

ubl. 594
g. 99.
STANISŁAW KRAMSZTYK

SZKICE PRZYRODNICZE

Z DZIEDZINY

FIZYKI, GEOFIZYKI I ASTRONOMII.

WYDANIE DRUGIE

ZNACZNIE POWIĘKSZONE I UZUPEŁNIONE.

ZBIÓR I



WARSZAWA
NAKŁADEM KSIĘGARNI NAUKOWEJ
1904.

SZKICE PRZYRODNICZE

SKŁAD PRYKRODOWY

STANISŁAW KRAMSZTYK

SZKICE PRZYRODNICZE

Z DZIEDZINY

FIZYKI, GEOFIZYKI I ASTRONOMII.

WYDANIE DRUGIE

ZNACZNIE POWIĘKSZONE I UZUPEŁNIONE.

ZBIÓR I

CZAS. — ZAGADKA WNETRZA ZIEMI. — HISTORIA GAZÓW. — PRZED
SKŁEPEM MECHANIKA.



36890

WARSZAWA
NAKŁADEM KSIĘGARNI NAUKOWEJ
1904.



Komputer



233837/1

Дозволено Цензурою

Варшава, 3 Октября 1904 года.



2-46/96

Przedmowa.

— Nie uwierzysz, mówił mi przyjaciel mój — nowelista, ile to pracy włożyć trzeba w obrobienie stylowe, jak namozolić się wypada nad wyglądzaniem języka.

— Rozumiem, wiem, sam się przecież staram. . .

— Och, tobie to wszystko jedno, rzeczy takich nikt nie czyta.

Nie mogę przeczytać przyjacielowi memu: pomimo to, dla tego może właśnie, przydatny będzie zbiorowy ten przedruk prac, zamieszczonych we „Wszechświecie”, w „Ateneum”, w „Bibliotece warszawskiej”, choćby jako protest przeciw zbyt wyłącznemu rozwieleniu się noweli i powieści w czytelnictwie naszym.

Umysłowe, duchowe nasze wymagania, podobnie jak i materialne, zaspokojenia potrzebują, a począwszy od pewnej miary dobrobytu i od pewnego stopnia wykształcenia dla jednostki, zarówno jak i dla społeczeństwa, znaczenia coraz większego nabierają. Śród tych potrzeb umysłowych wybitne miejsce zajmuje poznawanie otaczającego nas świata.

ta, badanie przyrody. Cywilizacja nasza przede-
wszystkiem na podstawie wiedzy przyrodniczej się opie-
ra, dzieje jednej i drugiej postępują równorzędnie
obok siebie. Kopernik otwiera zarówno przyrodo-
znawstwo nowoczesne, jak i nowożytny okres cywi-
lizacji. Pogląd nasz na świat w każdej epoce zale-
ży od społecznego stanu wiedzy przyrodniczej,
a w miarę jej rozwoju coraz ściślej się z nią jednoczy;
już dla tego względu znajomość zasad i rezultatów
nauk przyrodniczych jest niezbędnym warunkiem
ogólnego wykształcenia.

Dla ogółu wykształconego popularyzacja wie-
dzy przyrodniczej, niezależnie od materiału, jaki
przynosi, ma jeszcze to znaczenie, że umysł strawą
naukową odżywia. Troski i drobiazgi życia codzien-
nego coraz nas bardziej oddalają od czasów młodo-
ści naszej, coraz bardziej zrywają węzły z tym okre-
sem życia naszego, który nauce wyłącznie jest po-
święcony, — od tej dziedziny sprawy życia potocz-
nego coraz nas dalej usuwają. Ale i poeta, zdala od
zakątka domowego, choć mu lira z rąk wypada, śpie-
wać nie przestaje:

„By choć w swej piersi spróbować tchu,
Czy po dawnemu, świeży i czysty,
Stepowe wichru wygra poświsty“.

Życie z troskami swemi i drobiazgami podob-
nem jest wygnaniem, na którym obumiera zwolna
młodzieńcza jędrność umysłu i którą podtrzymywać
nam trzeba. Zadanie to spełnia najlepiej materiał,
jaki popularyzacja wiedzy przyrodniczej przynosi.

— Czy tylko to książka lekko pisana?

Jest to pytanie nieuniknione, — przywykliśmy
lekkość uważać za główną zaletę pisarza. Piszcie

lekko — mówią nam — ogół nasz nawykł do rzeczy
lekkich, potrzebuje czytania lekkiego. To rzecz tak
lekka — zaleca najlepiej wydawca swój nakład — że
ją w łóżku przed zaśnięciem czytam. Rzekłbyś, że
słyszysz ironiczną pochwałę:

„Jak ślicznie, lekko tańczysz pan“.

Książce popularnej lekkość nadać można dwie-
ma tylko drogami, — bądź pomijając wszelkie po-
ważniejsze sprawy nauki, bądź też traktując je w spo-
sób pobieżny jedynie.

Jeżeli wszakże książka odzwierciedlać ma po-
stęp nauki, która coraz głębiej w tajniki przyrody się
przedziera i nie unika dróg choćby najmózolniejszych,
nie można rzeczy prowadzić w sposób anegdotyczny
i poprzestawać wyłącznie na drobiazgach dla tego
tylko, że łatwiej je napisać i przeczytać.

Pobieżne znów traktowanie przedmiotu polega
na podawaniu gotowych rezultatów nauki z pominię-
ciem dróg, jakimi ona rezultaty te zdobywa, jakie-
mi do celów swych dąży. Są całe książki, głośnie
i chwalone nawet, które się w ten sposób z nauką
załatwiają. Możemy tam lekko przeczytać, że do
słońca tyle a tyle milionów mil, albo że światło czer-
wone jest objawem tyłu a tyłu trylionów drgań na
sekundę, ale nie poznamy zgoła metod, które nam
świadomość tę osiągnąć dozwoliły. Taka wszakże
znajomość rzeczy pozorna jest tylko; nie to bowiem,
co wiemy, ale jak wiemy, stanowi umysłową posia-
dłość naszą. Jeżeli nauki przyrodnicze, wskutek
wysokiego swego rozwoju, innym gałęziom wiedzy
przodują i za wzór im służą, to właśnie raczej dzięki

wyrobieniu swych metod, aniżeli osiągnięciem przez siebie rezultatom.

Nie za lekkością tedy ubiegać się ma popularyzacja wiedzy, starać się jej raczej o dostępność należy.

Rzecz popularna od wykładu ścisłego tem się przedewszystkiem różni, że winna mieć na uwadze czytelnika, dla którego przedmiot rozważany nowym jest zupełnie i obcym. Winna tedy wątek swój snuć od początku samego i od zasad najprostszych, a gdzie ich uniknąć nie zdoła, podsunąć winna wyjaśnienie. Wykład popularny ma być tylko tłumaczeniem, czy też przekształceniem kunsztownych form i mozolnego języka naukowego na mowę jasną i zrozumiałą dla wszystkich.

Dostępność więc osiąga się jedynie sposobem przedstawienia rzeczy, nie omijaniem trudności, ale ich pokonywaniem. Nie treścią swoją, ale formą różnić się tylko może nauka popularna od ścisłej, a przez tę formę swoją wiąże się ona z literaturą ogólną. Jest ona nauką i literaturą zarazem; jako nauka czerpać może swój materiał z badań umiędynych jedynie; jako literatura troszczyć się winna o sposób, w jaki swe myśli wypowiada.

Ton tylko popularności różny być musi; brzmień będzie inaczej w piśmie ludowem, aniżeli w książce, dla warstw wykształconych przeznaczonych. Na uwadze tu miałem czytelników, którym znane są już te pojęcia, co stały się udziałem życia zwykłego; te wyrazy, co weszły w skład mowy potocznej; te wreszcie zasady, które daje szkoła, choćby w zakresie najskromniejszym wiedzę przyrodniczą traktująca.

— A czy to ostatnie słowo nauki?

I na to pytanie czekałem. Ostatnie słowo nauki ma dla nas urok szczególny, stało się frazesem ulubionym; jest to ułuda, że najnowsze odkrycie i hipoteza najświeższa za umiejętność całą starczą, że wiedzę poprzednią strącają, jak rupiecie bezużyteczne.

Ułudę tę podsyca żywy ruch nauki dzisiejszej, szybki jej rozwój, zdobycze olśniewające; głównie wszakże źródło jej stąd płynie, że do oceny postępów wiedzy zbyt słabo miarę historyczną stosujemy. Na dzieje nauki uwagę niedostateczną zwracamy. Podręczniki nauki ujmują wszystek zasób wiedzy w całokształt uporządkowany, w systematycznie logicznie związany. Nadaje to nauce charakter dogmatyczny; utajają się przeobrażenia, jakim ona ulega, zapominamy, że podręczniki odsłaniają nam tylko obraz bieżącego stanu nauki.

Uderzający zwłaszcza przykład takiego dogmatyzmu pozornego, w którym zaciera się żywioł historyczny, daje nam matematyka elementarna. Nie dostrzegamy zgoła roboty, która gmach ten wzniosła: każdy szczegół jest w nim tak na właściwym miejscu osadzony, że wydaje się, jakby tam wybijał sam przez się, nie domyślamy się pracy, która go tam mozolnie wtłoczyła; nie przypuszczamy, że jest tu jeszcze miejsce na poglądy rozleglejsze lub odmienne. że w innem oświeceniu całość inaczej przedstawiać się może. — Nie tak wybitnie jak w matematyce początkowej, ale w pewnej, mniejszej lub większej mierze błąd ten rodzą i usystematyzowane wykłady innych działów wiedzy. Oswajamy się z bieżącym stanem nauki i przyswajamy go

sobie, wydaje się nam ostatniem słowem nauki; zapominamy, że każdochwilowy stan wiedzy rezultatem jest tylko prac ubiegłych, podstawą badań dalszych. Wiemy aż nadto dobrze, jak opornie ustępują teorie dawne; nowe poglądy utrwalają się w nowem dopiero pokoleniu, by dalej znów innym miejsca swego ustąpić.

Gdy błyskawica nagle pomroki ciemnej nocy rozjaśnia, toczący się wóz nieruchomym się nam wydaje; aby bieg kół dojrzeć, trzeba oświecenia trwałego. W blasku iskry elektrycznej bieżącej chwili nauka przedstawia się jak posąg wykończony; w pełnem oświeceniu historycznem poznajemy ją jako organizm żyjący, na tle dziejowem ujawnia się w niej żywioł zmienności.

Jest linja krzywa, spiralną logarytmiczną zwana, która się w skrętach niezliczonych wije dokoła punktu, opasuje go coraz gęściej, zbliża się doń ustawicznie, ale osiągnąć go nigdy nie zdoła. Taki jest los nauki, — ostatnie jej słowo na niedościgłym miejscu się punkcie.

I luźne więc te kartki, z całości wiedzy wydarte, pełne są badań nieukończonych, pytań nierozstrzygniętych. Jak we wszelkich sprawach życia, tak i w nauce dążeniem tylko do celu, nie zaś osiągnięciem celu zadowalać się nam przychodzi. Jest to rezygnacja, którą wyraził już Seneka, gdy rozwikłać się starał zagadkę komet:

„Nadejdzie czas, gdy to, co teraz jest utajone, długich wieków pilność na jaw wydobędzie... Nadejdzie czas, gdy potomkowie nasidziwić się będą, żeśmy rzeczy tak jasnych nie znali“.

Słowa te służą nam dziś, jak przed dwoma tysiącami lat. Powtarzać je będzie i przyszłość daleka.

Jakkolwiek wydanie pierwsze dawno się już wyczerpało, o powtórzeniu go nie myślałem; skłoniło mnie do tego żądanie „Księgarni naukowej“. Zapotrzebowanie książek przyrodniczych jest wprawdzie u nas słabe, ale produkcja ich, widocznie, słabsza jest jeszcze. Może więc i to wydanie drugie chętnych znajdzie czytelników.

Z biegiem jednak czasu przybyły szkice nowe i materiał powiększył się tak dalece, że trzeba go było na kilka oddzielnych zbiorów rozłożyć. Gdzie zachodziła tego potrzeba, dodane zostały uzupełnienia, by rzecz była zgodna z bieżącym stanem badań.

C Z A S.

... . W łonie słowa

Razem ze światem poczęty,

Jestem ja, czas, niepojęty . . .

Niepojęty dla poety, niepojęty jest i dla przyrodnika. Przyrodnik wszakże tem się nie kłopotuje i usuwa zupełnie potrzebę definicji; o określenie czasu zgoła się nie troszczy, — pozostawił ten móż filozofom. Szczęśliwe złudzenie, czy rozumne zaparcie. Chłodniejszy niż poeta, znosi spokojnie okowy, które mu przyroda nałożyła, i rozerwać się ich nie sili; skromniejszy niż filozof, nie wybiega poza kresy, do których mu drogę zmysły utorować mogą. Co jest czas, nie pyta; pociąga go tylko w zakres swych rozważań, ocenia, wynajduje przyrzady do jego mierzenia, oblicza przeszłość ziemi, stara się przeszłość świata odcyfrować. Z tak rozległego obszaru, rozrzuconego po całej dziedzinie badań przyrodniczych, wydobyć tu pragniemy kilka luźnych ustępów.

I.

Świadomość upływającego czasu budzą w umyśle naszym tylko zmiany wokoło nas i wewnątrz nas zachodzące, stosunki między rzeczami istniejące. W przestrzeni, wypełnionej materją jednorodną i niezmienną, pojęcie nasze czasu nie miałoby żadnego znaczenia; jest ono bowiem abstraktem tylko, oderwaniem dostrzeżeń naszych i doświadczeń. Dla tego też mówić nie możemy o czasie bezwzględny, czyli niezależnym od wszelkiej zmiany.

Newton wprowadzie w uwadze, która następuje bezpośrednio po określeniach podanych na początku wielkich jego „Principjów“, wyróżnia czas bezwzględny i względny, podobnie jak mówi o bezzwzględnej i względnej przestrzeni. „Czas bezwzględny, prawdziwy i matematyczny, płynie sam przez się i dla natury swej jednostajnie i niezależnie od jakiegokolwiek przedmiotu zewnętrznego; można go również oznaczać nazwą trwania. Czas względny, pozorny i zwykły, jest dotykalną i zewnętrzną miarą trwania, którą się posługujemy zamiast czasu prawdziwego, jak godzina, dzień, miesiąc, rok“. Mach wszakże w swej „Historji mechaniki“ sądzi, że Newton okazał się tu niewiernym swemu założeniu rozpatrywania rzeczywistości tylko. Czas ten bezwzględny bowiem nie ma żadnej wartości praktycznej ani naukowej; nikt twierdzić nie może, by o nim cokolwiek wiedział, jest to przeto częste wyobrażenie metafizyczne.

Pojęcie czasu osiągamy, zestawiając treść naszych wspomnień, zasób dostrzeżeń, w pamięci naszej zawartych, z wrażeniami, jakie nam ustawicznie świat zewnętrzny przynosi. Wszelkie wyobrażenia zatem nasze o czasie odpowiadają przebiegowi zjawisk

w przyrodzie. „Jeżeli twierdzimy, mówi Mach, że czas upływa w określonym kierunku, to znaczy, że objawy fizyczne, a zatem i fizjologiczne, dokonywają się tylko w pewnym oznaczonym kierunku. Wszystkie różnice stanu temperatury lub elektryczności, wogóle wszystkie różnice poziomów, same sobie pozostawione, nie stają się większemi, ale mniejszemi. Gdy rozpatrujemy dwa stykające się ciała niejednakowej temperatury, zbiegać się mogą jedynie większe różnice tej temperatury w obszarze naszych wspomnień z różnicami mniejszemi w obszarze naszych dostrzeżeń. W tem wszystkim ujawnia się jedynie właściwy, głęboko sięgający związek rzeczy“. Według tego zatem, dla tego tylko nie pojmujemy cofania się czasu, że rzeka wstecz nie płynie, że piec rozgrzany sam przez się nie rozpala się wyżej, że my sami starzejemy się, a nie odmładzamy. Dla tego tylko, że ogół zjawisk w przyrodzie odwrócić się nie dozwala, wydaje się nam i czas nieodwracalnym, chwila upłyniona niepowrotną. Wyobrażenia nasze wychylać się nie mogą poza szranki przyrody, a pojęcie czasu jest wyrazem zmian w niej zachodzących. Gdzie panuje nieruchomość zupełna, tam o czasie mowy być nie może.

Dla tego też, jako czynnik naukowy, czas wtedy dopiero mógł wystąpić, gdy ruch stał się przedmiotem badań. Wszystko, co starożytni z mechaniki wiedzieli, tyczyło się jedynie statyki, której ścisłe podstawy dał Archimedes. Skąpe wiadomości o ruchu w fizyce Arystotelesa są wręcz błędne; według niej ciała ciężkie opadają na dół dla tego, że szukają miejsca swego, które właśnie u dołu przypada, co też uzasadnia pozorne dostrzeżenie, że ciała cięższe

spadają prędzej aniżeli lżejsze. Dynamika jest nauką zupełnie nowożytną, rozpoczyna się od badań Galileusza nad spadkiem ciał. W poszukiwaniach tych wybija się duch nauki nowożytnej, który usuwa na plan dalszy pytanie, dla czego ciała spadają, a przede wszystkim usiłuje wykryć, jak ciała spadają, poszukuje praw spadku. Prawa te obejmują zależność, jaka zachodzi między drogą przez ciało spadające przebytą a czasem, na przebycie tej drogi łożonym, zarówno jak zależność między czasem a osiąganą w każdej chwili prędkością. Uchwycenie tych związków (1638 r.) stanowi z różnych względów jedną z najważniejszych w dziejach nauki epok; odkrycia Galileusza otwierają nowożytny okres przynajmniej mechaniki i fizyki, jeżeli dzieje nowożytne przyrodzownictwa w ogólności odnieść zechcemy do Kopernika.

