

Erickson, Robert F.

Francuska wyprawa geodezyjna z r. 1735

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 4/3, 465-481

1959

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Robert F. Erickson

FRANCUSKA WYPRAWA GEODEZYJNA Z ROKU 1735*

Francuska wyprawa geodezyjna z roku 1735, zorganizowana przez Paryską Akademię Nauk do hiszpańskiej Ameryki, miała za główne zadanie pomiar trzech stopni szerokości geograficznej w pobliżu równika. Spodziewano się, że na podstawie tych pomiarów oraz takich pomiarów przeprowadzonych we Francji i w Laponii będzie można dokładnie określić wielkość i kształt kuli ziemskiej. Pomysł wyprawy powstał na tle zasadniczego naukowego sporu mającego miejsce na początku XVIII stulecia: jaki jest kształt kuli ziemskiej? W polemice tej wzięło udział kilku najwybitniejszych europejskich uczonych, lecz początku jej szukać trzeba w normalnych pomiarach przeprowadzanych we Francji w XVII wieku.

W roku 1669 francuski astronom Jean Picard zapoczątkował pomiary geodezyjne Francji; zostały one ukończone w roku 1670 i polegały na wymierzeniu nieco więcej niż jednego stopnia wzdłuż południka paryskiego. Na podstawie tych pomiarów Picard obliczył, że długość jednego stopnia szerokości geograficznej we Francji wynosi 57 057 toise¹ i że obwód kuli ziemskiej równa się 20 541 600 toise (Picard uwzględniając pewne różnice w długości stopni geograficznych przyjął jako średnią długość jednego stopnia 57 060 toise). Wynik ten został przyjęty we Francji i zastosowany przez Isaaca Newtona przy obliczaniu przyspieszenia spadku ciała w wolnym spadaniu.

Obserwacje naukowe innego Francuza, Jean Richera, wywołały powikłania w pojęciach Europejczyków o wielkości i kształcie kuli

* Artykuł nadesłany do „Kwartalnika” przez docenta Katedry Historii Butler University w Indianopolis (Stany Zjednoczone) stanowi streszczenie jego większej pracy: *Ekspedycja Francuskiej Akademii Nauk do Hiszpańskiej Ameryki, 1735—1744*, Artykuł tłumaczył K. Wasilewski.

¹ Toise było jednostką miary długości równą 1,949 metra.

ziemskiej. W roku 1671 Giovanni Cassini, astronom urodzony we Włoszech, który przeniósł się do Francji i przyjął obywatelstwo francuskie, poddał Akademii myśl, że należałoby wysłać do Cayenny, francuskiej kolonii w Południowej Ameryce, obserwatora dla przeprowadzenia serii pożytecznych obserwacji. Jeden z wyników uzyskanych przez Richera, który przebywał w Cayennie w latach 1672—1673 był zastanawiający: zaobserwował on, że wahadło, nastawione dla oznaczania sekund w Paryżu, musiało być skrócone, ażeby wyznaczać ten sam czas na szerokości północnej $4^{\circ}56'$. Późniejsze doświadczenia z wahadłem przeprowadzone przez Varina i des Hayesa w czasie wyprawy na wyspę Gorée wykazały te same mniej więcej rezultaty.

W pięć lat po tej wyprawie ukazało się pierwsze wydanie Newtona *Principia Mathematica*, w którym zagadnienie kształtu kuli ziemskiej zostało omówione w księdze III. W twierdzeniach XVIII, XIX i XX Newton wprowadził i wyjaśnił to zagadnienie; stwierdził on, że kula ziemską uważaną być może za jednorodny płyn obracający się z jednostajną prędkością kątową. Stała równowaga w tym wypadku byłaby możliwa tylko wtedy, gdyby ciało to było elipsoidą spłaszczoną na biegunach, powstałą na skutek ruchu obrotowego. Newton obliczył, że stosunek osi ziemskich, biegunowej do równikowej wynosi 229:230. W księdze III wspomina on również o spłaszczeniu planety Jowisz, zauważonym przez wielu astronomów, i o wynikach wyżej wspomnianych doświadczeń z wahadłem. Obliczył on długość wahadła sekundowego na równiku i omówił zwiększenie się ciężaru ciała teoretycznego przeniesionego z równika na jeden z biegunów. Przyrost ciężaru na danej szerokości jest w przybliżeniu proporcjonalny do drugiej potęgi sinusa szerokości geograficznej; taka sama zależność istnieje dla długości łuków stopni szerokości.

Holenderski uczony Christian Huyghens pisał o kształcie ziemi określonym przez prawa fizyczne jeszcze przed opublikowaniem *Principia Mathematica*. W roku 1669 twierdził on, że ziemia nie jest kulą, lecz że jej południki mają formę elipsy spłaszczonej na końcach osi pionowej. Później przyznał się on, że zaznajomienie się z *Principiami* Newtona wyjaśniło mu to zagadnienie. Stosunek dwóch osi ziemskich obliczony przez Huyghensa nie zgadzał się z newtonowskim, lecz nie miało to większego znaczenia, jeżeli wziąć pod uwagę, że połączony autorytet, jakim się cieszyli dwaj uczeni wśród naukowej społeczności końca XVII stulecia, ugruntował twierdzenie, że ziemia ma kształt spłaszczonej elipsoidy.

