, jako bryły ulegającéj obrotowi około osi; obaj ci genijalni matematycy otrzymali wszakże liczby bardzo odmienne, pierwszy $^1/_{230}$, drugi $^1/_{580}$. Różnica ta pochodzi ztąd, że piérwszy przyjmował ziemię jako bryłę jednorodną, drugi zaś wyobrażał sobie massę ziemi skupioną we środku, czyli gęstość jéj na powierzchni niesłychanie małą w porównaniu z gęstością w środku. Widzimy ztąd, że teoretycznie obliczane spłaszczenie ziemi prowadzi do różnych wyników, stosownie do tego, jaki przyjmujemy rozkład jéj gęstości.

Obie powyższe liczby odstępują znacznie od istotnego spłaszczenia ziemi; odwołać się przeto należy do innego, stopniowego wzrostu gęstości ku środkowi ziemi, a według rachunków opartych na podobnych hypotezach wnieść można, że gęstość ziemi w jéj środku przewyższa 10 razy gęstość wody.

Wielu znakomitych matematyków: Legendre, Pratt, Plana, W. Thomson i inni — opracowy-

wało mozolne to zadanie; przed kilku laty rozwiązał je dr. Ludwik Birkenmajer, obecnie profesor w Krakowie, a ostatnią w tym przedmiocie pracę (1881) ogłosił uczony francuski Roche; wyniki jego wywodów matematycznych zgadzają się zupełnie z hypotezą Dany;—według niego bowiem posiada ziemia jądro, którego ciężar właściwy wynosi około 7, otoczone warstwą o c. wł. 3, której grubość nie przenosi szóstéj części promienia. Z tego więc względu, mówi Roche, wnętrze ziemi odpowiada żelazu meteorycznemu, gdy jej powłoka da się porównać do aerolitów kamiennych, zawierających niewielką tylko ilość żelaza.

Wszystkie powyższe prace zalecają się zarówno głębokością pomysłów jak i genijalnością wywodów, niemniej jednak pozostają w sferze hypotez matematycznych. Rozkład gęstości w wnętrzu ziemi długo jeszcze zapewne pozostanie rzeczą nieznaną, jak i sama natura tego wnętrza. Trudności wszakże nie zrażają badaczy, a dotychczasowy rozwój różnych działów ziemioznawstwa ożywia nadzieję, że człowiek coraz więcéj, coraz dokładniéj siedzibę swą poznawać będzie.

WYŻSZEJ SZKOŁY GOSPOD. WIEJSK. BIBLIOTEKA W ŁODZI