Prawa wykryte przez Galileusza uczą, że prędkości nabyte przez ciała swobodnie spadające rosną jak czasy, drogi zaś przez nie przebyte jak kwadraty z czasów; co znaczy, że gdy ciało spada przez czas dwa, trzy, cztery razy dłuższy, osiąga prędkość również dwa, trzy, cztery razy większą, przebywa zaś drogę cztery, dziewięć, szesnaście razy dłuższą. W tak wyrażonych prawach Galileusza po raz pierwszy występuje czas jako czynnik zasadniczy w mechanice i fizyce, z którym one odtąd liczyć się mają bezustannie, na którym opierać mają ocenę wszelkich swych wielkości, jakie w miarę rozwoju nauki coraz się więcej mnożą i coraz ściślej nabierają znaczenia. Wszystkie bowiem objawy, których badanie stanowi przedmiot fizyki i wspartych na niej gałęzi wiedzy przyrodniczej, są objawami ruchu, wyjaśnienie zaś

ruchu wymaga ujęcia związku między masą, drogą i czasem. Są to pojęcia zasadnicze, do których sprowadzają się wszelkie ściśle rozważania w fizyce. Jednostki zatem, przyjęte dla oceny tych trzech wielkości, są to jednostki podstawowe, zasadnicze; z nich zaś budują się jednostki dalsze, złożone, pochodne, które nam służą do wyrażenia wszelkich innych, jakkolwiek złożonych i zawitych wielkości. Im widoczniejszą i lepiej rozumianą stawała się wzajemna zależność sił przyrody, tem konieczniejszą okazywała się potrzeba jednolitego układu miar, aż wreszcie, po wielu mitręgach, do ostatecznego wprowadzenia go zagnęli bujny rozrost badań i zastosowań elektrycznych. W układzie tym miar, dla którego przyjęto nazwę absolutnego czyli bezwzględnego, nadaną przez Gaussa, jednostką masy jest gram, jednostką długości centymetr, jednostką czasu sekunda, a wszystkie wielkości mechaniczne i fizyczne wyrażają się i oceniają za pośrednictwem tych jednostek niezależnych. Postęp nauki znamionuje się dokładnością, z jaką wyrażać i oceniać umie rozpatrywane przez siebie wielkości: czas, wchodząc w skład pojęć i jednostek zasadniczych, stał się niezbędnym czynnikiem należytych określeń i ścisłych oznaczeń w nauce, a za jej pośrednictwem i w technice.

W badaniach Galileusza nad związkiem, jaki zachodzi między drogą i prędkością ciał spadających a czasem na spadek ten łożonym, tkwi też zaród innego jeszcze szeregu rozważań, początek głębokich pomysłów, które złożyły się w matematykę wyższą, ten najdzielniejszy środek, jakim umysł ludzki rozporządza. Pierwotne mianowicie pojęcie prędkości, jakie istniało w czasach przedgalileuszowych, jest

bardzo proste, jest to bowiem droga przebyta przez ciało w ciągu pewnej jednostki czasu. Pociąg kolei żelaznej, który przez dziesięć minut ujeżdża 9 kilometrów, pędzi z szybkością 900 metrów na minutę, albo 15 metrów na sekundę; prędkość zatem oznacza się stosunkiem drogi do czasu: $v = \frac{s}{t}$. Rozumienie

wszakże takie służyć może tylko, gdy pociąg zdaleka od stacji posuwa się z chyżością jednostajną; rzecz przedstawia się trudniejszą daleko do ujęcia, jeżeli rozważamy bieg pociągu wtedy, gdy ze stacji wyrusza lub do następnej dobiega; wtedy bowiem sunie on coraz prędzej lub coraz wolniej, z szybkością zatem zmienną. Nie możemy już wtedy mówić o prędkości w ciągu minuty lub sekundy, jest ona bowiem inna w każdej, by najdrobniejszej chwili. Należy przeto brać tu pod uwagę jedynie niesłychanie drobny przeciąg czasu, maleńki jego przyrost Δt , i podobnie niesłychanie drobną cząstkę, drobny element drogi Δs , w tym czasie przez ciało przebyty, a według określenia powyższego prędkość w tym nikłym przeciągu czasu wyrazi się stosunkiem $\frac{\Delta s}{\Delta t}$. Ale i to wyobrażenie dostateczne jeszcze

nie jest, nie stanowi to bowiem jeszcze prędkości w danej chwili, o którą tu właśnie idzie. Przyjął tedy dalej należy, że w powyższym stosunku oba wyrazy, element czasu i odpowiadający mu element drogi, maleją coraz bardziej, zmniejszają się nieograniczenie, schodzą do zera; nie znaczy to wszakże, aby z zanikaniem obu tych wielkości zmierzały do zera i sam ich stosunek. Dąży on owszem do pewnej oznaczonej granicy, do pewnej wartości, która właś-

nie stanowi prędkość w danej chwili i którą oznaczamy przez $\frac{ds}{dt}$. Nowe to pojęcie zawiera w sobie

pierwotne określenie prędkości w ruchu jednostajnym, gdy jednak w tym ostatnim ruchu prędkość czyli wielkość $\frac{ds}{dt}$ jest zawsze stała, przedstawia ona w biegu zmiennym wartość coraz inną.

Zmiana, jakiej prędkość ulega, stanowi jej przyspieszenie. Przyspieszenie to znów może być bądź statecznie jednakie, jak to ma miejsce w biegu pociągu wyruszającego ze stacji lub w spadku ciał zbiegających ku ziemi, bądź też wciąż zmiennie, jak przy kołysaniu się wahadła. Względnie tedy do czasu zależność między prędkością a przyspieszeniem jest takąż sama, jak w poprzednim rozważaniu zależność między drogą a prędkością, czyli że przyspieszenie φ w każdej chwili wyraża się przez podobny stosunek graniczny: $\varphi = \frac{dv}{dt}$. W najprostszych słowach

stosunek ten oznacza przyrost, jakiego doznaje w każdej chwili prędkość ciała; łatwo więc pojmujemy, że jest on w biegu jednostajnym równy zeru, w jednostajnie zaś przyspieszonym ruchu ciał spadających ma wartość zawsze stałą.

W słownictwie matematycznym graniczne te stosunki mają nazwę ustaloną; mówimy, że prędkość jest pochodną drogi, tak jak przyspieszenie pochodną prędkości, a zatem drugą pochodną drogi. Wielkości te tak są ze sobą związane, że skoro znamy prawo, wedle którego ciało drogę swą przebywa, możemy przez „różniczkowanie“ wyprowadzić jego prędkość i przyspieszenie w każdej chwili, jak znów zna-

jomość przyspieszenia dozwoli nam przez „całkowanie“ wysnuć prędkość i drogę przebytą przez ciało w danym czasie. Rozważania te wszakże nie ograniczają się bynajmniej do pojęć mechanicznych, ale w podobny sposób rozprzestrzeniają się do wszelkich zmiennych, które wymierzać możemy, i stanowią ogólne tło zasadnicze, na jakim rozpościera się cała wyższa analiza matematyczna.

Dodać należy, że tak rozległe rozwinięcie, a zwłaszcza sformułowanie tych pojęć zawdzięczamy dopiero Newtonowi i Leibnizowi; nastąpiło to zatem znacznie później po Galileuszu, niemniej jednak pierwsze źródło tych odkryć tkwi już w badaniach jego nad prędkością i przyspieszeniem ciał spadających. Nieprzerwany bowiem i jednostajny bieg czasu najłatwiej pozwala uchwycić owe stosunki graniczne, a następnie wyobrażenia te rozciągnąć i do innych kategorii wielkości. W nazwie fluksji, użytej przez Newtona do oznaczenia owych stosunków, dla których przyjmuje się obecnie nazwę pochodnych, zdradza się wyraźnie pierwotny wywód tych pojęć z biegu, z płynięcia czasu.

W pojęciu przyspieszenia, które Galileusz do nauki wprowadził, mieści się zarazem i dokładniejsze rozumienie siły, jako przyczyny wywołującej ruch, a zarazem możność jej oceny. W biegu ciał spadających, zatem w ruchu pod wpływem ziemi zachodzącym, przyspieszenie to wynosi dziesięć (dokładniej 9,8) metrów na sekundę. Gdyby przyciąganie ziemi działało silniej, ciała biegłyby prędzej; gdyby było słabsze, ruch ten byłby wolniejszy; przyspieszenie zatem, jakie rzeczywiście nadaje ziemia biegnącym ku niej ciałom, stanowi istotną miarę jej przyciąga-

nia. Taż sama uwaga tyczy się wszelkich innych sił, w ogólności zatem siły i działania ich rozumieć, oceniać i porównywać między sobą możemy jedynie w związku z czasem, od niego bowiem zależą bezpośrednio pojęcia prędkości i przyspieszenia.

Przytoczone tu przykłady starczą, by wskazać, jak zasadnicze znaczenie przedstawia czas w badaniu przyrody i w najdonioślejszych rozważaniach naukowych.

II.

Od tych wywodów teoretycznych zstępując do względów praktycznych, spotykamy się z kwestją rachuby czasu. Z samej natury rzeczy wynika, że przy pomiarach czasu mniej, aniżeli przy mierzeniu jakichkolwiek innych wielkości, posługiwać się możemy jednostkami dowolnymi; przez następstwo bowiem dni i nocy oraz przez kolejny przebieg pór roku, czyli przez objawy podwójnego ruchu ziemi, przyroda tak potężnie oddziałuje na wszelkie sprawy nasze, że okresy te, dobę i rok, narzuca nam jako naturalne jednostki czasu. Konieczność ustalenia dogodnej i pewnej rachuby czasu była już w zamierzchłej starożytności główną podniętą do rozpatrywania zawiłych ruchów ciał niebieskich.

Pozorny obrót sklepienia niebieskiego, wschód i zachód rozrzuconych w przestrzeni brył niebieskich, jest odzwierciedleniem obrotu ziemi dookoła jej osi. W drodze swej od wschodu do zachodu każda gwiazda wznosi się raz na dobę najwyżej nad poziom, przechodząc przez południk danego miejsca; dwa kolejne zatem przejścia jednej i tej samej gwiazdy przez

południk znaczą czas obrotu ziemi i obejmują dzień gwiazdowy czyli astronomiczny. Należałoby tu wprawdzie mówić nie o dniu ale o dobie, pożyteczny ten wszakże wyraz nie przedarł się z mowy potocznej do naszego słownictwa naukowego, zapewne dla tego tylko, że oprócz dawnych Greków (*νοχθήμερον*) i dzisiejszych Holendrów (*etmaal*) nie mają inne narody zachodnie w swych językach terminu na oznaczenie dnia i nocy zarazem; ze szkodą więc dla ścisłości wyrażenia i z ujmą dla bogactwa języka przywykliśmy mówić o dniu w znaczeniu doby.

Rachuba wszakże czasu według dni gwiazdowych, wystarczająca zupełnie dla astronoma, byłaby zbyt niedogodna w życiu praktycznem, które zostaje w zależności od biegu gwiazdy dziennej, od słońca. Słońce zaś w ciągu roku ulega (pozornemu wskutek rzeczywistego ruchu ziemi) ruchowi na wschód; przeciąg zatem czasu, jaki upływa między dwoma kolejnymi przejściami słońca przez południk, musi być nieco większy, aniżeli między dwoma przejściami gwiazdy stałej, innemi słowy — dzień słoneczny jest dłuższy od gwiazdowego. W ciągu roku słońce kończy pełną swą drogę między gwiazdami, gwiazda zatem stała w zestawieniu ze słońcem zyskuje w ciągu tego czasu jeden obieg dookoła ziemi, skąd wynika, że dzień słoneczny dłuższy jest od gwiazdowego w stosunku $366\frac{1}{4}$ do $365\frac{1}{4}$; jeżeli pewnego dnia słońce przechodzi przez południk danego miejsca wraz z pewną gwiazdą, to dnia następnego opóźnia się względem niej o 4 minuty blisko (3 m. 57 sek.) czasu gwiazdowego.

I „prawdziwy“ wszakże czas słoneczny żleby nam służył w życiu zwyczajnem, roczny bowiem ruch

słońca zgola nie jest jednostajny, a to z dwu powodów. Powód jeden stanowi eliptyczność drogi ziemskiej, skąd prędkość kątowna ziemi, a tem samem i pozorna prędkość słońca jest zmienna: największa w grudniu, gdy ziemia najbliżej jest słońca, najpowszechniejsza w czerwcu, gdy odległość ziemi od słońca jest najznaczniejsza. Ważniejszy jeszcze jest powód drugi, polegający na tem, że słońce posuwa się nie po równiku ani po równoleżniku, ale po drodze względem równika pochylonej, po ekliptyce.

Gdyby więc zegary nasze regulowane były według prawdziwego biegu słońca, musiałyby w pewnych porach roku biedz prędzej, w innych wolniej trzebaby zatem poświęcić największą ich zaletę, to jest ich chód jednostajny. Korzystniej wypadło tedy odstąpić od rachuby czasu według słońca prawdziwego i za podstawę jej przyjąć pewne słońce hypotetyczne, słońce „średnie“, które obiega roczną swą drogę po równiku i zupełnie jednostajnie, już to wyprzedzając słońce rzeczywiste, już pozostając za niem w tyle. Prędkość więc, z jaką się to słońce posuwa, jest wielkością średnią ze wszystkich w ciągu roku prędkości słońca prawdziwego. Południe średnie przypada, gdy przez południk miejsca przechodzi to słońce średnie, a czas upływający między dwoma kolejnymi jego przejściami stanowi „dzień słoneczny średni“. Zegary słoneczne dają nam czas prawdziwy, ale właściwe nasze zegary wskazują czas średni, który od prawdziwego w różnych porach roku rozmaicie odstępować może, a najwięcej o 16 minut; aby zatem z obserwacji czasu prawdziwego przejść do średniego, należy znać przypadającą na dzień każdy poprawkę, czyli tak zwane równanie czasu, które

cztery razy do roku, 15 kwietnia, 14 czerwca, 31 sierpnia i 24 grudnia, schodzi do zera. W tych przeto tylko czterech dniach można zegarki swe nastawiać według zegarów słonecznych, czas bowiem średni zbiega się wtedy z prawdziwym. Natomiast, 11 lutego, w chwili południa prawdziwego zegary wskazywać winny blisko kwadrans na pierwszą (właściwie 14 min. 34 sek. po dwunastej), a znów 2 listopada, również w chwili południa prawdziwego, niespełna jeszcze trzy kwadransy na dwunastą (właściwie brak do południa 16 min. 18 sek.). — Południe zatem naszych zegarów, regulujące podział dziennych naszych zajęć, przyspiesza się lub opóźnia w ciągu roku względem istotnego biegu słońca, co nie uchodzi pobieżnej nawet uwadze ogółu, przeciąg bowiem czasu od wschodu słońca aż do południa dłuższy być może albo krótszy, aniżeli przeciąg czasu od południa aż do zachodu słońca. Zagadka ta tem się poprostu tłumaczy, że wschód i zachód według rzeczywistego dostrzegamy słońca, południe zaś oznaczamy według naszych zegarów, według słońca urojonego. Gdybyśmy południe rozumieli jako przejście słońca prawdziwego przez południk, nie byłoby żadnej różnicy między przedpołudniowym a popołudniowym okresem dnia; południe wszakże naszych zegarów, według których bieg czasu oceniamy, przypadać może już to bliżej wschodu aniżeli zachodu, już bliżej zachodu aniżeli wschodu słońca, a różnica dochodzić może aż do półgodziny. W lutym, jak to widzimy z liczb przytoczonych, okres popołudniowy jest o pół godziny krótszy, w listopadzie o pół godziny dłuższy aniżeli okres popołudniowy. Dla tego to słyszymy o rankach dłuższych niż wieczory, lub o wieczorach dłuż-

szych niż ranki; gdybyśmy wszakże czas mierzyli według zegarów słonecznych, różnica taka nie miałaby miejsca, — ranki i wieczory byłyby zawsze równe.

Podobnież naturalną jednostką czasu, jak dzień, jest i rok, to jest przeciąg czasu, jakiego potrzebuje ziemia do odbycia drogi swej około słońca. Rzeczywisty ten ruch ziemi jest również dla nas niedostrzegalny i wybija się tylko w pozornym biegu słońca: rok przeto pojmować możemy jako przeciąg czasu, jaki łoży słońce na ukończenie pozornej swej drogi wśród gwiazd. Gdyby gwiazdy widzialne były za dnia, jakby to miało miejsce w braku atmosfery, bieg słońca wśród gwiazd moglibyśmy dostrzedz równie łatwo jak przesuwanie się księżyca, które się bezpośrednio uwadze naszej następuje; skoro jednak gwiazdy gasną w blasku słońca, rozpoznanie jego drogi wymaga obserwacji nieco bacniejszej. W początkach wiosny tuż po zachodzie słońca zbliża się za nim do poziomu Aldebaran, gwiazda pierwszej wielkości z konstelacji Byka, dająca się łatwo po czerwonym swym świetle rozpoznać; słońce więc przypada w tej epoce na niebie nieco na zachód względem Aldebarana. W ciągu następnych jednak tygodni słońce zachodzi coraz później, przesuwając się zatem ku wschodowi, przystępuje coraz bliżej do Aldebarana, aż wreszcie zachodzi z nim razem i gwiazda przestaje być dla nas widzialną. W dalszym swym biegu słońce oddala się coraz bardziej na wschód od wspomnianej gwiazdy, aż po kołowej swej drodze znów zbliży się do niej od zachodu i znajdzie się w tem samym względem niej położeniu, jakieśmy pierwotnie uważali. Przeciąg ten czasu właśnie, po jakim słońce wraca do tejże samej gwiazdy stałej,

wskazuje nam czas obiegu ziemi około słońca i nazywa się „rokiem gwiazdowym“.