Jakkolwiek wydawałoby się, że teoria ta była początkowo przyjęta nie tylko w Anglii, lecz i przez wielu uczonych na kontynencie, niektórzy francuscy akademicy na początku XVIII wieku zmienili swój pogląd na korzyść przedstawiania ziemi jako sferoidy wydłużonej w kierunku biegunów. Przyczyna tej zmiany ma bezpośredni związek z pracami francuskich kartografów, którym początek dał Picard. Wyniki pomiarów Picarda zostały w roku 1678 wprowadzone do mapy Francji Viviera, a 3 lata później Picard poddał myśl Colbertowi (ministrowi Ludwika XIV), aby pomiary były prowadzone w dalszym ciągu, co dałoby możliwość dokładnego wyznaczenia południka paryskiego z jednego końca Francji do drugiego. Picard wyjaśniał, że linia taka służyłaby dwum celom — stanowiłaby podstawę do sporządzenia mapy całej Francji, a równocześnie mogłaby służyć do ponownego przeprowadzenia pomiarów obwodu kuli ziemskiej.

Dalsze prace nad wielką mapą Francji powierzono znanemu astronomowi, G. D. Cassiniemu; jego pomiary od Paryża do południowej granicy Francji zakończone zostały w roku 1701. Cassini wymierzył łuk $6^{\circ}18'$ i dodał do niego łuk Picarda otrzymując w ten sposób długość łuku $7^{\circ}20'$. Porównując długość jednego stopnia szerokości geograficznej na obu końcach tej linii Cassini stwierdził, że długości stopni geograficznych wzrasta w kierunku południowym; podczas gdy teorie Newtona i Huyghensa zakładały wynik wprost przeciwny. Cassini w swym referacie z roku 1701 nie wysuwał teorii o kształcie ziemi, lecz wniosek był jasny: kula ziemska nie była spłaszczona na biegunach, była ona wydłużona w strefach biegunowych. Cassini proponował, aby sprawdzenie polegało na pomiarach przeprowadzonych na powierzchni kuli ziemskiej w dalekich od siebie punktach.

Cassini starszy zmarł w roku 1712, lecz kartografowanie Francji było prowadzone w dalszym ciągu w roku 1718 przez jego syna Jacques'a i innych francuskich uczonych. Lecz już przedtem pojawiły się wręcz odwrotne wypowiedzi odnośnie kształtu ziemi. Johannes Caspar Eisenschmidt w dziele *Diatribes de Figura Telluris Elliptico-Spaeroide* (1691) twierdził, że wszystkie dotychczas przeprowadzane pomiary wykazują, że kula ziemska ma kształt sferoidy wydłużonej w kierunku biegunów. Thomas Burnet w *Theory of the Earth* (wydanie drugie, 1691) teoretyzował, że ziemia miała niegdyś kształt zbliżony do jajka, lecz że biblijny potop zmienił jej kształt. Jacques Cassini w roku 1713 w *De la Grandeur et de la Figure de la Terre* podsumował wszystkie do tego czasu przeprowadzone obser-

wacje, jak również omówił teorie przeciwne. Referat ten został ogłoszony w „Mémoires de l'Académie Royale des Sciences“ i jako ostateczny wniosek zawierał przekonanie, że każda teoria twierdząca, że ziemia jest spłaszczona na biegunach, stoi w sprzeczności z obserwacjami.

Pomiary południka paryskiego przeprowadzone przez całą długość Francji zostały zakończone w roku 1718, a ostateczne wyniki zostały ogłoszone w „Suite des Mémoires de l'Académie Royale des Sciences“ za rok 1718 pod tytułem *De la Grandeur et de la Figure de la Terre*. Najważniejszy wniosek dotyczył długości stopni szerokości geograficznej na obu końcach linii. Najdalej na północ położony stopień liczył 56 960 toise, najdalej na południe — 57 097 toise. Na podstawie tych pomiarów Cassini sporządził tablicę długości poszczególnych stopni szerokości geograficznych. Tablica ta wykazała 1795 toise różnicy pomiędzy najdłuższym i najkrótszym stopniem. Wyciągnął on z tego wniosek, że ziemia ma kształt wydłużonej sferoidy, której obwód przebiegający przez bieguny równa się 20 563 100 toise, a obwód wzdłuż równika — 20 454 274 toise. Obliczenia zawarte w *De la Grandeur et de la Figure de la Terre* miały więc charakter podsumowujący, jednakże autorytet Newtona w Europie był wielki, a w drugim wydaniu *Principia Mathematica* (1713) podał on dodatkowe dowody wykazujące, że ziemia musi mieć kształt spłaszczonej elipsoidy.

Zwolennicy Newtona nie o mieszkali skrytykować wyników Cassiniego; jeden z nich, duchowny angielski, John Theophilus Desaguliers twierdził, że pomiary Cassiniego nie były matematycznie pewne i że poza tym używał on przyrządów geodezyjnych, które na skutek wadliwej konstrukcji mogły popełniać błędy w granicach do 200 toise. Według Desaguliersa należało co najmniej dokonać pomiarów jednego stopnia szerokości i jednego długości na równiku, a poza tym jednego stopnia szerokości na możliwie najdalej na północ wysuniętym miejscu. Desaguliers był tylko jednym z wielu krytyków Cassiniego. W ciągu następnego dziesięciolecia wielu europejskich uczonych poświęciło wiele trudu i czasu na wynalezienie nowych dowodów tej lub innej teorii. „Mémoires“ Francuskiej Akademii zawierają liczne artykuły zalecające jedyny sposób prowadzący do rozwiązania zagadnienia: panowała jednomyślność, że pomiary na równiku i w pobliżu koła podbiegunowego są niezbędne i to przekonanie doprowadziło do zorganizowania w tym celu w roku 1735 francuskiej wyprawy.