W drodze tej po wielkim okręgu niebieskim bawi słońce przez jedno półrocze na półkuli nieba północnej, przez drugie na południowej; dwukrotnie zatem w ciągu roku przekracza równik niebieski w tak zwanych punktach równonocnych, znacząc tem chwile początku wiosny i jesieni. Przez zestawienie własnych swych obserwacji z dostrzeżeniami dawniejszych astronomów poznał już Hipparch, największy z astronomów starożytnych, w drugim wieku przed Chr., że gwiazdy na wschód względem punktu wiosennego położone wciąż się od niego oddalają, a natomiast gwiazdy na zachód położone ku niemu się zbliżają. Wniósł tedy, że punkt równonocny wiosenny, a przeto też i punkt równonocny jesienny, przesuwają się zwolna ku zachodowi, w ciągu stulecia o 1° przynajmniej. Astronomowie późniejsi oznaczyli dokładnie, że wielkość tej „precesji“ czyli „poprzedzania punktów równonocnych“ czyni $50,2''$ rocznie, czyli 1° na lat 70; na wytłomaczenie wszakże osobliwej tej zmiany przyszło czekać dwa tysiące lat blisko. Newton bowiem dopiero wykazał, że jest ona także odzwierciedleniem pewnego powolnego ruchu samej ziemi, wywoływanego przez przyciąganie słońca i księżyca na równikowe jej nabrzmienie.

Precesja wiąże się oczywiście bezpośrednio z kwestją długości roku, skutkiem niej bowiem obieg roczny słońca wśród gwiazd nie odpowiada zupełnie ściśle powrotowi pół roku, które zależą przecież od stanowiska słońca względem ziemi, a nie od położenia jego między gwiazdami. Początek wiosny ma miejsce dla półkuli północnej, gdy słońce w drodze ku północy

krzyżuje równik w punkcie równonocnym wiosennym; jeżeli więc, wyszedłszy z tego punktu, po okrążeniu nieba do niego wraca, napotyka go wcześniej aniżeli gwiazdę, od której się przed rokiem oddaliło, punkt ten bowiem posuwa się naprzeciw słońca o łuk wynoszący $50,2''$. Różnica ta w ciągu jednego roku jest nieznaczna, na przebieżenie bowiem tej drogi słońce potrzebuje około 20 minut zaledwie, z biegiem jednak wieków różnica ta narasta i po upływie tysiącolecia wynosi już prawie dni czternaście. Od określonego wyżej roku gwiazdowego odróżnić tedy trzeba „rok zwrotnikowy“, zatem czas, jakiego słońce potrzebuje do powrotu do tegoż samego punktu równonocnego, a że od tego roku zwrotnikowego właśnie zależy powrót pół roku, musi on być przyjęty za podstawę rachuby czasu w życiu zwyczajnem; z tego więc względu należało go ocenić ze wszelką dokładnością, jaką można było osiągnąć jedynie z długoletnich dostrzeżeń. Obecnie długość roku zwrotnikowego wynosi 365,242217 średnich dni słonecznych, czyli 365 dni, 5 godzin, 48 minut, 47 sekund; mówimy—obecnie, gdyż długość roku zwrotnikowego ulega drobnej zmianie, maleje bowiem w ciągu wieku o 0,595 sekundy. Ubytek ten nie jest wszakże stateczny, a poupływie kilku stuleci przejdzie znów w drobny przyrost. W ogóle chwiejność ta roku zwrotnikowego nie przekracza 19 sekund wyżej lub niżej średniej jego wartości, która przypada na rok 2270 i wynosi 365 dni, 5 godzin, 48 minut, 45 sekund.

Pomiędzy dniem a rokiem, jako trzecia naturalna jednostka czasu, staje miesiąc, obejmujący w pierwotnym znaczeniu czas obiegu księżyca naokoło ziemi wraz z osobliwymi odmianami, jakie od obiegu

tego zależą. Istotny czas obiegu księżyca dokoła ziemi, czyli przeciąg czasu, jakiego on potrzebuje, aby wrócił do tejże samej gwiazdy, wynosi 27 dni i 8 godzin; jeżeli wszakże w pewnej chwili ma miejsce oznaczona odmiana księżyca, nów, dajmy, lub pełnia, to po upływie tych $27\frac{1}{2}$ dni taż sama odmiana jeszcze nie wraca; postać bowiem, w jakiej nam się księżyc przedstawia, zależy od stanowiska jego względem słońca, a w ciągu powyższego czasu słońce także posunęło się ku wschodowi, i to o taką mianowicie drogę, że księżyc potrzebuje jeszcze przeszło dwa dni za nim pędzić, by się nam w poprzedniej swej fazie ukazał. Uwagę człowieka przykuwa wszakże właśnie następstwo odmian księżyca, dla tego jednostką miary czasu stać się nie mógł czas obiegu księżyca dokoła ziemi, czyli „miesiąc gwiazdowy” (syderyczny), ale „miesiąc synodyczny”, t. j. przeciąg czasu upływający między jednym a następnym nowiem, zatem czas, po jakim księżyc wraca do poprzedniego swego względem słońca stanowiska, co wynosi 29 dni i 13 godzin. Obieg księżyca jednak tak mało wiąże się z objawami przyrody ziemskiej i z losami człowieka, że chyba tylko w praktykach religijnych szukać trzeba przyczyny, dla której u wielu narodów rachuba czasu oparła się na biegu księżyca.

III.

Gdyby rok zwrotnikowy składał się z całkowitej liczby dni, nie byłoby kłopotu z urządzeniem kalendarza; obejmuje on wszakże niespełna $365\frac{1}{4}$ dnia, a do tej wielkości brak mu tylko 11 minut i 15 sekund. Bezpośrednio tedy posługiwać nie może w stosunkach

życia zwyczajnego, gdybyśmy bowiem zachowali $365\frac{1}{4}$ dnia, to rok, któryby się rozpoczął o północy, skończyłby się o godzinie szóstej rano, a w ciągu roku następnego początek każdego dnia liczyłoby należało od godziny szóstej, tak jak w ciągu roku dalszego od południa. Celem więc kalendarza jest pogodzenie wymagań życia praktycznego z istotną długością roku zwrotnikowego.

Jak inne zasadnicze urządzenia społeczne, tak też i kalendarz przeszedł do nas od Rzymian, którzy go sami zawdzięczali Egipcjowi. Dawni bowiem Egipcjanie posługiwali się rokiem słonecznym, ale liczyli go okrągło po dni 365, chwila zatem równonocy wiosennej opóźniała się corocznie o 6 godzin blisko; po upływie 120 lat różnica narastała już do 30 dni, czyli do całego miesiąca, a w ciągu 1460 lat, mniej więcej, różne pory roku obiegałyby wszystkie miesiące. Zmienność ta przypadała do gustu pojęciom religijnym dawnych Egipcjan, po upływie bowiem przytoczonego okresu wszystkie miesiące uświęcone byłyby różnemi uroczystościami religijnymi, których obchód przypadał na różne pory roku; z wymaganiami jednak bardziej uregulowanego życia dzisiejszego stosunki takie pogodzić się nie dały.

W pierwszych czasach istnienia państwa Rzymskiego rok składał się tylko z dziesięciu miesięcy i obejmował 304 dni; Numa dodał styczeń i luty, skutkiem czego liczba dni roku wzrosła do 355. Następnie poznano niedogodność podobnego roku cywilnego, znacznie krótszego od roku zwrotnikowego, i postanowiono poprawić go przez dodawanie co dwa lata miesiąca przybyszowego, zwanego Mercedonius, który wtrącano, w dziwaczny dosyć sposób, między



23 a 24 lutego. I ten wszakże dodatek nie sprowadził pożądanej zgody między rokiem cywilnym a słońcem, a na domiar złego decyzję co do wprowadzania tego miesiąca dodatkowego i oznaczania jego długości pozostawiono władzy arcykapłana — *pontifex maximus*. Arcykapłani oczywiście nieomieszkali z władzy tej korzystać wedle swych upodobań lub swych interesów, dawało im to bowiem możność dowolnego oznaczania epoki odnawiania urzędów, co stało się źródłem zepsucia i przekupstwa. Za czasów Juljusza Cezara zamęt doszedł do tego stopnia, że święto zniw przypadało w zimie, a uroczystość zwaną *autumnalia* obchodzono na wiosnę. Dla zaradzenia właśnie takiemu stanowi rzeczy dyktator ten podjął reformę kalendarza, która dotąd imieniem jego jest oznaczana.

Reforma juljańska, zaprowadzona według rady astronoma aleksandryjskiego Sozygenesesa, polega na wtrącaniu co cztery lata dnia dodatkowego, przyjmuje tedy długość średnią roku po $365\frac{1}{4}$ dnia; aby zaś pory roku sprowadzić na odpowiadające im daty, rok zaprowadzenia reformy, który był rokiem 709 od założenia Rzymu, albo rokiem 46 przed narodzeniem Chrystusa, przeciągnięto do 445 dni (*annus confusio-nis*). Dodać jeszcze należy, że kapłani, którzy mieli reformę tę stosować, nie zrozumieli ustanowionego prawidła i zamiast dodawać dzień przybyszowy po każdym trzech latach, liczyli rok przestępny co każde trzy lata; powstały stąd błąd poprawiono za Augusta przez wytrącenie dni nadliczonych.

Ponieważ długość roku juljańskiego obejmuje średnio dni 365,25, przechodzi więc podaną wyżej długość roku zwrotnikowego o $11\frac{1}{4}$ minuty; różnica ta wydaje się drobną, ale nagromadzając się, czyni po

upływie 128 lat całą dobę. Wypływa stąd, że chwila równonocy wiosennej, która za Cezara przypadała 25 marca, po upływie 128 lat nastąpiła już 24 marca, potem 23 marca, a na koniec w r. 325, w czasie soboru nicejskiego, miała miejsce 21 marca. Sobór nicejski przyjął kalendarz juljański za podstawę do oznaczania dat świąt kościelnych, a chwilę równonocy wiosennej ustanowił na 21 marca, ale zachował nadal długość roku o 365,25 dniach, tak, że epoka równonocy i następnie cofała się o dzień jeden co lat 128. W końcu więc wieku szesnastego błąd wynosił już 10 dni, porównanie przeto wiosenne przypadło 11-go, a nie 21-go marca. Gdyby rzeczy biegły tak dalej, niezgodność pór roku z odpowiedniami im datami byłaby coraz bardziej rażąca, a uroczystość Wielkiejnocy, którą półkula północna święci powrót słońca i odyskanie przewagi dnia nad nocą, obchodzona byłaby w lecie, a następnie i w jesieni.

Na to przesuwanie się wytycznych punktów roku zaczęto zwracać uwagę w wieku XV (Piotr z Allia-co, Mikołaj Cusa); w roku 1475 papież Sykstus IV zawezwał do Rzymu w celu rewizji kalendarza słynnego Regiomontana, nagle wszakże śmierć tego astronoma, spowodowana może otruciem, zamiar ten obaliła. W 40 lat później papież Leon X ogłosił breve, wzywające do obmyślenia sposobu naprawy kalendarza, a uznanie zjednał sobie wtedy memoriał złożony przez Marcina z Olkusza, profesora akademii jagiellońskiej. Urzeczywistniony został wreszcie zamiar ten przez papieża Grzegorza XIII, który tą drogą pontyfikat swój uświetnić pragnął; wypracowany z polecenia jego przez Aloizego Lilliusa projekt reformy kalendarza rozesłany został 1577 r. do rozpatrzenia

akademjom europejskim, a wreszcie powierzony umyślnie ustanowionej komisji, która ostatecznie uchwaliła naprawę kalendarza, od imienia papieża nazwaną gregorjańską.

Reforma ta obejmowała dwie zmiany, jedna tyczyła się błędu bieżącego, druga usuwała źródło tego nieładu w przyszłości; za długość zaś roku przyjęto wartość, podaną w tablicach alfonsowych przez nadzorcę synagogi w Toledo, rabi Izaaka Aben-Sid, mianowicie 365 dni, 5 godzin, 49 minut, 16 sekund, co od długości roku juljańskiego odstępuje o 10 minut 40 sekund. Porównanie wiosenne sprowadzono do 21 marca przez zniesienie 10 dni, w ten sposób, że dzień następujący po 4 października 1582 r. liczono jako 15 października. Co do przyszłości zaś postanowiono, aby w każdym okresie 400-letnim usunąć trzy dni przybyszowe, a to według pravidła następnego: W kalendarzu juljańskim przestępny był każdy rok, oznaczony liczbą podzielną przez 4, wszystkie zatem lata wiekowe, to jest o liczbach zakończonych dwoma zerami, były przestępne; w kalendarzu zaś gregorjańskim z czterech lat wiekowych, po sobie idących, jeden rok tylko jest przestępny, ten mianowicie, którego liczba po odrzuceniu dwu zer podzielna jest przez 4. Według tego rok 1600 był przestępny, lata 1700, 1800, 1900 były zwyczajne, rok zaś 2000 będzie przestępny. Usunięcie trzech lat przestępnych z okresu 400-letniego wychodzi na zmniejszenie średniej długości każdego roku o $\frac{3}{400}$, w kalendarzu zatem gregorjańskim długość średnia roku wynosi $365,25 - \frac{3}{400} = 365,25 - 0,0075 = 365,2425$ dnia.

W porównaniu więc z istotnym rokiem zwrotnikowym rok gregorjański jest jeszcze zadługi, różnica

wszakże wynosi zaledwie 0,000283 dnia, ilość tak drobną, że doba cała uzbierać się z niej może dopiero po upływie kilku tysiącleci. Pomimo to obliczano i radzono, jakby i tę nieznaczną niedokładność usunąć; wszelkie jednak środki, któreby osiągały większą ścisłość kosztem dogodności i wytworności reguły gregorjańskiej, sprowadzałyby niepotrzebne zagmatwanie. Rachunki Heisa wskazują, że przy zachowaniu tej reguły, dla utrzymania zgody między kalendarzem a istotną długością roku dosyć będzie wyrzucać jeden dzień przybyszowy co lat 3200, licząc od r. 3200. W ten sposób lata 3200 i 6400, które według przepisów reformy gregorjańskiej byłyby przestępne, w projekcie Heisa są latami zwyczajnymi.

Rzecz wszakże godna uwagi, że Persowie, którzy się również rokiem słonecznym posługują, posiadają kalendarz bliżej przystępujący do rzetelnej wartości roku zwrotnikowego, aniżeli gregorjański. Kalendarz, o którym mowa, oddawna już w Persji używany, polega na okresie 33-letnim, w którym pierwszych lat 28 liczy się jak w kalendarzu juljańskim, to jest o każdym czwartym roku przestępnym, z pozostałych zaś pięciu lat cztery są zwyczajne, a dopiero piąty przestępny. Średnia długość roku wynosi tu dni 365,2424, co odstępstwo jednej doby sprowadza dopiero po 4800 latach; mniejsza jednak prostota reguły pożyteczność jej osłabia.

W dziejach kalendarza ważną rolę odgrywa i rok księżycowy, to jest rok złożony z dwunastu miesięcy księżycowych. Gdyby miesiąc księżycowy liczył okrągło dni 30, a rok słoneczny dni 360, zastosowanie obu tych jednostek do miary czasu nie przedstawiałoby żadnej zgola trudności. Skoro wszakże, jak widzie-

liśmy, miesiąc synodyczny nie dochodzi o kilka godzin do pełnej liczby dni 30, a rok obejmuje blisko $12\frac{1}{2}$ takich miesięcy, przeto usiłowanie pogodzenia obu tych okresów prowadzi do mozolnych zawikłań, których ślady dostrzegamy i w niejednakiej długości miesięcy naszego kalendarza.

Miesiąc księżycowy, czyli przeciąg czasu między dwoma nowiami, wynosi prawie $29\frac{1}{2}$ dnia, przy posługiwaniu się przeto takimi miesiącami liczone naprzemian po 29 i po 30 dni. Okres wszakże $29\frac{1}{2}$ dni jest w rzeczywistości o $\frac{3}{4}$ godziny zakrótki, w ciągu zatem trzech lat omyłka czyniłaby już pełną dobę, co wymagałoby dodatku dnia do któregośkolwiek miesiąca. Nadto rok z dwunastu miesięcy księżycowych złożony obejmowałby tylko 354 dni i byłby względem roku słonecznego o 11 dni zakrótki. Pomimo tak uderzającej niedogodności był rok księżycowy w użyciu u różnych narodów starożytnych, nawet u Greków, a pierwotnie i u Rzymian; pewne zaś praktyki religijne, z odmianami księżyca związane, zapewniają mu dotąd poważanie u narodów wschodnich. Kalendarz mianowicie turecki opiera się na czystym, bez żadnych poprawek, roku księżycowym; każdy zatem dzień nowego roku według tego kalendarza wyprzedza o 11 dni bieg słońca, a różne miesiące i różne święta w krótkim stosunkowo przeciągu czasu obiegają wszystkie pory, — święto obchodzone w lecie po niewielu już latach przypada w zimie.

Zamęt w liczeniu lat u Greków został w części usunięty przez wprowadzenie okresu czyli cyklu, wykrytego przez Metona w piątym wieku przed Chr. Cykl Metona opiera się na tem zestawieniu, że w cią-

gu 19 lat słonecznych księżyc ulega 235 pełnym swym przeobrażeniom, mianowicie bowiem:

235 lunacji czyni	6939 dni 16 g. 31 m.
19 lat zwrotnikowych	6939 " 14 " 27 "
18 lat juljańskich	6939 " 18 " 0 "

Na 19 zatem lat słonecznych przypada 235 miesięcy księżycowych, to jest o siedem ponad liczbę $228 = 12 \times 19$; jeżeli się tedy między 19 lat rozrzuci siedem dodatkowych miesięcy, to można w okresie tym przecięciową długość roku doprowadzić do dostatecznej ze słońcem zgody. Liczby porządkowe każdego roku cyklu Metona, od 1 do 19, oznaczane były złotemi głoskami na pomnikach, skąd poszła nazwa liczby złotej, dotychczas w kalendarzu kościelnym używana, a służąca do wynajdywania daty niedzieli wielkanocnej, która właśnie od biegu księżyca zawisła.

Kalendarz religijny żydów dotąd opiera się na cyklu Metona, w okresie zatem 19-letnim przypada 12 lat zwyczajnych o 12 miesiącach i 7 lat przestępnych o 13 miesiącach; rok zwyczajny średni ma dni 354, rok przestępny średni dni 384; są wszakże i lata mające mniej lub więcej o jeden dzień, skąd kalendarz żydowski ma lata sześcioraki, o 353, 354, 355, oraz o 383, 384 i 385 dniach. Przeciętna długość roku w kalendarzu tym wynosi 365,242682 dni, przystępuje przeto do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego bliżej nawet nieco, aniżeli w kalendarzu juljańskim; zbytnia wszakże zawilgość i znaczna niejednoznaczność długości roku odejmuje rachubie tej czasu cechę praktyczności.

Pod względem zatem dokładności, z jaką zbliżają się do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego, różne kalendarze idą w porządku następnym:

Rok zwrotnikowy	365,242217 dni słon. średnich	
" perski . . .	365,242424	"
" gregorjański.	365,2425	"
" żydowski . .	365,24682	"
" juljański . .	365,25	"

We wszystkich więc tych kalendarzach średnia wartość roku jest nieco zadługa; widzieliśmy jednak, że w kalendarzu gregorjańskim potrzeba wytrącenia jednego dnia nastąpi dopiero po kilkunastu stuleciach, a dzisiejsze pokolenie sprawą tą zaprzatać się nie potrzebuje zapewne. Nasuwa się wszakże inne pytanie: czy nie znalazłoby się tu miejsca dla drobnych ale użytecznych poprawek, któreby mogły większą jeszcze stateczność i dogodność zapewnić kalendarzowi i przystosować go lepiej do wymagań życia praktycznego?

Wzgląd ten zachęcił zawiazane przed niewiele laty w Paryżu towarzystwo astronomiczne do ogłoszenia konkursu na najlepszy projekt reformy kalendarza. Podjęte do takiego wystąpienia dało zapewne nowemu towarzystwu astronomicznemu wspomnienie pierwszej republiki francuskiej, która, zerwawszy węzły z tradycją chrześcijańską, ustanowiła odrębny zupełnie dla siebie kalendarz o miesiącach 30-dniowych i o pięciu dniach dopełniających, przeznaczonych na obchód święta republikańskiego, oraz o dekadach w miejsce tygodni. Mniej radykalna rzeczpospolita dzisiejsza okazała się bardziej umiarkowaną i w propozycjach co do reformy kalendarza.

Przeciw dzisiejszemu kalendarzowi podniesiono różne zarzuty; wiele z nich uważać można wprawdzie za nie-dorzeczne, niektóre jednak wydają się uzasadnione, a tyczy się to mianowicie uwagi, którą jeden z autorów streszcza w ten sposób: przy kalendarzu obecnym lata idą jedno po drugim, ale nie są podobne. Znaczący to, innemi słowy, że niema statecznego związku między dniami tygodnia a datami roku i trzeba się odwoływać do rachunków dość znużających, gdy chcemy wiedzieć, na jaki dzień tygodnia przypada oznaczona data roku; toż samo powiedzieć można o braku zgodności między dniami tygodnia a datami miesiąca. Zajęcia nasze ustanawiają się według dwu zasad, według dat i według dni tygodnia, pomiędzy którymi żadna nie zachodzi zależność; staje to się źródłem wielu niedogodności i częstych pomyłek. Umowy zawarte na pewną datę przypadać mogą na niedzielę lub inny jaki dzień niedogodny, co spowoduje zawiąkanie i stratę czasu; przy rozkładzie wielu zajęć należy z góry poszukiwać, na jaki dzień tygodnia oznaczona data przypada. Przepisy administracyjne, rozkład dni targowych, rozporządzenia szkolne, zgromadzenia stowarzyszeń w oznaczonych terminach i innóstwo tym podobnych okoliczności, wszystko to ulega nieraz zakłóceniom dla tej niezależności dat od dni tygodnia. Krótko mówiąc, niedogodność polega na tem, że każdy rok wymaga innego kalendarza.

Według tych uwag naprawa obecnego kalendarza polegać ma na tem, aby długość różnych miesięcy była, o ile można, wyrównana, zwłaszcza zaś, aby też same daty roku przypadały na też same dni tygodnia, aby zatem lata po sobie idące były do siebie podobne. Osiągnięcie tego celu wymaga oczywiście pewnych

odstępstw od dotychczasowych urządzeń kalendarzowych, z którymi związani jesteśmy długowiecznem nawykniem; należy więc baczyć, aby odstępstwa te jak najmniej były rażące, a nowy kalendarz jak najmniej różnił się od dawnego. Z kilkudziesięciu nadesłanych prac zadanie to najlepiej rozwiązał projekt p. Gastona Armelin, który uzyskał pierwszą na konkursie nagrodę.

Naczelną zasadą projektu tego polega na wyłączeniu jednego dnia roku z miesięcy i tygodni, rok bowiem, obejmując 365 dni, składa się z 52 tygodni i jednego dnia. Mielibyśmy zatem każdego roku jeden dzień nadliczbowy czyli uzupełniający, stojący zeewnątrz tygodni i miesięcy; byłby to dzień „nowego roku”, nienoszący żadnej innej nazwy ani żadnej daty. W roku przestępnym ten „nowy rok” musiałby się składać z dwu dni, co cztery zatem lata święto to obchodzono by w ciągu dwu dni.

Po usunięciu tego jednego dnia, rok, według projektu p. Armelin, dzieli się na cztery równe kwartały, obejmujące po 91 dni; z trzech miesięcy, składających każdy kwartał, pierwszy posiada 31, dwa pozostałe po 30 dni, — każdy przeto kwartał zawiera dokładnie po 13 tygodni. Wypływa stąd, że też same dni tygodnia przypadają na też same daty nie tylko każdego roku, ale nadto każdego kwartału; uproszczenie to, przy oswojeniu się z nowym kalendarzem przez ciągłe go użycie, pozwoliłoby łatwo zachować w pamięci rozdział 91 dni w ciągu trzech miesięcy; w każdym bowiem kwartale odpowiadające sobie miesiące przedstawiają zupełną zgodność dat i dni tygodnia. Dwanaście takich miesięcy obejmują 364 dni, a dzień pozostały mieści się na początku roku i nie włącza do

żadnego tygodnia ani do żadnego miesiąca. Styczeń rozpoczyna się od poniedziałku, który jest drugim dniem roku; kwiecień, lipiec i październik rozpoczynają się również od poniedziałku i, podobnie jak styczeń, liczą po 31 dni; luty, maj, sierpień i październik zaczynają się od czwartku i zawierają po dni 30; pozostałe wreszcie cztery miesiące, również 30-dniowe, zaczynają się od soboty.

Można do rzeczy tej wielkiej wagi nie przywiązywać, pewnej użyteczności wszakże wprowadzeniu stałego i prawdziwie wieczystego kalendarza odmawiać nie należy. Inicjatorowie mieli zamiar poddania tej kwestji pod rozagę umyślnie w tym celu zwołanego kongresu, prawdopodobnie jednak nie znaleźli by chętnych uczestników.

IV.

Przy obrocie swym dziennym ziemia kolejno różne swe strony ku słońcu zwraca, miejsca zatem dalej ku wschodowi położone wcześniej wschód gwiazdy dziennej witają, aniżeli okolice bardziej zachodnie. Dla miejscowości na jednym i tym samym południku położonych chwila południa przypada spólcześnie, punkty natomiast wzdłuż równoleżnika rozrzucone mają godziny różne. Ponieważ w pozornym tym swoim ruchu słońce w ciągu doby cały okrąg o 360° obiega, co czyni 15° na godzinę, miejsca przeto, różniące się o 15° w długości geograficznej, mają czas o godzinę różny; gdy w Warszawie południe, w okolicach Moskwy już godzina pierwsza, na zachodniej granicy Francji dopiero jedenasta.

Prosta ta więc zależność pozwala z różnicy czasów oznaczać różnicę długości geograficznej. Z biegu słońca lub gwiazd poznaje żeglarz godzinę miejsca, gdzie się w danej chwili znajduje, a zestawiając ją z godziną wskazaną przez zegar, który nastawił wedle czasu swojego kraju lub portu, z którego wypłynął, wie bezpośrednio, na ile stopni oddalił się ku wschodowi lub zachodowi, gdy znów z obserwacji gwiazdy biegunowej lub z położenia innych brył niebieskich poznaje szerokość geograficzną, pod jaką się znajduje. Z szerokością tylko geograficzną rzecz o tyle prostsza, że gdy równik, do którego ją odnosimy, jest jeden tylko i jakby przez przyrodę samą wskazany, południk każdy rościć sobie może jednakie do pierwszeństwa prawo, buta zaś narodowa nakazuje każdemu państwu posiadać własny swój pierwszy, narodowy południk, co daje powód do narad, kongresów i niezalatwionych dotąd sporów. Szczęściem nie jest to najcięższy szkopuł w wąśniach międzynarodowych, a rozmaitość południków nie powoduje kłopotów zbyt wielkich; gorzej, że dokładne oznaczanie długości geograficznej połączone jest z trudnościami znacznie większemi, aniżeli dochodzenie szerokości.

Jak dotąd na morzu, tak dawniej i na lądzie do oznaczania długości geograficznej posługiwano się głównie przewożeniem zegarów; obecnie z dzielną pomocą przybył telegraf, który z mniejszym zachodem w każdej chwili donieść nam może godzinę oddalonego miejsca. Służyć też mogą i sygnały niebieskie, czyli zjawiska astronomiczne, które dla różnych punktów ziemi zachodzą społecznie. Zjawiskiem takim jest przedewszystkiem zaćmienie księżyca; gdy więc, dajmy, początek pewnego zaćmienia księżyca

obserwowano w Warszawie o 12 god. 12 min. 21 sek. w Paryżu zaś o 11 god. 6 min. 33 sek., to różnica obu tych miejsc w czasie wynosi 1 god. 14 min. 48 sek., zatem w długości geograficznej 18°42'. Przy pomocy tablic astronomicznych można też różnicę czasów dwu miejsc wyprowadzić z obserwacji biegu księżyca i z innych jeszcze objawów niebieskich, a chociaż wszystko to są rzeczy w zasadzie proste, nastęrczają, jak nadmieniliśmy, znaczne trudności, skoro idzie o dokładność, jakiej się nauka dzisiejsza domaga. To wszystko zaś wskazuje, jak z tego względu doniosłej wagi czynnikiem jest czas dla astronoma, geografa i żeglarza, jak troskliwie i bezustannie z nim się liczyć muszą; w zakresie zaś tym astronomja, tak daleka w ogólnym swym charakterze od spraw ziemskich, nabiera charakteru nauki stosowanej i nagina się do celów praktycznych.

Rozmaitość ta czasna na różnych południkach tłumaczy dalej osobliwy paradoks, który występuje przy podróżach dokoła ziemi. Jeżeli mianowicie udajemy się na zachód, napotykamy miejsca, mające czas coraz wcześniejszy; zegar nasz zatem pospieszy już o godzinę całą, gdy oddalimy się o piętnaście stopni, czyli na każdy stopień o cztery minuty. Skoro do Nowego Yorku przybędziemy z chronometrem londyńskim, to wskazywać on będzie południe, gdy w mieście tem jest dopiero godzina 7 rano, a jeżeli dalej znajdziemy się w San-Francisco, napotkamy tam godzinę 4 rano, gdy znów chronometr nasz wskaże południe. Gdybyśmy więc, jak to czynili pierwsi żeglarze dokoła świata, nastawiali swój zegar według miejsca, do którego przybywamy, to w miarę posuwania się ku zachodowi coraz więcej pozostawiali-

byśmy w tyle co do czasu, a przy całkowitem okrążeniu ziemi odstalibyśmy o całą dobę, przy powrocie do własnego kraju zualeźlibyśmy tam datę o cały dzień późniejszą, tak że pozornie utracilibyśmy dzień jeden; oczywiście—pozornie tylko, gdyż każdy dzień przebyty w podróży był dłuższy od dnia istotnego i to o tyle razy po cztery minuty, ileśmy stopni ku zachodowi przebyli, a zatem wszystkie dni razem były o jedną dobę dłuższe; przeżyliśmy czas jednaki, utraciliśmy tylko jeden zachód słońca. Przeciwnie, jeżeli się posuwamy ku wschodowi, naprzeciw słońca, każdy dzień staje się krótszym o tylokrotnie powtórzone cztery minuty, ileśmy w nim stopni przebyli, przy całkowitem przeto okrążeniu ziemi zyskujemy jeden zachód słońca, czyli przybywa nam dzień. Verne, umiający korzystać z takich drobiazgów naukowych, wyzyskuje szczęśliwie tę zasadę w swojej „podróży dokoła ziemi w ciągu ośmdziesięciu dni“.

Cesarstwo Rosyjskie i Azja wyprzedzają nas w czasie, Europa zachodnia, ocean Atlantycki, Ameryka zostają za nami w tyle; na oceanie Wielkim zatem istnieje granica oddzielająca miejsca, gdzie przeskakuje data i dzień tygodnia. Dwie przeto miejscowości sąsiednie, mające prawie jednaką godzinę, różnią się tam w swej rachubie czasu o jeden dzień tygodnia i o jeden dzień w dacie. Data i dzień tygodnia stron tamecznych zależą mianowicie od tego, czy kultura europejska doprowadzona została od wschodu czy od zachodu; tak np. Portugalczycy i Holendrzy w swych odkryciach przepływali około Przylądka Dobrej Nadziei, gdy Hiszpanie obrali drogę przeciwną, około Ameryki południowej. Stąd wypada, że wyspy zajęte przez Hiszpanów pozostają pod względem

rachuby czasu o jeden dzień w tyle względem posiadłości Portugalczyków i Holendrów. Portugalska miejscowość Macao na wybrzeżu chińskim liczy o jeden dzień więcej niż wyspa Luzon, położona na wschód o pół godziny tylko różnicy co do długości. O tem przekonał się w swym czasie z wielkiem zdumieniem ojciec Alfons Sanctius, który się z Manilli udał na Luzon do Macao, gdzie według swego mniemania przybył jeszcze w dzień św. Atanazego, 2 maja, przy wylądowaniu zaś poznał, że Portugalczycy obchodzili już dzień Znalezienia św. Krzyża 3 maja. Linja graniczna, oddzielająca miejsca, posiadające różne daty i różne dni tygodnia, ma przebieg nieregularny. Poruszając od bieguna południowego, sunie na brzegu wschodnim Nowej Zelandji, Hebryd, Nowej Gwinei, pozostawia Filipiny na wschód, Celebes, Borneo, Formozę i wyspy Japońskie na zachód i przez cieśninę Beringa dochodzi do bieguna północnego. Jeżeli na wschód tej linji obchodzą niedzielę, to na zachód jej przypada już poniedziałek.

Rozmaitość czasów w różnych punktach ziem stała się też źródłem pewnego zamętu na drogach żelaznych, których krańcowe i pośrednie nawet stacje mają często godziny dosyć różne, co zmusza podróżnych do baczenia na różnicę czasu miejscowego i czasu używanego na stacji, a przy ożywionej komunikacji kolejowej oddziaływa i na inne stosunki życia zwyczajnego. Dla tego też w wielu krajach zaprowadzono jeden lub kilka czasów normalnych, bądź tylko dla potrzeb dróg żelaznych, bądź dla wszystkich spraw życia zwyczajnego. Takie zupełne ujednostajnienie czasu napotykamy mianowicie w Wielkiej Brytanji, gdzie od roku 1848 na całej wyspie uznawana

jest jedynie godzina obserwatorium w Greenwich; we Francji od marca 1891 r. godziną legalną w całym państwie jest paryska. Najsilniej wszakże konieczność uregulowania godzin uczuć się dała w Stanach Zjednoczonych, zarówno dla ożywionego ruchu na rozgałęzionej sieci dróg żelaznych, jak i dla znacznej rozległości terytorjum, obejmującego 60° w długości czyli cztery godziny w czasie. Z tego ostatniego względu nie można było wszakże narzucić jednej godziny dla całego kraju; na podstawie więc układu, zawartego przez wszystkie zarządy dróg żelaznych, od r. 1885 jest w użyciu tylko pięć różnych godzin normalnych, które odpowiadają tyłuż południkom, zostającym w prostej łączności z południkiem Greenwich. Normalne te czasy oznaczone są nawet odrębnymi nazwami: *Intercolonial time*, odpowiadający długości zachodniej 60° względem Greenwich, *Eastern time* 75°, *Central time* 90°, *Mountain time* 105°, *Pacific time* 120°, czasy te zatem opóźniają się względem Greenwich o 4, 5, 6, 7 i 8 godzin. Granice obszarów, w których różne te godziny znajdują zastosowanie, nie biegną dokładnie według południków, ale zależą od granic administracyjnych różnych stanów oraz od stosunków lokalnych. Otóż, system ten amerykański dałby się łatwo zastosować do całej ziemi. Należałoby w takim razie powierzchnię jej podzielić na 24 pasy czyli wrzeciona, ograniczone południkami i obejmujące po 15° długości geograficznej; każde z tych wrzecion miałoby czas sobie właściwy, a w każdym dwu sąsiadujących ze sobą pasach różnica czasów wynosiłaby dokładnie godzinę. Pas pierwszy rozciągałby się od 7°30' na wschód do 7°30' na zachód względem Greenwich, drugi obejmowałby przestrzeń od 7°30' do 22°30'

długości zachodniej i t. d. W praktyce granice pasów mogłyby odstępować nieco od południków, stosując się do granic państw lub prowincji.