Pierwsza wyraźna myśl zorganizowania wyprawy na równik została prawdopodobnie wysunięta w roku 1733 przez młodego akademika Charles de La Condamine. W rok później inny akademik Louis Godin opracował plan technicznych przygotowań niezbędnych dla takiego przedsięwzięcia, który spotkał się z przychylnym przyjęciem Akademii i rządu Ludwika XV. Wicekrólestwo Peru (będące wówczas jeszcze częścią hiszpańskich posiadłości w Nowym Świecie) uznane zostało za najodpowiedniejsze miejsce dla tego projektu i wyprawa została zaplanowana na rok 1735. Pod pewnymi względami wybór personelu wyprawy okazał się niefortunny; starsi akademicy nie mogli wziąć udziału w wyprawie ze względu na stan zdrowia i znaleźli stosowne wymówki, a trzej, którzy zostali ostatecznie wybrani, byli stosunkowo młodzi i niedoświadczeni. Byli to: Louis Godin (1704—1760), Charles de La Condamine (1701—1774) i Pierre Bouguer (1698—1758). Botanik Joseph de Jussieu, młodszy brat sławnych Bernarda i Antoine de Jussieu, został dołączony do tego grona członków wyprawy, do którego poza tym należeli: mechanik przyrządów, dwóch techników z francuskiej marynarki i lekarz. W latach 1734 i 1735 rząd francuski zawarł porozumienie z rządem hiszpańskim co do finansowania i pomocy dla francuskiej wyprawy w Nowym Świecie i dwóch hiszpańskich oficerów marynarki Don Jorge Juan i Don Antonio de Ulloa zostało wysłanych do Nowej Hiszpanii dla okazania pomocy francuskim uczynom.

Po dokładnych przygotowaniach francuska wyprawa wyruszyła z portu Le Rochelle 16 maja 1735 i osiągnęła wyspę Martynikę 22 czerwca. Stąd udano się w dalszą drogę do San Domingo, a następnie do hiszpańskiego portu Carthegena, gdzie nastąpiło pierwsze spotkanie z hiszpańskimi kolegami (16 listopada 1735 roku). Połączone grupy wyruszyły w dalszą długą podróż na południowoamerykańskie wybrzeże Pacyfiku i w końcu maja 1736 roku przybyły do miasta Quito, stolicy prowincji o tej samej nazwie. Prowincja ta w owym czasie była częścią nowego politycznego tworu, Wicekrólestwa Nowej Grenady; poprzednio całe to terytorium było częścią Wicekrólestwa Peru. Przyjęcie francuskiej wyprawy przez władze Quito było przyjazne, co było pomyślnym prognostykiem dla powodzenia wyprawy.

Pierwszym zadaniem, jakie sobie uczestnicy wyprawy nakreślili, było wymierzenie linii podstawowej na równinie Yaroqui, położonej na wschód od Quito, i cała grupa, z wyjątkiem jednego młodego francuskiego pomocnika, który zmarł na złośliwą febrę 19 września,

wzięła udział w tych pracach. Personel wyprawy został podzielony na dwie grupy, z których każda miała za zadanie wymierzenie tej samej linii idąc z przeciwnych końców i używając do tego celu drewnianych dragów długości dwudziestu stóp francuskich (1 pied = 32,48 cm). Linia podstawowa miała długości 6 272 toise, a jej konce były położone na 6' i 12' 20" szerokości południowej. Kierunek linii był odchylony od południkowego o 19°26'. Linia podstawowa w Yaroqui była podstawą początkowego trójkąta w długim ich szeregu, który pokrył ostatecznie przestrzeń powyżej trzech stopni.

Przeprowadzenie pomiarów triangulacyjnych w górach Kordylierów zajęło francuskiej wyprawie i ich hiszpańskim towarzyszom większą część okresu od września 1736 do sierpnia 1739. Praca postępowała powoli i napotykała na wielkie trudności; kiedy miejsce było jeszcze we Francji ustalane, sądzono, że podwójny łańcuch górski w Kordylierach będzie się całkowicie nadawał do pomiarów triangulacyjnych. Jednakże projektodawcy nie znali wcale prawdziwego charakteru tych gór. Nie wiedzieli oni na przykład, że góry te są w wielu miejscach zupełnie niedostępne dla ludzi i że wiele górskich szczytów i pochyłości jest zwykle całkowicie spowite w gęstą mgłę lub pokryte śniegiem. Klimat w okolicach górskich okazał się nadzwyczaj surowy; członkowie wyprawy prowadząc swe prace na szerokości równika bardziej cierpieli od mrozu i burz śnieżnych, aniżeli od upałów. W dodatku wyprawa okazała się o wiele bardziej kosztowna aniżeli przypuszczano. Członkowie wyprawy bywali często w kłopotach pieniężnych, a władze miejscowe nie były skłonne do udzielania zaliczek. Pewnego razu La Condamine zmuszony był sprzedać część swych osobistych rzeczy, ażeby dopomóc finansowo wyprawie. Miejscowe władze nie tylko nie okazywały chęci dopomożenia w sprawach finansowych, ale niekiedy nawet bywały wręcz wrogo nastawione w stosunku do uczonych francuskich. Ludność odnosiła się z dużą podejrzliwością i wrogo do Francuzów i w roku 1739 lekarz wyprawy, doktor Seniergeus, został zabity przez tłum w Cuenca.

Zagadnienia stojące przed wyprawą zostały jeszcze bardziej powikłane przez nieporozumienia pomiędzy jej członkami zarówno Francuzami, jak i Hiszpanami. W czasie przeprawy przez Atlantyk wytworzyła się u Bouguera i La Condamine serdeczna antypatia w stosunku do Godina, tak że Godin zwrócił się do hiszpańskich oficerów o pomoc i zaofiarował im swoje towarzystwo. Przez parę

lat pobytu w Peru było więc mało porozumienia i współpracy pomiędzy Francuzami. Po roku 1739 dwaj hiszpańscy oficerowie nie byli w stanie poświęcić całego czasu pracom wyprawy, gdyż zostali powołani do czynnej służby dla zapobieżenia groźbie floty angielskiej, która pod powództwem admirała Ansona krążyła po Pacyfiku przy brzegach południowoamerykańskich od 1740 do 1741 roku.