Rzeczywiście też sposób taki ujednostajnienia czasu przedostał się już do Europy. Na zgromadzeniu związku dróg żelaznych niemieckich i austrijskich, które miało miejsce w sierpniu 1890 roku w Dreźnie uchwalono dla całej tej rozległej sieci przyjęcie godziny wspólnej, odpowiadającej 15° długości wschodniej względem Greenwich, przyczem wyrażono życzenie, by godzina ta stała się powszechną i jedyną i w życiu zwyczajnem. Rząd niemiecki przygotowuje nawet podobno projekt do prawa, które ma życzenie to urzeczywistnić, a tymczasem i bez sankcji prawnej zastosowała się do niego znaczna liczba miast Europy środkowej, w wielu bowiem godzina 15° długości wschodniej zastąpiła już właściwą godzinę miejscową. Godzinę tę przyjął i Kraków, a że znajduje się pod 20° długości wschodniej względem Greenwich i ma względem normalnego południka 15° czas o 20 minut późniejszy, musiał więc zegary swe o te 20 minut cofnąć.

W ogólności południk greenwichski odniósł stanowcze już zwycięstwo nad paryskim; Belgja nawet poświęciła godzinę brukselską, a od maja 1892 r. używana jest w miejsce niej na drogach żelaznych godzina greenwichska, różniąca się o 11 minut. Sprawa unormowania czasu była nawet przedmiotem obrad międzynarodowych na konferencji w Waszyngtonie w r. 1884, a uchwałą tej konferencji uznany został za pierwszy południk Greenwich, od którego liczenie długości ma się odbywać w dwie strony, na wschód (+) i na zachód (—), od 0° do 180°. Według

tego zaś południka liczony czas przyjęto jako czas powszechny, przyczem początkiem dnia powszechnego ma być północ według czasu Greenwich, godziny zaś liczyć się mają kolejno, od 0 do 24.

Postanowienia te wszakże, zarówno co do południka pierwszego jak i co do godziny wspólnej, nie weszły w wykonanie. Południk Greenwich nie zyskał mianowicie uznania delegatów francuskich, którzy żądali, by południk pierwszy był zupełnie neutralny i był oparty na zasadach naukowych. Według ich poglądu nie powinien on przerzynać żadnego lądu ważniejszego, aby nie wprowadzać zmiany przy oznaczaniu długości geograficznej w obrębie jednego kraju i by na morzu przypadał „przeskok daty“, t. j. punkt, w którym okręty, podczas żeglugi dokoła ziemi, zmieniają datę. Z tego względu proponowano przyjęcie za początek długości południka, idącego przez cieśninę Beringa; nie znalazł on jednakże uznania, zarzucono bowiem, że na linii tej nie ma obserwatorium, a zatem zero długości byłoby określone tylko przez fikcję legalną, ale nie stanowiłoby zgoła zera rzeczywistego. Akademia więc bolońska w inny sposób zapragnęła usunąć przedmiot tego sporu, a raczej ułagodzić drażliwość narodową Francuzów, zaproponowała bowiem południk bardziej neutralny, który nie mógłby budzić zawiści między narodowej, a mianowicie południk idący przez Jerozolimę, gdzieby założone być mogło obserwatorium, pod opieką państw zostające. Rząd włoski przyjął projekt ten pod swą opiekę, rzecz jednak bardzo wątpliwa, czy ma on widoki urzeczywistnienia. W każdym razie najwięcej stronników posiada obecnie południk Greenwich, jako południk najwięcej w że-

glarstwie używany, czyli mający „największą klientelę“.

Więcej wszakże przeszkód nastręczył zamiar ujednostajnienia czasu. Oczywiście, zwolennicy godziny powszechnej nie mogli dążyć do zupełnego usunięcia godziny miejscowej. Przyjawszy bowiem czas powszechny według południka Greenwich, Japończyk wstawałby około godziny ósmej wieczorem, a Kalifornijczyk obiadowałby o drugiej rano,—do niedorzeczności takiej trudnoby chyba nawyknać. Dla tego też konferencja waszyngtońska uznała, „że dla pewnych potrzeb naukowych, jako też dla kolei żelaznych, dla linii okrętów parowych, dla telegrafów i poczt, istnieje korzyść z przyjęcia godziny powszechnej obok miejscowych godzin narodowych, które miałyby być dalej używane w życiu zwyczajnem“. I te wszakże względy praktyczne nie wydają się istotnej wagi. Kupcowi, dajmy, otrzymującemu depeszę telegraficzną, więcej zapewne zależy na znajomości godziny miejsca, skąd depesza ta wysłana została, aniżeli godziny abstrakcyjnej; przy systemie bowiem obecnym wie on bezpośrednio, czy depesza wysłana została rano, czy wieczorem, przed giełdą, czy po niej, gdy tymczasem godzina powszechna wskazówek takich nie mogłaby mu udzielać, chyba po odwołaniu się do rachunku, przyczem znów zająłby mogła omyłka.

Korzystniejsze zastosowanie mogłaby znaleźć godzina powszechna w nauce, przy badaniu zjawisk, które wymagają obserwacji społecznych, jak np. przy objawach magnetyzmu ziemskiego albo trzęsień ziemi. I to stanowi wszakże взгляд podrzędny tylko, dla tego też ostatecznie stronnicy godziny po-

wszechnej, jako główny swój argument, przytaczają dążność do ujednolajnienia, jaką na różnych polach działalności ludzkiej obecnie spotykamy. Dążność ta wszakże musi mieć przecież swoje granice; rozpowszechnienie jednolitego układu miar i wag jest niewątpliwie rzeczą bardzo użyteczną i dogodną, ale obmyślenie jakiejś sztucznej mowy powszechnej jest mrzonką niedorzeczną. Wszelka nowość niekoniecznie jest postępem, a sama przyroda tworzy różnaitość i powoduje różnice, których przełamać nie można. Zajęcia ludzkie stosują się do godziny miejscowej i ona tylko obchodzi człowieka zwykłego, a kto obejmuje poziom rozleglejszy, nie doznaje żadnej trudności, łącząc z godziną miejscową znajomość godziny innej.

W każdym razie, zabiegliwa ta skrzętność koło dokładnago unormowania rozkładu czasu jest jedną z najbardziej charakterystycznych cech życia nowożytnego; wiąże się ona bezpośrednio z udoskonaleniem i rozpowszechnieniem przyrządów, do mierzenia czasu służących. Do ich tedy historii zwrócić się nam teraz wypada.

V

Najdawniejszy przyrząd do mierzenia czasu stanowią oczywiście zegary słoneczne, u nas kompasami zwane. Gdy bowiem bieg dzienny słońca następstwo godzin nam znaczy, trzeba było tylko ruch ten przenieść na przesuwanie się cienia, rzucanego przez pręt w ziemi utkwiony, by obserwacji większą nadać do-

kładność. Wynalazek zegarów słonecznych przypisywano filozofom szkoły jońskiej, następcom Talesa, Anaksymandrowi i Anaksymenesowi, z szóstego wieku przed Chr., niewątpliwie wszakże znane były dawniejszym znacznie astronomom Chaldei i Egiptu. W pierwotnej swojej formie był to zresztą zapewne tylko słup lub filar, pionowo na płaszczyźnie poziomej wzniesiony, który oznaczał południe w chwili, gdy cień jego stawał się najkrótszym: jest to sławny gnomon astronomów starożytnych, budowany troskliwie i w skromnym swym zakresie wciąż doskonałony, zanim ustąpił w obec przyrządów astronomji dzisiejszej.

Aby wszakże zegar słoneczny zbudować, nie dosyć jest wbić pręt pionowy w ziemię i zatoczony dokoła niego okrąg na równe podzielić części, słońce bowiem wraz z całym niebem nie bieży dokoła linii pionowej, ale obraca się dokoła osi, która w różnych punktach ziemi rozmaicie jest do poziomu pochylona. Z najmniejszym tedy zachodem urządzić byśmy mogli zegar słoneczny, ustawiając pręt ten czyli gnomon w kierunku osi świata, t. j. zwracając go ku gwiazdzie biegunowej; u nas pręt ten byłby pochylony do poziomu pod kątem 52° , a cień jego, przy zmianem położeniu słońca, na tarczy do pręta prostopadłej co godzina obiegałby drogi równe; tarcza ta ułożona by więc była w płaszczyźnie do równika równoległej, a kompas taki nazwano równikowym albo równonocnym. Pomijając już wszakże niedogodność, wynikającą z pochylego względem poziomu ułożenia tego zegara, pamiętać jeszcze należy, że słońce wznosi się na półkuli północnej nad równik jedynie w ciągu półrocza letniego, górną zatem stronę tarczy

oświeca tylko od końca marca do końca września, przez drugie zaś półrocze promienie jego padają na dolną jej stronę, którą tedy podobnie jak górną zao-
patrzeć należy w podziały, aby pręt, i ku dołowi wydłużony, mógł cieniem swym godziny w półroczu zimowem wskazywać.

By niedogodności tych uniknąć, korzystniej jest tarczę kompasu umieszczać poziomo lub pionowo; w tym razie jednak odstępów kresek wskazujących godziny nie będą już równe, a konstrukcja takiego zegara słonecznego wymaga pewnych metod geometrycznych. Dla tego też urządzenie kompasów stanowiło niegdyś ważną sprawę arstronomji praktycznej, a na rozwiązywanie nastroczających się tu zagadnień nie skąpiono pilności. Pomimo to wszakże zegar słoneczny być może bardzo niedostatecznym jedynie przyrządem. Nie mówiąc już o tem, że daje on czas prawdziwy, a nie średni, którym się posługiwać musimy, że godziny wskazywać może tylko za dnia i przy niebie pogodnem, to nadto niepodobna jeszcze oznaczyć na nim dokładnych i drobnych podziałów. Trzebaby konstrukcji niezwykle starannej i wielkich wymiarów tarczy, aby odczytywać na niej dokładnie minuty. Udoskonalenie zegarów mechanicznych odebrało kompasom wszelkie znaczenie praktyczne; z chluby astronomów stały się jedynie ozdobą parków, zanim wreszcie z motywu tego skorzystali ogrodnicy, by w wielkie cyfry, z kwiatów różnobarwnych ułożone, trawniki swe ozdobić.

Również odległą przeszłość i koniec podobnież niesławny miały i zegary wodne czyli klepsydry. W najprostszej formie były to dwa naczynia, stożkowatej zwykłej postaci, zbiegające się zwężonemi swe-

mi końcami, gdzie przez szczupły otwór woda z naczynia górnego przepływa do dolnego. Wymiary przyrządu mogą tak być dobrane, że czas przyprywu wody wynosi godzinę, kwadrans lub kilka minut tylko; po przelaniu się zaś wody do naczynia dolnego klepsydrę trzeba tylko odwrócić, by tenże sam przebieg znów się powtórzył. W tak prostym urządzeniu mogła wprawdzie klepsydra oznaczać upływ godziny, ale nie mogła służyć do wskazywania jej części, woda bowiem nie z jednakową płynie wciąż szybkością. W miarę jak jej ubywa, jak pod coraz słabszem pozostaje ciśnieniem, prędkość wypływu maleje; w równych przeto odstępach czasu woda w naczyniu dolnem o niejednakowe wznosi się wysokości. Przy uwzględnieniu praw wypływu cieczy, które zresztą dopiero Torricelli wykazał, można wprawdzie osiągnąć znaczną dokładność zegarów wodnych, budowa ich wszakże byłaby wtedy zbyt zawiła. Można także, przez stosowne doprowadzanie wody, utrzymywać ją w naczyniu górnem wciąż na jednym poziomie, a wtedy w równych czasach do naczynia dolnego przelewać się będą równe jej ilości; jeżeli więc naczynie to ma postać walcową, to umieszczony w niem pływak w jednakich odstępach czasu wysuwałby się w górę o jednakowe wysokości, a za pośrednictwem połączonej z nim skazówki oznaczałby bieg czasu.

Można też do tego celu skorzystać z energii wypływającej cieczy, czyli z pracy, jaką wykonać jest w możności. Jeżeli mianowicie strumień, wypływający z pełnego wciąż naczynia, uderza koło na osi osadzone, to pod naciskiem takim koło przechodzi w obrót jednostajny, który uregulować można tak, by się dokonywał w ciągu godziny albo minuty. Ze-

gary takie budowało rzeczywiście, a różne ich formy pod nazwą *horologium aquaticum*, *horologium hydraulicum* i t. p. opisał słynny jezuita Kircher w wieku siedemnastym. Przy wszelkich wszakże podobnych urządzeniach nie możnaby na czas dosyć długi zapewnić zegarom wodnym biegu statecznego, niszczą go bowiem różne okoliczności uboczne, jak nieuniknione wstrząśnienia naczyń, zanieczyszczenie wody lub bezustanna zmienność temperatury.

Dziś więc zegary wodne pozostały w historycznym tylko wspomnieniu. Ostatnią rolę naukową odegrały chyba na usługach Galileusza, gdy przy doświadczeniach swych nad spadkiem ciał potrzebował oznaczać krótkie odstępy czasu. Zachował on wszakże tę ostrożność, że woda wązkim bardzo otworem wypływała z naczynia znacznych wymiarów; wtedy przez krótki czas wypływu poziom wody w naczyniu wyraźnym zmianom nie ulegał, odważone przeto ilości cieczy wypływającej z dostatecznym przybliżeniem miarę czasu dawały. Metoda ta zresztą i dziś jeszcze może być przydatna, gdy idzie o oznaczenie stosunku dwu niewielkich odstępów czasu: wodę w tym razie korzystnie zastąpić może rtęć.

Podobne usługi, jak klepsydry wodne, oddawały i klepsydry piaskiem suchym wypełnione; sądzono nawet, że piasek przesypuje się wciąż jednostajnie, bez względu na wysokość, do jakiej jest usypany. Dla tego nadano zbiegającym ze sobą naczynom postać rur walcowych, a urządzona na nich podziałka pozwalała z niejaką dokładnością oznaczać jednaki odstępy czasu.

Wraz z kompasami i klepsydra poszła w zapomnienie. Gdy niegdyś mówcy greccy według niej

długość swych mów oznaczali, dziś chyba klepsydra trzypięciominutowa służy do pilnowania się przy gotowaniu jajek. Możnaby powiedzieć, że na zabawkę wyszła, gdyby z niej nie zrobiono ponurego symbolu śmierci, z kądem nawet owe złowieszcze kartki, co rogi ulic obok obwieszczeń teatralnych pokrywają, przejęły u nas nazwę tych dawnych czasomierzy.

W braku zresztą prawdziwych zegarów musiano sobie radzić i innemi prostemi środkami mierzenia czasu, niewiele jednak o nich wiemy. Przytoczyć chyba można ocenę godzin z przebiegu płonienia świecy walcowej, która w równych odstępach czasu o jednakie opala się długości, przyczem odpowiedni materiał wybuchowy, w oznaczonych punktach w świecę wprowadzony, służyć może do sygnalizowania oznaczonych momentów. Szczątkowym zabytkiem tego sposobu mierzenia czasu są jeszcze świeczki przy licytacjach sądowych używane.

VI.

Do jakiej epoki odnieść należy początek dzisiejszych naszych zegarów, polegających na połączeniu kół i kółek, wprawianych w ruch działaniem spadającego ciężaru lub rozwijającej się sprężyny—trudno powiedzieć; w każdym razie w wieku czternastym mechaniczne takie czyli kółkowe zegary posiadały już pewien stopień dokładności.

Pomysł zastosowania spadku ciężaru czyli wagi do wprawiania w ruch mechanizmu zegarowego jest rzeczywiście bardzo prosty i dawno mógł się nasunąć,

ciężar bowiem zawieszony na wale, dokoła swej osi ruchomym, wprawia go spadkiem swym w obrót, a zarazem i osadzone na nim koło zębate, którego ruch przenosi się na kółka dalsze i na skazówki. Zadanie to nie przedstawiałoby więc trudności, gdyby bieg wagi dokonywał się jednostajnie; wiemy wszakże, że spada ona biegiem przyspieszonym, wał zatem i cały połączony z nim mechanizm obracałby się coraz prędzej, a zegar wskazywałby godziny coraz krótsze. Trudność polegała przeto jedynie na obmyśleniu środków ujednostajnienia tego ruchu. Radzono sobie bądź przez zmianę momentu bezwładności obracającej się bryły, bądź przez zwiększanie oporu, jaki przy ruchu swym przewycięzać musiała, co do pewnego stopnia pozwalało utrzymywać ruch jednostajny, ani dokładnie wszakże, ani na długo. W r. 1364 urządził Henryk von Wyk na gmachu parlamentu w Paryżu zegar bijący godziny, a odtąd zegary wieżowe zaczęły się mnożyć w Europie; zdaje się jednak, że zegary poruszane spadkiem wagi znane już były we Włoszech w wieku trzynastym, a są może wynalazkiem arabskim, w r. 1232 bowiem miał pewien władca wschodni przesłać cesarzowi Fryderykowi II zegar, który oceniano na 5000 dukatów. Zaczęto się niemi nawet w miejsce zegarów wodnych posługiwać przy obserwacjach astronomicznych, wymagały wszakże codziennej regulacji i ulegały częstemu zakłóceniu. Wszystkie stare środki mechaniczne okazały się niedostateczne do ujednostajnienia biegu zegarów, trzeba było szukać dróg nowych, a tę pożądaną pomoc przyniosło wreszcie wahadło.

Tu znowu do Galileusza zwrócić się nam wypada.

Od niepamiętnych czasów bujał się ciężarek na sznurku, ale ruch ten powszedni nikogo nie zastanawiał, na drobne bowiem spostrzeżenia umysł genialny tylko uwagę zwrócić potrafi, a umiejętne z nich korzystanie twórczość naukową stanowi. W katedrze pizańskiej rozbijał się świecznik kościelny na długim zwieszający sznurze—było to w r. 1583, a ruch ten obserwował Galileusz, dziewiętnastoletni wówczas student medycyny, którego samodzielność i zdolność spostrzegawcza wyrwały się poza zakłętę nie ruchomością średniowieczną szranki fizyki arystotelesowej. Obszerne z początku łuki przez świecznik zataczane zwolna malały, a młody obserwator dostrzegł, że pomimo to każde wachnięcie dokonywało się w czasie jednakim; licząc więc uderzenia swego tętna, wykrył, że rzeczywiście trwanie wachnięcia od obszerności jego nie zależy,—byłoby długość wahadła pozostawała niezmienną: zarówno rozległe jak i drobne wahania dokonywają się w czasie jednakim. Taki był początek naszej znajomości wahadła, tego przyrządu prostego, któremu w dalszym rozwoju nauki przypisać miała rola tak wybitna.

Zrozumiano też bezzwłocznie, że izochronizm ten wahadła, równoczesność jego wahań, czyni zeń pożądaną czasomierz, i już sam Galileusz, a później Riccioli, Grimaldi, Mersenne, Kircher, Heweljusz posługiwali się niem przy dostrzeżeniach astronomicznych i doświadczeniach fizycznych. Wahadło wszakże przedstawiało tę niedogodność, że nie zaznaczało czasu upłynionego, a niepotracane na nowo rychło się uspakajało. Galileusz już przeto wpadł na pomysł połączenia wahadła z odpowiednim mechanizmem skazówkowym, o czem w r. 1636 pisał

do Laurensa Reaala, gubernatora Niderlandów; gdy wszakże przerwała się korespondencja ze stanami Holandji, prowadzona w przedmiocie ściślejszej metody oznaczania długości geograficznej, nie słyszano już o czasomierzach Galileusza.

We dwadzieścia dopiero lat później zadanie to podjął Huygens, który obok Galileusza i Newtona uzupełnia tróję twórców mechaniki nowożytnej. Zamiast jednak urządzenie zegara nagiąć do wahadła, zwrócił się do dawnych zegarów wagowych i do nich zastosował wahadło, które równocześnie swych wahań jednostajny im bieg zapewniło. W r. 1657 uzyskał Huygens od stanów generalnych Holandji patent na swoje zegary wahadłowe i opisał je w rozprawie „*Horologium*“, ogłoszonej 1658 r.

Jak zwykle wszakże, nie obyło się i tu bez sporów o pierwszeństwo wynalazku. Galileusz już nie żył od lat szesnastu, ale uczeń jego i biograf, Viviani, starał się wykazać prawa swego mistrza do tego pierwszeństwa w przedstawieniu złożonem księciu tokańskiemu Leopoldowi, w r. 1659. Viviani utrzymywał, że Galileusz od r. 1641 pracował nad udoskonaleniem swego czasomierza, że zamierzał właśnie nie używać wahadła do poruszania tego mechanizmu, ale przeciwnie, mechanizm utrzymywać w ruchu za pomocą wagi, a wahadło tak z niem połączyć, by przez działanie mechanizmu w ustawicznym pozostawało ruchu.

Ponieważ w r. 1640 Galileusz zaniewidział zupełnie i sam robót tych prowadzić nie mógł, wykonanie powyższego planu porucił synowi swemu Wincentemu, który wszakże zajął się niem dopiero w kwietniu r. 1649, ale zmarł w ciągu tegoż samego roku

i rozpoczętej roboty nie dokończył. Viviani podał nawet rysunek tego zegara, a z pozostałości po Wincentym sprzedany być miał „*un oriuolo non finito di ferro col pendulo, prima invenzione del Galileo*“. Według tych danych przyjąć można, że Galileusz rzeczywiście obmyślił plan zbudowania zegara wahadłowego, ale z tego też wypływa, że otoczenie jego doniosłości pomysłu tego nie oceniło, inaczej bowiem Viviani nie czekałby ze swem ogłoszeniem na pracę Huygensa, któremu tedy bezspornie przypada chwała wynalazcy naszych dzisiejszych zegarów wahadłowych.

Oprócz Galileusza jest inny jeszcze współzawodnik Huygensa, a mianowicie Jost Bürgi, którego Wolf w swej „Historji astronomji“ uważa za prawdopodobnego wynalazcę zegarów wahadłowych już około 1580 r. Wolf przytacza kilka dosyć chwiejnych dowodów na poparcie swego przypuszczenia, między innemi stary zegar wahadłowy, przechowany w skarbcu wiedeńskim i uważany za dzieło Bürgiego. Podobnyż zegar znajduje się i w obserwatorium w Cassel, gdzie Bürgi, zmarły 1632 r., ostatnie lata życia swego przepędził. Zegar ten wszakże wyreštaurowany był w r. 1676 i wtedy dopiero zapewne opatrzony został w wahadło. Krytyka też historyczna odparła nieuzasadnione przypuszczenia Wolfa, tem bardziej, że, przypisując Bürgiemu wynalazek zegarków wahadłowych około r. 1580, należałoby mu przyznać i odkrycie zasady równoczesności wachnięć.

Nad dalszem udoskonaleniem zegarów pracował przede wszystkim sam Huygens, którego większe dzieło „*Horologium Oscillatorium*“ (1673) szczególnie jest ważne, a to ze względu na przeprowadzone

w niem badania teoretyczne nad wahadłem i wiązaniami się z niem innemi kwestjami mechaniki. Jakkolwiek w zasadzie ogólne urządzenie Huygensa przetrwało dotąd, szczegółowe zmiany i ulepszenia oddzielnych części zegarów wprowadzały się i wprowadzają bezustannie, najważniejsze zaś znaczenie mają zmiany obmyślane przez Clementa (1680), Grahama (1675—1751) i Harrisona (1693—1776).

Nie zapuszczając się zresztą w szczegółowy opis budowy zegara, winniśmy jednak przytoczyć główne zasady tego mechanizmu. Ciężar czyli waga, zawieszona na wale, wprawia w obrót wraz z tym wałem i osadzone na nim koło zębate, które powoduje ruch dalszych kół przyrządu. Byłby to, jak wiemy, ruch przyspieszony, ale wahadło przerywa go w jednakich odstępach czasu, a tem samem ujednostajnia go i reguluje. Pośrednikiem zaś między wahadłem a właściwym przyrządem zegarowym jest wychwyt czyli kotwica, tak z wahadłem związana, że wraz z niem się kołysze, zahaczając kolejno o zęby koła na wale osadzonego.

Wahadło samo przez się długo służyłoby nie mogło, z powodu bowiem tarcia na osi, na której jest zawieszzone, i z powodu oporu powietrza, rychłoby ruch swój wstrzymało, gdyby uderzenia wychwyty o zęby koła na wale osadzonego nie nadawały mu wciąż nowego impulsu. Waga więc opadająca stanowi siłę poruszającą dla całego systemu kół, a za pośrednictwem wychwyty podtrzymuje i kołysania wahadła; z drugiej strony wahadło, za pośrednictwem tegoż wychwyty, tworzy regulator dla szybkości spadku wagi.

Szybkość wszakże kołysań wahadła zależy od

jego długości; wahadło krótkie kołysze się szybciej, długie wolniej; na bieg zatem zegara wpływa temperatura, której wzrost powoduje wydłużenie wahadła. Zaradzić temu szkodliwemu oddziaływaniu temperatury próbował w r. 1715 Graham przez użycie wahadeł z drzewa, które się od ciepła słabiej, aniżeli metale, rozszerza; gdy jednak sprowadziło to inne niedogodności, zamierzył osiągnąć niezmienną, czyli niezależną od temperatury długość wahadła przez stosowną kombinację kilku metali. Tego rodzaju kompensator wykończył wszakże dopiero Harrison, Graham zaś znalazł również szczęśliwe rozwiązanie, złączwszy z prętem wahadła naczynie napełnione rtęcią. Te dwa rodzaje kompensatorów są dotąd najpowszechniej używane.

Nadmienić również należy, że własność izochronizmu posiada wahadło zwykłe do pewnego tylko stopnia; skoro łuki przez nie przebiegane wykraczają poza pewną granicę, czas wachnięcia staje się już nieco dłuższy. Doskonale izochronicznem jest tylko wahadło cykloidalne, to jest wahadło, którego ciężarek przebiega nie po łuku kołowym, ale po innej linii krzywej, zwanej cykloidą; w zegarze zatem, opatrzonym w wahadło tego rodzaju, nie potrzebaby się troszczyć, aby jednakowemu zawsze ulegało impulsowi. Rzeczywiście Huygens wskazał już sposób takiego zawieszania wahadła, aby przebiegało drogę cykloidalną, a w czasach późniejszych do pomysłu tego nieraz wracano; z powodu wszakże trudności technicznych, z jakimi urządzenie to jest połączone, nie weszło ono w użycie.

VII.

Drugą kategorię czasomierzy stanowią zegarki; zdrobniła nazwa nie odpowiada tu zmniejszonym tylko wymiarom, ale odmiennemu urządzeniu. W miejscach opadającej wagi ruch mechanizmu wywołuje sprężyna, która, wyprowadzona ze stanu swej równowagi przez nakręcenie zegarka, usiłuje do stanu tego wrócić, czem powoduje ruch połączonych z nią kółek.

Ruch ten wszakże, ciąglem rozkręcaniem się sprężyny utrzymywany, zachodziłby również coraz prędzej; każda bowiem siła statecznie działająca, jakby przez coraz sumujące się impulsy, ruch przyspieszony wywołuje. Potrzeba i tu zatem regulatora, któryby w jednakich odstępach czasu ciągłość tego ruchu przerywał, a regulatorem tym i tu jest wahadło. Nie wahadło zwykłe wprowadzie, kołyszące się pod działaniem siły ciężkości, niemniej jednak kombinacja, która również ruchy wahadłowe wykonywa. Jest to bowiem małe, na osi osadzone kółko, opatrzone w bardzo cienką i spiralnie zwiniętą sprężynkę, zwaną włosiem; skręty tego włosa, ze stanu równowagi usunięte, rozszerzają się i ściągają, przenosząc ruch ten na połączone z niemi kółko, które ztąd kręci się wciąż na prawo i lewo. Balansjer ten zatem, działaniem sprężystości w ruchu utrzymywany, odegrywa zupełnie rolę wahadła i ze sprężyną poruszającą tak jest systemem wychwytów związany, że ciągłość jej działania wciąż przerywa, sam zaś doznaje bezustannych popędów, które zapewniają jednostajność jego kołysań.

Aż dotąd zatem zupełną znajdujemy analogię

w budowie zegarów wagowych i sprężynowych, w tych ostatnich wszakże nieunikniona jest większa zawieszoność. Siła bowiem ciężkości, przyciąganie ziemi, jednakowo zawsze na opadającą wagę działa, z kąd bieg jej jest jednostajnie przyspieszony; ze sprężyną inaczej się dzieje: przez skrócenie wzbudzona w niej sprężystość w miarę jej rozwijania się słabnie; wywiera przeto na mechanizm zegara ciśnienie coraz mniejsze i powodowałaby ruch niejednostajnie przyspieszony. Konieczne jest tu zatem urządzenie dodatkowe, któreby usuwało wpływ ciągłego słabnięcia siły poruszającej; potrzeba pośrednika między sprężyną poruszającą a balansjerem. Pośrednikiem takim jest ślimak. Jest to stożek mosiężny, zwężający się ku górze, po którym wiję się równia pochyła, ślimakowato skręcona, jak droga na górę wiodąca; gdy sprężyna rozkręca się i tem samem wprawia w obrót bęben, w którym się mieści, wtedy zarazem działa i na ślimak za pośrednictwem łańcucha, który się zwija dokoła coraz szerszych jego skrętów. Z początku więc działa na skręty niewielkie, następnie na coraz rozleglejsze, które, jakby coraz dłuższe ramiona drążka, coraz mniejszej do obrotu wymagają siły. W ten sposób wynagradza się ciągły ubytek siły poruszającej.

Aby otrzymać zegarki mniej wypukłe, postarano się o wyrugowanie ślimaka i zastąpienie go innemi sposobami; zastosowano więc sprężyny niejednostajnej grubości i szerokości, tak aby w miarę ubytku sprężystości coraz dzielniejsze części na widownię występowały, ale i przy użyciu jednostajnej sprężyny zaradziły temu stosowne systemy wychwytów.

Jak na wahadło zegarów wagowych, tak też

wpływa ciepło i na balansjery zegarków, a nawet silniej jeszcze; nie tylko bowiem wzrost temperatury działa na sprężystość drgającego włosa, ale zarazem powiększa i średnicę kółka, w którym jest on osadzony. I tu zatem, jak przy wahadłach zwykłych, trzeba było wprowadzić kompensację, która zresztą na podobnych mniej więcej zasadach polega.

Zegary sprężynowe pojawiły się w początkach wieku szesnastego, a jako ich wynalzcę wymieniają Piotra Hele z Norymbergi; wynalazca ślimaka jest nieznany. Wprowadzenie sprężyny spiralnej czyli włosa zawdzięczamy, podobnie jak zastosowanie wahadła do zegarów wagowych, Huygensowi, a pierwszy zegarek kieszonkowy wedle jego pomysłu wyrobił zegarmistrz Turet w Paryżu 1674 r. I ten wszakże wynalazek dał również powód do zaciętego sporu, z roszczeniem bowiem do pierwszeństwa wystąpił namiętnie Robert Hooke, sławny sekretarz towarzystwa królewskiego w Londynie. Według własnego oświadczenia powziął on już w r. 1658 pomysł użycia sprężyny stalowej, jako regulatora do zegarków, a następnie traktował z kilku uczonymi o wyjednanie na wynalazek ten patentu; zanim jednak zdołał pierwszy swój zegarek wykończyć, co nastąpiło w r. 1676, Huygens skorzystał z jego pomysłu, o którym miał się dowiedzieć od jednego z członków towarzystwa królewskiego. O ile uzasadnione jest to wystąpienie, trudno powiedzieć; Hooke bowiem, człowiek niewątpliwie rozległej nauki i wysokich zdolności, cechował się przedewszystkiem charakterem kłótliwym i ambicją niesłychaną: wszystko wiedział, sobie przypisywał pierwszeństwo wszystkich niemal społecznych mu odkryć i wynalazków; Newtona

nawet oskarżył o plagjat w odkryciu praw ciężenia powszechnego.

Huygens wykazał nadto pożytek, jaki przynieść mogą podobne zegary przenośne przy oznaczaniu długości geograficznej, zwłaszcza na morzu, a z tego względu parlament angielski wyznaczył nagrodę 20,000 funtów za takie udoskonalenie tych zegarów, by przy ich pomocy można było długość geograficzną oznaczać z błędem nie przechodzącym pół stopnia. Połowę tej znacznej nagrody osiągnął znany nam już Harrison dopiero w r. 1764, gdy, wprowadziwszy kompensację i inne ulepszenia, dostarczył admiralicji brytańskiej chronometr, przedstawiający pożądaną ścisłość, a od owego czasu sztuka wyrabiania dokładnych chronometrów tak się rozwinęła, że, zdaje się, doszła już do granicy dla biegłości człowieka dostępnej.

Dobry zegar nie powinien rzeczywiście dawać błędu większego nad pół sekundy na dobę, czyli przekraczającego drobny ułamek $\frac{1}{172,800}$, a tanie nawet zegarki błędzą zaledwie o dwie lub trzy minuty na tydzień, dokładność ich zatem wynosi $\frac{3}{10,000}$. Wybor-

ne chronometry dochodzą ścisłości $\frac{1}{432,000}$, w ciągu doby bowiem dają różnicę nie przechodzącą piątej części sekundy. Aby podobną osiągnąć ścisłość przy ocenie długości lub masy, trzeba przyrządów wyjątkowej dokładności przy szczególnej baczności i wprawie; przy zwykłym mierzeniu i ważeniu popełniamy błędy wielokrotnie większe. Długość, masa i czas stanowią, jak zaznaczyliśmy wyżej, wielkości zasad-

nicze, do których sprowadzają się wszelkie pomiary, ale czas mierzymy z najznaczniejszą dokładnością i największą łatwością. Jest to wielkość, która nas widocznie najbliżiej dotyczy, niewielu bowiem tylko dźwiga przy sobie łokieć, a nikt prawie nie zabiera ze sobą wagi i gwichtów; z zegarkiem tylko nie rozstajemy się nigdy, jest on najbliższym towarzyszem naszym i doradcą wiernym. Posiadanie zegarka jest marzeniem chłopca i stanowi nagrodę jego pilności; czeladnik z terminatora wyzwolony chlubi się nim wobec towarzyszy, jako dowodem swej rzadności, a skromny, srebrny zegarek studenta ileż to razy od głodu i chłodu ratuje swego właściciela. Pozór życia mający mechanizm zegarka budzi podziw dziecka; ale też—rzecz dziwna zaiste—z całego zastępu przyrządów, którym nas postęp techniki obdarzył, jest on najmniej może znany, a mechanika i fizyka szkolna nie zadają sobie nawet trudu, by wyjaśnić tę gmatwaninę kół i kólek, co przecież istotny ich tryumf stanowią.