Pomimo tych wszystkich trudności i niebezpieczeństw pomiary triangulacyjne zostały zakończone w 1739 roku i długość całej linii (południk Quito) wyniosła podług obliczeń 176 940 toise. Była to wielkość uzgodniona przez Bouguer i La Condamine; Godin i dwaj hiszpańscy oficerowie otrzymali rezultat o wiele większy, gdyż dla swych pomiarów przyjęli inne krańcowe punkty. W roku 1739 La Condamine i Bouguer wprowadzili kontrolną bazę do rachunku triangulacyjnego, Godin i Juan uczynili to samo, ale w innym miejscu. Należy zauważyć że w roku 1744 Juan i Ulloa przeprowadzili pewną ilość dodatkowych pomiarów, tak że w sumie dokonano trzech różnych czynności pomiarowych na południku Quito ($80^{\circ}15'$ na zachód od Paryża). Linia Bouguera i La Condamine miała punkty końcowe w Cotchesqui, małej osadzie w pobliżu równika na północ, i w Tarqui, około trzech stopni południowej szerokości; z tych to punktów Bouguer i La Condamine w latach 1739 i 1740 poczynili początkowo serie pomiarów łukowych. W tym samym czasie Godin wraz z dwoma hiszpańskimi oficerami przeprowadzali obserwacje w mieście Cuenca, na tej samej mniej więcej szerokości co Tarqui. Jednakże obserwacje Godina zakłócone były dziennymi zmianami w zenitalnej odległości gwiazdy, którą miał pod obserwacją. Godin przypuszczał, że następują one podług pewnego określonego wzoru, powrócił więc do Quito dla dalszych studiów i ukończył swe pomiary łuku w czasie późniejszym.

W trakcie własnych obserwacji Bouguer i La Condamine zauważyli przy pomiarach wysokości gwiazd pewne różnice, których nie mogli wytłumaczyć i zaproponowali Godinowi, że byłoby najlepiej robić obserwacje jednej i tej samej gwiazdy równocześnie z przeciwnych krańców punktów na południku; rozumowali oni, że w ten sposób przyczyna błędu i różnic nie będzie miała wpływu na wynik. Godin początkowo zgodził się na tę propozycję, ale w roku 1741 stracił do niej zainteresowanie i zajął się innymi sprawami. Po roku 1741 nie było faktycznie żadnej już współpracy pomiędzy Godinem, Juanem i Ulloa z jednej strony a Bouguerem i La Condamine z drugiej. Współpraca trzech akademików nigdy nie była za-

dowalająca, gdyż Godin uważał, że dwaj pozostali zbyt mało mu okazywali szacunku jako najmłodszemu. Wykazywał on pewną chęć współpracy ze swymi rodakami w czasie, kiedy Juan i Ulloa byli zaangażowani przez Wicekrólestwo Peru do służby w walce z Anglikami, ale po ich zwolnieniu powrócił do towarzystwa swych hiszpańskich przyjaciół i pracował razem z nimi.

W okresie od lutego 1741 roku do początku 1742 roku Bouguer prowadził obserwacje na południowym końcu południka i w korespondencji z La Condamine wyrażał wątpliwości co do dokładności swoich pomiarów. W szczególności posądzał on, że przyrządy są niedokładne i w końcu zawiadomił swego kolegę, że wszystkie poprzednie obserwacje należy odrzucić. Powinni zacząć od początku z nowym zenitalnym sektorem i uzgodnić równoczesne przeprowadzanie obserwacji bez względu na zamierzenia Godina.

La Condamine nie pozostawiało nic innego, jak zgodzić się, i przygotowania do nowych obserwacji były poczynione w ciągu pierwszej połowy 1742 roku. Bouguer udał się do Cotchesqui w lipcu 1742 roku, a we wrześniu La Condamine pojechał do Tarqui. Po wielu miesiącach niepowodzeń i rozczarowań uzyskali nareszcie pomyślne rezultaty; pierwsza równoczesna obserwacja tej samej gwiazdy (Epsilon Oriona) miała miejsce w nocy 29 listopada 1742 r. Dwaj badacze poczynili jeszcze inne podobne obserwacje. Przy wymianie listów w styczniu i lutym 1743 r. wyrazili obopólne zadowolenie z dokładności swych pomiarów; amplituda łuku południka Quito wynosiła $3^{\circ}7'1''$.

Ostatnim etapem ich pracy było obliczenie długości stopni szerokości geograficznej, które mieściły się w południku Quito. Wyniki otrzymane przez różnych członków wyprawy różniły się między sobą, lecz wszystkie wykazywały, że stopnie w mniejszych szerokościach są krótsze aniżeli w większych. Liczby uzyskane przez La Condamine podane są w jego książce *Mésure des trois Premiers Degrés du Méridien dans l'Hémisphère Austral*; pierwszy stopień szerokości sprawdzony do poziomu morza wynosi 56 750 toise. Wynik otrzymany przez Bouguera podany w jego książce *La Figure de la Terre*, wynosi 56 753 toise dla długości pierwszego stopnia. Louis Godin nie wydał książki z opisem wyprawy i jej wyników, lecz jego osobiste notatki zawierają wnioski, do jakich doszedł: otrzymał on wielkość 56 808 toise. Hiszpańscy oficerowie marynarki, Juan i Ulloa posługując się dłuższym odcinkiem południka Quito, a co za tym idzie i dłuższym łukiem, otrzymali rezultat 56 767,8 toise dla

pierwszego stopnia szerokości. Prace ich są opisane w książce Jorge Juana: *Observaciones Astronomicas Y Phisicas Hechas en Los Reynos Del Peru*.

Porównanie stopni szerokości pomierzonych w Peru z pomiarami we Francji wykazało bez najmniejszej wątpliwości, że w pracy nad wielką mapą Francji popełniono wiele błędów. Długość stopni szerokości zwiększa się w kierunku z południa na północ w północnej półkuli, co jest ostatecznym dowodem, że ziemia jest spłaszczona na biegunach. Bouguer i La Condamine określili stosunek osi geoidy i ich liczby wynosiły 222:223 oraz 303:304; granice obecnie przyjęte dla tego stosunku wynoszą: 294:295—297:298².

W związku z rozstrzygnięciem zagadnienia kształtu ziemi należy opisać inną francuską wyprawę tego samego okresu. Była to wyprawa Akademii Nauk wysłana do Laponii w roku 1736 pod kierownictwem astronoma Pierre Louis de Maupertuis. Wyprawa składała się z czterech członków Akademii, do których przyłączył się w Szwecji M. Celsius, profesor astronomii na uniwersytecie w Upsali. W lipcu 1736 r. uczeni ci rozpoczęli pomiary triangulacyjne pomiędzy dwoma miastami fińskimi: Torneo (65°52' szer. półn.) i Kittis (66°49' szer. półn.). Prace posuwały się szybko i pomiary zostały zakończone przed końcem roku. Następnej wiosny wymierzony został kąt łuku: ostateczny wynik Maupertuis wynosił 57'30"; z obliczenia tego i z długości odcinka południka wynoszącej 55 023 toise otrzymano długość stopnia wynoszącą 57 437 toise. Wyniki te zostały ogłoszone w dziele Maupertuis *La Figure de la Terre Determinée par les Observations au Cercle Polaire*. Ten północny stopień był dłuższy o 377 toise od stopnia wymierzonego przez Picarda pomiędzy Paryżem i Amiens, co było silnym potwierdzeniem teorii Newtona i Huyghensa. Jednakże prace swe Maupertuis wykonywał w wielkim pośpiechu, nie były one tak dokładne jak pomiary przeprowadzone w Peru i wykazywały, że ziemia jest dużo więcej spłaszczona na biegunach, aniżeli to ma miejsce w rzeczywistości. Podkreślano, że Maupertuis mógł być łatwo zbłądzić w przeciwnym kierunku, lecz na szczęście nie miało to miejsca i po powrocie do Paryża w roku 1737 został on uroczystie powitany jako zwycięski bohater nauki.

Bezpośrednim rezultatem wyprawy do Laponii było zarządzenie nowych pomiarów we Francji; nowe pomiary południka paryskiego

² Według H. Heiskanen, *On the World Geodetic System*, Columbus, Ohio, 1954.

zostały nakazane na rok 1739, przy czym na początek stara baza Picarda została odrzucona i zamiast niej sporządzono pomiary innej, położonej w pobliżu. Stwierdzono, że pomiary bazy Picarda były błędne i że błąd ten spowodował pomyłkę przy obliczaniu długości jednego stopnia szerokości we Francji od pięćdziesięciu do sześćdziesięciu toise. Nowe pomiary wykazały słusznie, że najdalej na południe Francji położony stopień jest znacznie krótszy od najdalej na północ położonego i ostatnie wątpliwości odnośnie kształtu ziemi zostały w ten sposób usunięte, zanim jeszcze wyprawa peruwiańska zakończyła swe prace. Fakt ten nie pomniejsza bynajmniej znaczenia pracy tej grupy, gdyż ona pierwsza przeprowadziła swe prace geodezyjne na niższych szerokościach.

Przy ocenie naukowych osiągnięć francuskiej wyprawy podczas długich lat jej pobytu w Nowym Świecie badający jest od razu pod wielkim wrażeniem troskliwej staranności i pomysłowości francuskich uczonych. Wprawdzie osobista próżność i zadrość często stały na przeszkodzie wykonaniu prac, które były jej zlecone, lecz można wybaczyć te uchybienia natury czysto osobistej, mając na względzie wielki i pożyteczny wkład do nauki, jaki wnieśli francuscy uczeni przewyciężając liczne przeszkody.

Jedną z najważniejszych przeszkód, jaką francuscy akademicy musieli pokonać, była im bardzo mało znana. Brak im bowiem było wiadomości o takich zjawiskach jak aberacja światła i nutacja. To ostatnie zjawisko zostało odkryte dopiero w 1748 r. przez angielskiego astronoma Bradleya, ale akademicy mieli bardzo ograniczone pojęcie o aberacji i jej skutkach. Poprawka wprowadzona przez nich dla aberacji była błędna i to wyjaśnia częściowo kłopoty, jakie mieli z obliczeniami astronomicznymi.

Drugim źródłem błędów były przyrządy, w jakie zostali zaopatrzeni. Pierwszy sektor zenitalny, jakiego używali, o promieniu 12 stóp, był bardzo wadliwy i musiał być kilkakrotnie przerabiany. W końcu Bouguer polecił mechanikowi Hugo, zajmującemu się wykonywaniem przyrządów, zrobić nowy o promieniu 8 stóp, lecz jest wątpliwe, czy był on lepszy od poprzedniego. Trudności te zostały przewyciężone przez równoczesne robienie obserwacji i metoda ta zapewniła Bouguerowi i La Condamine osiągnięcie pomyślnych rezultatów. Dokładność ich obliczeń staje się widoczna, jeżeli porównamy ich wyniki z ogólnie przyjętymi wartościami. Średnia długość trzech

pierwszych stopni szerokości jest 110 611,2 m³, Bouguer otrzymał zaś wynik — 110 611,6 m; Juan i Ulloa 110 640,8 m; Godin 110 718,9 m.