VIII.

Unormowanie stosunków w wielkich ogniskach działalności ludzkiej wywołało potrzebę zaprowadzenia dokładnej obsługi czasu, polegającej na tem, by wszystkie zegary miejskie jednaki czas wskazywały. Obecnie, gdy telegraf elektryczny w jednej chwili roznosi wieści w najodleglejsze okolice ziemi, urządzenie takie trudności nie przedstawia; w samej też rzeczy rozsyłanie godziny albo regulowanie zegarów

stanowi poniekąd rodzaj telegrafii. Jeden bowiem zegar normalny wywołuje ruch skazówek na setkach tarcz zegarowych, po całym mieście rozrzuconych; cel ten osiągnąć się daje w ten sposób, że zegar normalny w oznaczonych odstępach czasu, co minuta zwykle, zamyka automatycznie prąd elektryczny, który, rozbiegając się po drutach, wzbudza elektromagnesy i powoduje tem na połączonych z niemi tarczach przeskok skazówki minutowej o jedną kreskę podziałki. System ten wszakże nie jest wolny od niedogodności, druty bowiem w miastach łatwo uszkodzeniu ulegać mogą, a niekiedy i elektryczność atmosferyczna przeszkadza należytej działalności prądu galwanicznego. Dla tego też korzystniejszym okazało się pozostawienie zegarów niezależnych, które tylko co godzina, albo i raz na dobę, za pośrednictwem prądu elektrycznego doprowadzają się do zupełnej zgody z zegarem normalnym.

Ze szczególną zwłaszcza starannością system przesyłania godziny rozwinięty jest w Stanach Zjednoczonych, stanowi to nawet jedno z głównych zadań obserwatorium waszyngtońskiego. Godzina z Waszyngtonu przesyła się codziennie do głównych portów atlantyckich. Poczynając od trzech minut przed południem aż do chwili południa przesyła się czas co sekunda, a na każdej stacji elektromagnes, wzbudzony prądem nadsyłanym, odtwarza każde uderzenie chronometru, znajdującego się w sali obserwatorium stołecznego; w kilku zaś miastach w chwili południa, pod wpływem prądu, spadają w widocznych punktach osadzone kule. Prąd również poprawia, w południe, trzysta lub czterysta zegarów rozrzuconych po szkołach, ministerjach i zakładach publicznych Waszyng-

tonu. W podobnyż sposób obserwatorium w Neufchatel przesyła codziennie godzinę do głównych ognisk fabrykacji zegarów w Szwajcarji.

Przy usługach wszakże, jakie nam elektryczność na wszelkich polach oddaje, byłoby dziwnem, gdyby li tylko w roli pośrednika przy mierzeniu czasu występować mogła. Rzeczywiście też posiadamy i prawdziwe zegary elektryczne, zegary zatem, gdzie elektryczność jest sama motorem i zastępuje działanie wagi lub sprężyny. Wobec jednakże doskonałości zegarów mechanicznych zegary elektryczne donioślejszego znaczenia zdobyć nie mogą, a lubo w pewnych szczególnych przypadkach użyteczne, stanowią wogóle przyrządy ciekawości raczej, aniżeli istotnego pożytku praktycznego.

IX.

Jakkolwiek nikłym ciągiem czasu wydaje się nam sekunda, przy wielu badaniach naukowych, a nawet i w celach praktycznych, zachodzi potrzeba ujmowania drobnych jej części, setnych, tysięcznych. Na zegarze zwyczajnym sekundy dzielić nie można, chociaż bowiem wszystkie wachnięcia są między sobą izochroniczne, każde oddzielnie wszakże ma przebieg wcale niejednostajny; trzeba by więc radzić sobie użyciem wahadła krótkiego, którego ruchy dokonywały się bardzo szybko, jak to ma miejsce w znanych taktomiarach muzycznych, gdzie nawet przesuwanie ciężarka pozwala wahadło takie dowolnie skracać i wydłużać, a tem samem szybkość jego kołysań zmie-

niać. Gdy wszakże idzie o czasy bardzo drobne, wahadła musiałyby być nader krótkie, a jak łatwo pojąć, różne względy kładą rychło kres zbytniemu jego skracaniu.

Trzeba więc było szukać metod innych, a chociaż przyrządy do celu tego służące są często bardzo zawiłe, polegają w ogólności na prostych zasadach. Wobraźmy sobie walec, uczerniony sadzą, który za pomocą mechanizmu zegarowego obraca się, dajmy, raz na sekundę; pręcik, dotykający tego walca, ścięra przy obrocie sadzę i kreśli na nim linię, stosowne zaś urządzenie pozwala pręcikiem tym tak manewrować, że w żądanej chwili może on być do walca zbliżany lub od niego oddalany. W ciągu całego obrotu pręcik oczywiście opisze na walcu pełny okrąg, przez dziesiątą zatem lub setną część sekundy nakreśli tylko dziesiątą lub setną część okręgu, z długości tedy linji na walcu wypisanej odczytujemy długość czasu obserwacji. Przez zwiększanie wymiarów walca i przez podwyższanie szybkości jego obrotu mamy nieograniczoną prawie drogę ujmowania by najdrobniejszych części czasu; idzie więc o to tylko, aby pręcik dokładnie zaznaczał początek i koniec obserwowanego zjawiska, a do należytego posłuszeństwa zagnaliśmy go dobrze za pośrednictwem prądu galwanicznego.

Chronoskop tego rodzaju jest najczęściej używany, nie brak wszakże przyrządów polegających i na odmiennych zasadach. Metody doświadczalne tak dalece się rozwinęły, a na usługi mają narzędzia tak doskonałe i tak starannie wyrobione, że nauka podjąć zdołała badania, które niezbyt dawno mrzonkami tylko wydawać się mogły. Szybkość światła,

którą poznano z obserwacji astronomicznych, jest tak wielka, że wydawało się niemożliwym, by ją potrafiło drogą doświadczenia ująć; a wszakże już przed kilku dziesiątkami lat Fizeau i Foucault obmyśliли metody, które dozwoliły zadanie to szczęśliwie rozwiązać, chociaż milę geograficzną światło przebiega w czasie krótszym nad jedną czterdziesto-tysięczną część sekundy. Wheatstone, później Casin i Lucas, dochodzili, jak długo trwa przebieg iskry elektrycznej, a doświadczenia wykazały im ledwie stutysięczne i milionowe części sekundy. Wiadomo, że są ciała, posiadające zgołność fosforescencji czyli świecenia po poprzednim wystawieniu ich na światło: Becquerel okazał, że własność ta zgoła nie jest rzadka i przypada przeważnej ilości ciał, trwa jednak tak krótko, że uchodzi zwykłym dostrzeżeniom, w wielu bowiem razach nie przenosi trzechsetnej części sekundy.

Podobnie badania napotykamy obecnie już nie tylko w fizyce, ale i w innych dziedzinach wiedzy przyrodniczej. Chemik wyczytuje czas przebiegu procesów chemicznych i oznacza szybkość rozchodzenia się fal, przez eksplozję wzbudzonych. Artylerzysta wykrywa szybkość biegu kuli armatniej lub czas, przez jaki w lufie bawi, a fizjolog ocenia czas, jaki upływa, zanim wrażenie, na zmysł wywarłe, do mózgu dobiega.

Po przykłady czasów tak drobnych sięgnąć możemy i do fotografii. Aby uchwycić szczegóły na powierzchni słońca występujące, trzeba było jak najbardziej zredukować czas wystawienia płyty fotograficznej, inaczej bowiem, pod bezpośrednim działaniem promieni słonecznych, ulega ona tylko jedno-

stajnemu zczernieniu; głośny astronom francuski Janssen zdołał aparat swój tak urządzić, że czas ten zeszedł do $\frac{1}{3000}$ części sekundy, a w ten sposób od-fotografował nie tylko plamy słoneczne, ale i szczegóły budowy chromosfery, czyli najgłębszej warstwy słońca, dostrzeżeniom naszym jeszcze dostępnej.—Fuzja fotograficzna Mareya, za pomocą której badacz ten ruchów zwierzęcych chwyta obrazy konia w biegu lub ptaka w locie, daje dwanaście obrazów na sekundę, czas zaś wystawienia płyty wynosi za ledwie $\frac{1}{720}$ sekundy, a Muybridge podaje nawet, że do ujęcia obrazu zwierzęcia w biegu starczyłaby mu dwutysięczna część sekundy.

A wreszcie, gdy chwila jest już tak niewypowiedzianie drobna, że doświadczenie bezpośrednie żadną miarą ująćby jej nie zdołało, nastroczają się drogi pośrednie, teoretycznie uzasadnione i niewątpliwe. Światło, podobnie jak głos, jest objawem drgania; ale gdy struna brząca wydaje na sekundę 16 do 70,000 drgań, ciało świeci wtedy dopiero, gdy cząstki jego dokonywają na sekundę 400 do 800 tryljonów drgań. Drganie zatem, które wzbudza w nas poczucie czerwieni, trwa ledwie $\frac{1}{400,000,000,000,000}$ wrażenia zaś fioletu doznajemy, gdy drganie wynosi tylko $\frac{1}{800,000,000,000,000}$ część sekundy. Ułamki tak drobne wydają się fantastyczne, odcyfrowane zostały wszakże z rzetelnością niekłamana; podobnej pewności nie znajdziemy już na nieszczęście, gdy od tych chwi-

lek nikłych zwrócimy się do okresów olbrzymich, odnoszących się do czasu istnienia i rozwoju naszej bryły ziemskiej.

X.

Wiele, aniżeli jakakolwiek inna gałąź wiedzy przyrodniczej, wpływowi legend biblijnych uległa geologia; jakkolwiek bowiem przez dni z powieści hebrajskiej o stworzeniu świata rozumieć zaczęto długie okresy, to wszakże na tle tem wyrosła teoria przewrotów czyli katastrof w dziejach rozwoju ziemi. Poglądom tym początek dał mianowicie Cuvier, gdy w szczątkach istot niegdyś na ziemi żyjących poznał dokumenty do odczytania jej dziejów posłużyć mogące. Widząc, że badane przezeń skamieniałości dawnych istot kręgowych niepodobne są do istot dzisiejszych, a nadto, że i szczątki w różnych piętrach ziemi zagrzebane są różne jedne od drugich, podzielił cały bieg dziejów ziemi jakby na odrębne okresy, odgraniczone między sobą stanowczo potężnymi katastrofami, których groza całą powierzchnią globu naszego wstrząsała, sprowadzając zgubę wszystkiego na niej życia. Każdy okres dziejów ziemi posiadał właściwy sobie świat organiczny, a po każdej jego zagładzie nowy znów akt stworzenia nowe istoty do życia powoływał; wyjątkowo chyba tylko wytrzymał jakiś gatunek zdolny uciec zniszczeniu i wśród przeobrażonej przyrody byt swój utrzymał. W teorii tej przeto oddzielne okresy mają znaczenie dawnych dni biblijnych, ale dni te, w ciągu których przemijały

liczne szeregi całych pokoleń istot żyjących, urastać już musiały w długie ciągi czasu, w całe setki tysięcy i miliony lat.

Hypoteza przewrotów takich ustąpić wszakże musiała, skoro Lyell wykazał, że cały ogół przeobrażeń, jakim ziemia w stopniowym swym rozwoju ulega, wyjaśnić się daje na podstawie dotąd jeszcze zachodzących objawów i sił obecnie jeszcze występujących; przeobrażenia zatem, jakie dokonywały się na powierzchni globu naszego, nie odbywały się przez nagłe i powszechne przewroty, ale były następstwem zmian powolnych i drobnych, które nie przerywały zgoła ciągłości życia organicznego. Rzecz jasna, że wobec tych nowych poglądów na historję ziemi rozsunać się jeszcze musiał obszar czasu, potrzebnego do wytworzenia jej skorupy; trzeba już bowiem było całych setek milionów lat, by przez sumowanie zmian tak nikłych i niedostrzegalnych, jakie się i za naszych czasów dokonywają, wyjaśnić rozwinięcie się potężnych pokładów i ich przeobrażanie, powstawanie i zagładę pasm górskich. Czas stał się sprzymierzeńcem geologa, jako czynnik dowolny, jako jedyna zmienna niezależna, którą w spekulacjach swoich bezwzględnie mógł rozporządzać. A zaiste, rachunek geologów nieledwie skromnym okazać się musiał, gdy wystąpiła i teoria descenderji, wyprowadzająca wszystkich świat dzisiejszy istot żyjących ze wspólnego początku również drogą stopniowych i nieznacznych tylko przeobrażeń, i biologia bowiem, tak samo jak geologia, na odparcie następczących się w teorii rozwoju istot trudności za każdym razem działanie czasu na pomoc powołać może.

Długością okresów istnienia ziemi geologia

rzeczywiście rozporządzać może dowolnie, nie posiadamy bowiem zgoła sposobów, któreby nam chronologję ziemi z przybliżoną choćby dokładnością odczytać dozwoliły. Przyjrzyjmy się jednak środkom, któremi zadanie to zaatakować przynajmniej próbowano.

W duchu dzisiejszych poglądów swoich, że przyczyny powodujące przeobrażenia skorupy ziemskiej działały zawsze z jednakiem natężeniem, wnioskuje geologia o przeszłości z tego, co się dzieje obecnie. Do takiego zaś wnioskowania nadaje się najdogodniej narastanie pokładów osadowych.

Wielkie rzeki przy corocznych swych wylewach pozostawiają zawsze na obszarach zajmowanych przez wezbrane wody pewien osad; powolne narastanie takich napływów zauważono już dawno, a następnie zapragnięto obliczyć czas, jakiego rzeki do ich wytworzenia potrzebują. Jako taki utwór napływowy słynie zwłaszcza od wieków delta nilowa. I dziś jeszcze Nil wylewa jak w czasach starożytnych, i dziś jeszcze pozostawia swój muł użyźniający, skutkiem czego pola zalewane w górę narastają.

Delta nilowa ma postać trójkąta, którego wierzchołek przypada okok Kairu, w pobliżu piramidy dawnego Memfis, podstawa długim zaś łukiem opiera się o morze; odległość od Kairu do Burlos nad morzem wynosi 23 mile geograficzne, odległość między dwoma skrajnymi ujściami rzeki około 40 mil, powierzchnia przeto całej delty około 400 mil kw. Wylewy Nilu następują głównie skutkiem wzbierania dopływów jego przebiegających Abisynję,—rzeki te podczas tamecznej pory dżdżystej, od połowy czerwca do września, dochodzą znacznej potęgi, gdy w ciągu

miesiący pozostałych prawie wysychają. Gdy zatem dopływy te schodzą do skromnych rozmiarów, Nil czerpie swe wody głównie z wielkich jezior Wiktorji i Alberta, oraz z dopływów Białego Nilu; ale w połowie czerwca następuje przybór, a Egipt dolny ulega zalewowi. Atbara, zwana też Czarną rzeką, wprowadza znaczną ilość mułu, który na delcie osiada. Oba zatem jeziora równikowe podtrzymują Nil, dopływy abisyńskie powodują wylewy. Przebieg taki trwa już przez cały ciąg czasów historycznych; po zdobyciu Egiptu pisał Amru do kalifa Omara, że kraj daje naprzemian obraz pola zamulonego, morza wody słodkiej i rozkosznego ogrodu.

Naukowe badania delty nilowej datują od czasu pamiętnej wyprawy Bonapartego 1798 r., w której uczestniczył zastęp uczonych. Pod warstwą mułu napotkał Girard gruboziarnisty piasek morski; na tym więc podkładzie, w obrębie ograniczonym skałami wapiennymi, składał Nil muł swój w ciągu wieków i wypełnił dawną zatokę morską, której ostatnie ślady widzimy jeszcze w lagunach.

Gdy wylewy roczne rzeki odgrywały tak ważną rolę w gospodarstwie kraju, od najdawniejszych już czasów na stan wód uwagę zwracano i wysokość jej odczytywano na wodoskazach umyślnie wzniesionych. Dno rzeki podnosi się według tegoż samego prawa, któremu ulega podnoszenie się czyli narost delty; jeżeli więc wodoskaz pozostaje przez czas długi nienaruszony, dojść musi wreszcie do tego, że wskazywany przezeń najwyższy stan wód wznosić się musi znacznie ponad najwyższy stan wód w czasach dawniejszych.

Gdyby Nil corocznie osadzał warstwę wyraźną,

gdyby, innemi słowy, osad mułu rzecznoego posiadał budowę wyraźnie warstwową, możnaby łatwo z ilości warstw takich odczytać liczbę lat i ciąg czasu oznaczyć. Tak jednak rzeczy się nie mają; gdzieniegdzie tylko po bokach delty, gdzie wiatr znosi piasek pustyni, napotkać można warstwy piasku ułożone na przemian z warstwami mułu, zresztą delta nilowa nie okazuje uwarstwowania wyraźnego; przy pomocy warstw tedy odczytać czasu nie można i należy odwoływać się do wodoskazów, których znaczenie zrozumiał właśnie Girard.