Inne jeszcze źródło błędów w pracach wyprawy mieściło się w pierwszym okresie ich pracy — w pomiarach triangulacyjnych. Do prac tych akademicy posługiwali się ciężkimi mosiężnymi kwadrantami z teleskopowymi przeziernikami. Każdy uczoney miał swój kwadrant, lecz nie wszystkie one były jednakowych rozmiarów i tej samej dokładności; każdy musiał być wciąż sprawdzany i poprawiany. Nie były to przyrządy uniwersalne tak jak dzisiejsze teodolity i koła azymutowe; nie nadawały się do dokładnego określania astronomicznego położenia. Nie były one zaopatrzone w noniusze, zamiast nich trzeba było stosować starodawny sposób ołowianego wisiorka i linii. Kwadrant posiadany przez La Condamine o promieniu 3 stóp różnił się tym od pozostałych, że był zaopatrzony w mikrometr.

Ponieważ stacje dla pomiarów triangulacyjnych znajdowały się na różnych wysokościach, trzeba było wszystkie je sprowadzić do poziomu morza i w tym znajdowało się nowe źródło błędów, aczkolwiek nie miało ono wielkiego znaczenia. Porównanie pomiarów La Condamine z pomiarami Juana i Ulloa wykazuje, że trójkąty Francuza miały przeciętny błąd przy zamykaniu $\pm 3''$, podczas gdy błąd hiszpańskich oficerów wynosił 30—50'', a w jednym nawet trójkącie był on powyżej 3'. Biorąc pod uwagę przyrządy i technikę stosowane przez wyprawę należy uznać osiągnięte rezultaty za zupełnie dokładne.

Poza głównym zadaniem wyprawy członkowie jej wykonali wiele nowych i pożytecznych prac w dziedzinie fizyki i astronomii. W czasie częstych przerw, kiedy nie mogli wykonywać pomiarów geodezyjnych, zajmowali się oni różnymi doświadczeniami, pragnąc wykorzystać wyjątkowe położenie geograficzne.

Najważniejsze prawdopodobnie doświadczenia wykonane przez francuskich akademików dotyczyły newtonowskiego prawa przyciągania: była to pierwsza praca w zakresie izostazji. Doświadczenia te obmyślił Pierre Bouguer; prawdopodobnie już przed odjazdem z Francji rozważał on możliwość sprawdzenia newtonowskiego prawa przyciągania. W książce *La Figure de la Terre* pisze on, że góry w Europie są zbyt małe, ażeby wykazać siłę przyciągania, lecz że wielkie masy Kordylierów powinny dać spodziewany efekt. Przy-

³ Dane wzięte z *United States Coast and Geodetic Survey Special Publication* n. 241. Washington, D.C., 1949.

puszcza on, że jeżeli siła przyciągania opisana przez Newtona istnieje w rzeczywistości, to będzie mógł ją wyznaczyć swymi przyrządami.

Doświadczenia były przeprowadzone pod koniec 1738 r. przez Bouguera i La Condamine, początkowo przy pomocy Ulloa, wybraną zaś górą była wielka masa skalna znana pod nazwą Chimborazo. Położona ona jest na północny wschód od miasta Riobamba na szerokości południowej $1^{\circ}32'$. Metoda stosowana przez uczonych polegała na wymierzaniu wysokości niektórych gwiazd położonych na północ i na południe od stacji w pobliżu góry. Następnie pomiary wysokości tych samych gwiazd były wykonane z innego miejsca na tej samej szerokości w dużej odległości od góry. Bouguer spodziewał się, że te dwa układy pomiarów wykażą różne rezultaty, gdyż nitka z ołowiem oznaczająca wymiary kątowe w XVIII-wiecznych kwadrantach zostanie odchylona przez siłę przyciągającą górskiego masywu. Początkowe obliczenia wykazywały, że taki masyw górski jak Chimborazo powinien spowodować odchylenie nitki pionowej o około $1'43''$.

Uczeni rozpoczęli doświadczenia 4 grudnia 1738 r. w obozie położonym na południe od Chimborazo, na granicy linii śniegów. Obserwacje prowadzili przez 10 dni, po czym przenieśli się do nowego obozu w odległości 3 570 toise na zachód od pierwszego. Doświadczenia zakończyli 22 grudnia 1738 r., ale rezultaty zawiodły oczekiwania. Odchylenie nitki z ołowiem od pionu nie było takie, jak przewidywał Bouguer i akademicy zmuszeni byli przyznać, że popełniono wiele błędów. Bouguer podsumował wyniki doświadczeń oznajmiając, że rezultat nie wykazał nic, co by było sprzeczne z teorią grawitacji.

W XVIII stuleciu fizyka interesowała się również zagadnieniami pomiarów ciężkości przy pomocy wahadła na niskich szerokościach, przy czym można przypuszczać, że doświadczenia Richera w Cayenne w roku 1672 były czynnikiem pobudzającym peruwiańską wyprawę. Wszyscy uczeni należący do niej poczynili doświadczenia używając wahadeł różnego typu i przeprowadzając obserwacje w wielu różnych miejscowościach. Pierwsze tego rodzaju doświadczenia były zrobione w San Domingo, inne w Quito i na różnych wysokościach górskich w Kordylierach. Prace Bouguera były przypuszczalnie najważniejsze, był on w stanie ułożyć tablicę wykazującą działanie siły odśrodkowej na różnych szerokościach; wynik Bouguera dla przyspieszenia ziemskiego na równiku wynoszący $978,90 \text{ cm/sek}^2$ jest bardzo bliski obecnie przyjętej wartości $977,99 \text{ cm/sek}^2$.

Francuscy uczeni przeprowadzili w Peru i inne jeszcze doświadczenia; niektóre z nich nie posiadały większej wartości naukowej, in-

ne znów miały pewną wartość głównie jako pierwsze doświadczenia tego rodzaju przeprowadzone na niskich szerokościach i na dużych wysokościach; wszystkie one wykazują wielką pomysłowość Francuzów i ich zamiłowanie do nauk przyrodniczych. Wykonano wiele prób na rozciągliwość i kurczenie się metali i skonstruowano wiele ciekawych przyrządów dla przeprowadzenia badań. La Condamine próbował wymierzyć szybkość dźwięku na dużych wysokościach używając do tego celu armaty; wszyscy uczeni prowadzili dokładne zapisy temperatury i ciśnienia, a Bouguer wynalazł formułkę dla określenia wysokości gór tylko na podstawie barometrycznego ciśnienia. Nachylenie i odchylenie igły magnetycznej było mierzone w wielu miejscowościach, a doświadczenia astronomiczne dotyczyły takich zjawisk jak refrakcja i paralaksa. Sieczna toru słońca była dokładnie wymierzona, a dane o kometach i zaćmieniach były dokładnie notowane; jako dodatkową pracę uczeni oznaczali długość i szerokość geograficzną miejscowości, w których się zatrzymywali; w ten sposób powstały pierwsze dokładne kartograficzne pomiary Wicekrólestwa Peru. Aż do XX stulecia cała kartografia tego obszaru Ameryki Południowej opierała się na francuskich pomiarach południka Quito.

Nauki biologiczne nie pozostawały w zaniedbaniu w czasie pobytu wyprawy w Nowym Świecie, a botanik Joseph de Jussieu był jej członkiem. Polecono mu zbadanie flory i fauny hiszpańskiej Ameryki, opisanie ich i nadesłanie okazów, o ile to będzie możliwe. W szczególności miał on polecone odszukanie i zbadanie chinchona, czyli drzewa o korze przeciwgorączkowej, która od lat wielu była w Europie używana jako lekarstwo na różnego rodzaju gorączki. Aczkolwiek lekarstwo to miało już długą i skuteczną historię w medycynie, nie było jeszcze Europejczyka, który by opisał to drzewo w stanie naturalnym. Spodziewano się, że Jussieu zdobędzie dokładne wiadomości o tym drzewie i że uda się być może przesadzić je do jakiejś innej części świata i w ten sposób złamać hiszpański monopol. Zarówno La Condamine, jak i Jussieu zwiedzili las drzew chinchona w pobliżu miasta Loxa, a ten ostatni opisał dokładnie roślinę i naturalne warunki, w jakich wzrasta, udzielił również wiele informacji o historii stosowania jej kory jako lekarstwa, o sposobach zbioru i suszarniach Hiszpanów, aby handel ten uregulować. Sprawozdanie jego zarwane jest w referacie: *Descriptio Arborio Kinakina*.

Jussieu był niestrudzonym pracownikiem, wysiłki jego niestety napotykały na cały szereg trudności i niepowodzeń. Zebrał on dużą

kolekcję amerykańskich roślin i ich nasion i wiele zeszytów zapełnił studiami nad południowoamerykańską florą. Ani jednak przesyłka z roślinami i nasionami nie doszła jednak do Francji, a większa część pism Jussieu zaginęła. Wszystko, co ocalało z jego podróży do Peru, to fragmenty niektórych jego rękopisów, a mianowicie *Catalogus Plantarum Americanarum* i liczne szkice roślin i ptaków; należy go uważać za pierwszego systematycznego botanika Południowej Ameryki.

Dwóch innych członków wyprawy, La Condamine i Ulloa, wnieśli również swój wkład do poznania przyrody Ameryki. La Condamine w czasie swego pobytu w Quito ujrzał i zaznajomił się z substancją żywiczną, którą Indianie nazywali kauczukiem. Pochodziła ona z drzewa dziko rosnącego w Peru i innych krajach leżących nad rzeką Amazonką. Później, kiedy La Condamine dotarł do ujścia Amazonki, zobaczył, że Indianie w tych okolicach posługiwali się tym materiałem: była to guma. Uczony francuski był pierwszym Europejczykiem, który dał opis drzewa gumowego i przesłał próbki tego materiału botanikom w Europie. Przyczynił się on również do ogłoszenia ważnego referatu o gumie pióra francuskiego inżyniera z kolonii Cayenne. Opisy południowoamerykańskiej przyrody przez Ulloa zamieszczone są w jego książce *A Voyage to South America*.

Wyprawa 1735 r. zakończona została mniej więcej w dziesięć lat od jej rozpoczęcia. Akademyści rozstali się w 1743 r. i różnymi drogami podążyli do Francji. Bouguer wybrał drogę wzdłuż rzeki Magdalena, a La Condamine wędrował wzdłuż Amazonki. Godin pozostał w Peru jako profesor matematyki w Limie aż do roku 1751, po czym udał się do Hiszpanii na stanowisko dyrektora hiszpańskiej Akademii Morskiej. Ulloa i Juan pozostali w Południowej Ameryce do roku 1744. Pierwszy z nich został wzięty do niewoli przez Anglików w roku 1744 w twierdzy Louisburg w Ameryce Północnej. Zarówno on, jak i Juan osiągnęli następnie wysokie stanowiska w rządzie hiszpańskim. Jussieu przeżywał jedno niepowodzenie po drugim w Południowej Ameryce, został nawiedzony wielu chorobami fizycznymi i umysłowymi. Do Paryża powrócił dopiero w 1771 r. i nie odzyskał już nigdy pełni władz umysłowych.

Wyprawa 1735 r. musi być zaliczona do imponujących kamieni granicznych w historii nauki. Popełniła ona dużo błędów, była mało wydajna i źle prowadzona. Błędy te należy przypisać raczej brakowi doświadczenia wśród europejskich uczonych XVIII stulecia, aniżeli jakiegś innej przyczynie. Wielkość zamierzeń i znaczenie osiągnięć dla

nauki czynią z tej wyprawy właściwe zapoczątkowanie wspólnych międzynarodowych wysiłków naukowych, których częścią jest ostatni Międzynarodowy Rok Geofizyczny.

LITERATURA

I. Źródła archiwalne:

Bibliothèque Nationale: *Nouvelles Acquisitions Françaises* 6197, *Observations et Correspondances Astronomiques du XVII^e et XVIII^e Siecles*; 5151, *Papiers divers de l'Académie des Sciences du XVIII^e siècle*.

Muséum National d'Histoire Naturelle: 1111, *Voyage au Pérou, par Joseph de Jussieu*; 179, *Voyage de Joseph de Jussieu au Pérou, (1735—1771)*; 1625, *Journal de Voyage. Notes de Botanique (1735 et 1748)*.

L'Institut de France: 2118, *Papiers de Jules Maillard de La Gournerie, Histoire des Sciences*.

Observatoire de Paris: A.A 7.7, *Mémoires sur la Grandeur et la Figure de la Terre*; A. B. 5.7, *Manuscrits divers*; A.C 2.7, *Bouguer Expédition du Pérou*; C 28, *Bouguer, Papiers divers*.

Archives de l'Académie des Sciences: *Dossiers Bouguer, La Condamine, Godin, de Maupertuis*.

II. Publikacje:

„Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences“, w szczególności tomy od 1730 do 1750 r.

P. Bouguer, *La Figure de La Terre*. Paris, 1749.

J. Cassini, *De la Grandeur et de La Figure de La Terre*. Paris, 1720.

J. Juan, *Observaciones Astronomicas Y Phisicas Hechas de Orden de S. Mag. en Los Reynos Del Peru*. Madrid, 1748.

C. de La Condamine, *Journal du Voyage fait par Ordre du Roi à l'Equateur*. Paris, 175.

C. de la Condamine, *Mesure des Trois Premiers Degrés du Méridien dans l'Hémisphere Austral*. Paris, 1751.

C. de la Condamine, *Relation Abrégée d'un Voyage fait dans l'Intérieur de l'Amérique méridionale*. Maestricht, 1778.

A. de Ulloa, *A Voyage to South America*, (tłum. z hiszp.). London, 1760.

ФРАНЦУЗСКАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В 1735 Г.

В статье, являющейся изложением обширного труда, озаглавленного „Экспедиция Французской академии наук в Испанскую Америку 1735—1747“, освещается генезис, ход и результаты геодезической экспедиции

в Перу. Эта экспедиция была организована в связи с научным спором, возникшим в начале XVIII в. между несколькими крупными европейскими учеными на тему формы земного шара. Непосредственной причиной этой полемики явились измерения, проводившиеся при составлении карты Франции. В ходе осуществления этих измерений некоторые члены Академии наук поставили под сомнение общепринятую в то время теорию о том, что земля имеет форму сплющенного эллипсоида. Они утверждали, что земля имеет форму сфероида, удлинённого в направлении полюсов.

По единодушному мнению мировой научной общественности, этот спор мог быть разрешен путем проведения измерений по экватору. Это привело к организации экспедиции в Перу в 1735 г. В состав членов экспедиции кроме трех механиков и врача вошли четыре французских ученых и два испанских офицера (Перу являлось тогда испанским владением).

Помимо существовавших разногласий между французскими участниками экспедиции и отсутствия у них опыта, а также несмотря на различные препятствия другого характера (напр. незнание последствий аберации света, неточность измерительных инструментов, трудности, вызванные местными условиями, и т. п.) эта международная экспедиция добилась крупных успехов.

Результаты, полученные членами этой экспедиции, подтвердили положение о том, что земной шар имеет сплюснутую форму у полюсов. Неопровержимым доказательством этого был установленный членами экспедиции факт, что длина градусов широты увеличивается в направлении с юга к северу на северном полушарии.

Кроме того экспедицией был произведен ряд весьма ценных и важных опытов и исследований, касавшихся других отраслей науки, в частности ньютонового закона всемирного тяготения (это были первые научно-исследовательские работы по изостазии), а также ботаники (проведенные Жюсье исследования растительности Южной Америки и сделанное Кондемином описание каучуконосного дерева — гевеи).

THE FRENCH GEODETIC EXPEDITION IN 1735

This article is a summary of a bigger paper "The Expedition of the French Academy of Sciences to Spanish America 1735—1747". It tells the origin, the course and the effects of a geodetic expedition to Peru. This expedition was partly the effect of a scientific dispute that arose at the beginning of the XVIII century between some prominent European scientists as to the shape of the earth's globe. The direct cause of this dispute were measurements connected with the designing of a map of France. While it has been drawn some academicians have put in doubt the theory universally adopted at that time, namely that earth has the shape of a flattened ellipsoid. The opponents asserted that earth has the shape of a spheroid elongated toward the poles.

The world's scientific opinion was unanimous that this dispute may be settled only by measurements taken at the equator. This led to the organization of an expedition to Peru in 1735. Beside three mechanics and a physician it was composed of four French scientists and two Spanish officers. (Peru was at that time still a Spanish possession).

In spite of controversies existing between the French members of the expedition and a lack of experience on their part and other obstacles also (ignorance of the effects of light aberration, inaccuracy of measuring instruments, local difficulties) results of this first joint international expedition were of first class importance.

In first place the theory asserting the flattened shape of earth at the poles has been confirmed. It became obvious when members of the expedition ascertained that the length of latitudinal degrees gets bigger in the direction from south to north in the Northern Hemisphere.

In other domains of science also a number of important and useful experiments and research work was done; they were concerned with Newton's law of gravitation (these were the first scientific experiments in isostasy) and botanics (Jussieu investigation of the South American flora and a description of rubber tree by La Condamine).