Girard zbadał wodoskaz pod Kairem i odkrył też inny, stary wodoskaz nilowy obok Elefantyny, ten sam, który opisany był przez Strabona; wryty jest on na murze, obok schodów prowadzących do Nilu. Przy najwyższej jego kresie wypisana jest cyframi greckimi liczba 24, oznaczała ona tedy w miarach egipskich wysokość wielkich wezbrań za Ptolemeuszów. Stare te znaki porównał Girard ze śladami, jakie pozostawiały na murze wielkie wylewy w czasach ostatnich, skąd okazała się różnica 2,41 metra; o taką więc wysokość podnieść się musiało dno Nilu od urządzenia wodoskazu. Czasu, kiedy wodomiar ten założony został, nie można było wprawdzie oznaczyć, znajduje się wszakże na nim napis, zawierający nazwisko Septymjusza Sewera (193 — 211); napis ten umieszczony został zapewne dla oznaczenia wylewu, który sięgał już wyżej ponad kresę, wskazaną liczbą 24. Jeżeli przyjmiemy, że napis ten pochodzi z r. 200, to podwyższenie dna Nilu obok Elefantyny wynosi na stulecie 0,152 metra.

Inny wodoskaz nilowy w Kairze, na wyspie Rudah, stanowi kolumna marmurowa w czworokątnym

basenie, który się łączy z rzeką. Kolumna ta, odbudowana przez kalifów w połowie wieku dziewiątego, podzielona jest na 16 odstępów, z których każdy posiada długość 0,541 metra. Różnica między pełnym wylewem z roku 1800 a wylewem z czasów założenia wodoskazu wynosiła 1,149 metra, co daje na podwyższenie się dna rzeki pod Kairem 0,120 metra na stulecie. Girard oznaczył średnią z obu wykrytych w ten sposób liczb i przyjął, że wielkość ta, mianowicie 0,126 metra, daje podnoszenie się dna Nilu w ciągu stulecia; przyrost przeto delty w kierunku pionowym zachodzi w tymże samym stosunku. Girard rozpatrzył nadto różne stare pomniki Egiptu, odkopał zamulone ich fundamenty, zmierzył wysokość otaczających je nasypów i na podstawie powyższej liczby 0,126 metra oznaczył czas, kiedy te pomniki wzniesione zostały. Według tych obliczeń czas zabudowania Teb przypada na rok 2960 przed Chr., założenia pomników luksorskich na r. 1400 przed Chr.

W czasach późniejszych podobne poszukiwania prowadzono na rozleglejszą skalę, rozkopywano deltę w różnych miejscach, wiercono w niej otwory świdrowe. Podczas podobnych robót, dokonywanych w roku 1851 i 1854 pod kierunkiem Hekekyana Beja, w obecności Hornera, napotkano w różnych głębokościach liczne skorupy naczyń z gliny palonej; pod Heliopolis znaleziono je w głębokości 60 stóp ang., a Karol Lyell, przyjmując, że grunt w ciągu stulecia narasta o 6 cali, obliczył wiek tych skorup na lat 12,000. Podobne odłamki znalazł Linant Bej prawie w samym wierzchołku delty w głębokości 72 stóp ang., gdy zaś tu przyrost stuletni oceniono tylko na

dwa cale i trzy linje, trzeba było skorupom tym przypisać starość 30,000 lat.

Na podstawie tedy tak wątpliwych dowodów chciało utrzymywać, że przed dwunastu i trzydziestu tysiącami lat żył już człowiek i osiągnął tego stopnia kultury, który się cechuje sztuką wyrabiania naczyń glinianych. Oskar Fraas wykazał jednak, że ze skorup takich niepodobna wysnuwać wniosków tak daleko sięgających; w Egipcie bowiem zawsze wykopywano studnie i kanały do znacznej głębokości, szczątki przeto naczyń rozrzucone po ziemi łatwo dostawać się mogły do takich dołów, zwłaszcza, że drogi wiodły wzdłuż kanałów, a podróżni zabierali ze sobą dzbanki do wody. Podobnie i Maks Eyth, naczelny inżynier za Halima-paszy, poznał liczne ślady dawnych robót, mających na celu sztuczne nawodnianie kraju, któryby bez takich środków żyzności swej utrzymać nie mógł, gdyż po opadnięciu wód wezbranych muł wysycha szybko i twardnieje tak dalece, że bez wód sztucznie doprowadzanych nie mógłby być uprawiany; częste zaś zmiany w biegu tych kanałów utrudniają obliczanie wieku opadów wodnych. Przesycona bowiem mułem woda nilowa składa w różnych miejscach bardzo różne jego ilości; gdzie ziemia jest zagłębiona, a woda płynie spokojnie lub zatrzymuje się w miejscu, tworzy się osad silny, gdzie natomiast postarano się o to, aby odpływ jej zachodził szybko, nie pozostawia prawie wcale osadu.

Zresztą, rachunków, odnoszących się do przyrostu napływów w pewnym miejscu delty, nie można rozciągać do całej jej powierzchni, zarówno bowiem obserwacje wodoskazów jak i zamulanie pomników, których czas wzniesienia jest znany, wskazują, że

narost osadów w różnych punktach jest niejednaki. Obok wyspy Elefantyny w ciągu 1700 lat grunt miał narosnąć o 9 stóp, pod Tebami o 7, pod Kairem o 5 stóp i 10 cali tylko, a w pobliżu ujść przyrost jest jeszcze słabszy. Gdy niegdyś delta węższa była, musiała być też odmienna i grubość pozostawianej przez rzekę warstwy. Wszystko to osłabia wiarygodność rachunków, wyprowadzających długość czasu z grubości pokładów.

Podstawę do podobnego obliczenia daje nam oznaczona przez Girarda wysokość narostu gruntu 0,126 metra w ciągu stulecia czyli 1,26 m. na 1000 lat; obliczenie to odnosi się w szczególności do okolic Kairu, gdzie pokład mułu, spoczywający na podstawie piaszczystej, wynosi 8 metrów; wypada stąd, że utworzenie całej delty, licząc od jej wierzchołka pod Kairem, trwało lat 6350.

Kjerulf podaje inne jeszcze obliczenie, oparte na ilości mułu unoszonego przez rzekę, oraz na rozległości i głębokości delty. Delta nilowa, jak wyżej przytoczyliśmy, jest u podstawy szeroka na mil 40, gdy odległość wierzchołka od tej podstawy czyni mil 23; powierzchnia jej wynosi zatem 263 960 milionów stóp kwadratowych (26 000 milionów metrów kwadr.). Jeżeli dalej głębokość jej ocenimy na 10 metrów czyli 31,8 stóp, to objętość całej delty nilowej okazuje się równą 8 425 728 milionom stóp sześć. (260 000 milionom metrów sześć.). Z drugiej strony, według Ehrenberga, który rozpatrywał wodę nilową, sprowadzoną przez Lepsius'a z epoki wezbrania, ilość części stałych, jaka w Nilu w ciągu sekundy opada, wynosi 130,9 stóp sześć., co na rok czyni 2 064 milionów stóp sześć., licząc tylko czas przyboru wody. Wszyst-

ka przeto masa, stanowiąca deltę nilową, zniesioną być mogła w ciągu

$$\frac{8\,425\,728}{2\,064} = 4\,082 \text{ lat.}$$

Do obliczeń tych Kjerulf nie przywiązuje wprawdzie wielkiej wagi, ale wysnuwa z nich wniosek, że czas, w ciągu którego utworzyła się delta nilowa, nie przekracza 4 000 do 6 000 lat. Rachunek ten jednak krytyki wytrzymać nie może: ocena ilości mułu unieszonego przez rzekę jest zbyt pobieżna, nie bierze się pod uwagę ilości osadu przeprowadzanego przez rzekę do morza, a przyrost mułu pod Kairem nie zawsze zapewne wynosił 1,26 metra na tysiąciolecie. Można łatwo i inne niemniejszej wagi przytoczyć zarzuty, dosyć jednak powtórzyć słowa wspomnianego wyżej inżyniera Eytha: „Fellah, który brzeg swej łąki tamą otacza, może w ciągu jednego roku dodać kilka tysięcy lat do mozolnych obliczeń uczonych europejskich“.

Bardziej jeszcze uderzający przykład tych trudności przedstawia nam inna delta, która także była przedmiotem wielu badań, mianowicie delta olbrzymiej Mississipi, której nazwa w języku Indian rodzicielkę wód ma oznaczać.

Każdy z jej dopływów, Red River, Arkansas, Missouri, Ohio, sam przez się stanowi już wielką rzekę; materiał, jaki one sprowadzają, zabiera Mississipi i buduje z niego deltę przy swem ujściu do zatoki Meksykańskiej. Powierzchnia jej większa jest od powierzchni delty nilowej w stosunku 4 : 3, a posuwanie się jej w stronę morza jest też widoczniejsze,

aniżeli jakiegokolwiek innego podobnego utworu napływowego. Odwoływano się do niej nieraz, jako do chronometru ziemi.

Przyjmując rozległość jej na 13 600 mil kw. ang., głębokość na $\frac{1}{10}$ mili ang. czyli 528 stóp, a ilość mułu, sprowadzanego przez rzekę w ciągu roku, na 3 702 758 400 stóp sześciennych, obliczył Karol Lyell wiek tej delty na lat 67 000. Według innych danych rzeka unosić ma większą ilość wody, aniżeli dawniej przyjmowano; zwrócono też uwagę, że pewna ilość mułu sunie po dnie rzeki, należy ją przeto dodać do materiału bujającego w wodzie, — z tego względu sądzi Lyell, że możnaby ten obszar zredukować do połowy, to jest do 33 500 lat, w ogólności jednak liczby pierwszej nie uważa za przesadzoną, a nawet w słynnym swem dziele „O starożytności człowieka“ zaokrągliła ją do 100 000 lat. Ponieważ nadto, pod Natchez, w górze doliny Mississipi, w pokładach dawniejszych aniżeli napływy delty, napotkano kości ludzkie, skłania się Lyell do wniosku, że człowiek w Ameryce północnej żył już przed stu tysiącami lat, społecznie z wygasłym mastodonem.

Obliczenia Karola Vogta sięgają dalej jeszcze; na podstawie otworu świdrowego, wywierconego pod Nowym Orleanem, przyjmuje on, że głębokość pokładów stanowiących deltę wynosi 600 stóp, stąd zaś wyprowadza, że tworzenie się tej delty obejmuje okres 126 000 lat; a że i tu, w pewnej głębokości, znaleziono czaszkę ludzką, ma ona świadczyć o istnieniu człowieka przed 51 900 laty.

Błyskotliwym tym jednak liczbom przeciwstawić nam teraz wypada rachunki o wiele skromniejsze, przeprowadzone przez inżynierów Humphreya i Ab-

bota, którzy w r. 1851—61 zajmowali się opracowywaniem planu ochrony wybrzeży od niszczących je zalewów. Badania ich wykazały przede wszystkim tę ważną okoliczność, że pokłady napływowe w całej delcie i w dolinie rzeki nie mają zgoła tak znacznej głębokości, jaką im przypisywano poprzednio, wspierają się bowiem na warstwie gliny dawniejszego pochodzenia. Pod Nowym Orleanem napotkano w głębokości 41 stóp warstwę przepelnioną muszlami morskimi, było to więc dno morskie, po którym rozpostarł się muł rzeczny. W innych punktach delty natrafiono na te obce pokłady już w głębokości 20 stóp. Grubość zatem pokładów napływowych, oceniana poprzednio na $\frac{1}{10}$ mili ang., zredukowana została do 20—40 stóp zaledwie.

Ocena ilości materiału sprowadzanego przez rzekę wymagała znacznej staranności, w różnych bowiem odległościach od dna rzeki ilość ta dosyć jest różna. Z licznych szeregu dostrzeżeń wnioskuje wspomniani autorowie, że 1 500 części wody na wagę unoszą 1 część mułu; ponieważ zaś ciężar właściwy tego mułu czyni 1,9, przeto na objętość przypada jedna jego część na 2 900 części wody rzecznej.

Ponieważ dalej, Mississippi unosi rocznie do morza 19 500 000 000 000 stóp sześć., na zasadzie przeto powyższego stosunku ocenić można ilość mułu bujającego w rzece, do czego wszakże dodać należy jeszcze i materiał tłoczący się po dnie i po bokach rzeki, a który, według oceny tychże autorów, wynosi około $\frac{1}{5}$ części ilości cząstek w rzece zawieszonych. Rezultat rachunku tego uczy, że wszystek materiał przez rzekę w ciągu roku doprowadzany utworzyłby potęż-

ny słup, mający za podstawę 1 kwadratową milę ang., a sięgający w górę na 250 stóp.

Aby przy pomocy tych danych obliczyć wiek delty, znać należy rozległość zajmowanej przez nią przestrzeni oraz grubość stanowiącego ją pokładu; obie te liczby podać wszakże można tylko z przybliżeniem. Humphrey i Abbot przyjmują rozległość 12 300 mil ang., a średnią głębokość 50 stóp; ostatnia ta liczba większa jest od przycoczonych wyżej rezultatów sondowań, a to ze względu na większą głębokość skrajnych okolic delty, gdzie się ona w morze wysuwa. Powyżej obliczony słup roczny mułu, wznoszący się 250 stóp na podstawie jednej mili kwadratowej, utworzyłby powłokę grubości 50 stóp na przestrzeni pięciu mil kw., dla wypełnienia przeto całej delty potrzeba było $12\,300 : 5 = 2\,460$ lat.

Humphrey rachunek taki przeprowadził i na innej jeszcze podstawie, opierając się mianowicie na widocznym przyroście delty, który przy różnych ujęciach jest nieco odmienny, średnio jednak wynosi 262 stopy rocznie. Ślady dawnego wybrzeża morskigo pozwalają wnosić, że Mississippi pracę swą nad usypywaniem delty rozpoczęła pod Plaquemine, w oddaleniu 226 mil ang. od obecnego (1861) swego ujścia, taka zaś rozległość przy wzroście rocznym 262 stóp utworzyć się mogła w ciągu 4 400 lat.

Oba te obliczenia, jak to autorowie sami uznają, same przez się nie mają wartości żadnej; prowadząc wszakże do kilku tysiącoleci tylko zamiast całej setki tysięcy lat, niweczą tem samem i znaczenie tych liczb wielkich. Napływy zatem rzeczne są to chronometry zbyt niepewne, by z nich odczytywać można było czasy dziejów ziemi. Tem trudniej na-

daćby się mogły do tego osady morskie, które pod wpływem mnóstwa różnorodnych czynników z biegiem czasu ulegają znacznej zmienności; wszelkie więc usiłowania dążące do oznaczenia czasu z grubości pokładów geologicznych uważać można za daremne.

XI.

Inna metoda dochodzenia długości najnowszych przynajmniej okresów geologicznych posługuje się drogą niejako wręcz przeciwną: zamiast obliczać przeciąg czasu potrzebny do utworzenia pewnego pokładu, stara się ona oznaczyć szereg lat, konieczny do jego zniszczenia. Szczególniej też zwracano pod tym względem uwagę na działanie wodospadów.

Najwięcej znany przykład przedstawia wodospad Niagary, a w szczególności stopniowe jego cofanie się z biegiem czasu. Rzeka Niagara sprowadza wody z jeziora Erie do jeziora Ontario, które przypada o 100 metrów niżej w odległości 32 mil ang. Po opuszczeniu Erie Niagara płynie najpierw po wyżynie, z której następnie rzuca się z wysokości 54 metrów do głębokiego parowu o spadzistych ścianach: parów ten — mówią — rzeka sama sobie wyżłobiła. Wyspy i skały dzielą wodospad na dwie części. Część większa, mająca 339 m szerokości, położona od strony Kanady, nosi nazwę podkowy, a to z powodu półkołowego zakrzywienia brzegu skały, z której spada; część druga, zwana amerykańską, posiada szerokość tylko 195 m. Ściana skalista, obok której

woda się rzuca, składa się w górnej swej części z grubego pokładu (25 m) twardego wapienia syluryjskiego, pod którym spoczywają łatwo niszczące się warstwy marglu i gliny łupkowej, a niżej jeszcze piaskowiec, stanowiący dno parowu. Potężny rzut wody splókuje margiel i glinę, podmywając pokład wapienia, który, pozbawiony w ten sposób podparcia, załamuje się i opada bryłami w przepaść. Wodospady zatem cofają się wstecz ku jezioru Erie, a w dalekiej przyszłości, gdy spód parowu dobiegnie dna jeziora, wspaniałe wodospady ulegną zupełnej zagładzie.

Rzecz jasna, że objaw ten zachęca do obliczeń długości czasu; można się bowiem domyślać, że parów, którym rzeka płynie, w ten sam sposób wryty został, jak i teraz wstecz się wydłuża, a ruch obecny daje miarę szybkości, z jaką postępowała i dawniej cała ta robota.

Okolice Niagary niezbyt dawno zajęte zostały przez osadników; w końcu ośmnastego stulecia wleśnionych tych stronach polowali jeszcze Indianie na bawoły. Od osadnika, który 40 lat przeżył w pobliżu wodospadów, dowiedziano się, że w ciągu tego czasu przesunęły się one o 120 — 140 stóp, co czyni około trzech stóp rocznie; następnie jednak przyjął Lyell mniejszą szybkość tego cofania się, około jednej stopy czyli $\frac{1}{3}$ metra. W takim razie potrzebowała Niagar 360 000 lat, by poniżej wodospadów wyżłobić jar długi na 9—10 kilometrów, a jeżeli cofanie to i nadal w równej mierze postępować będzie, jar ten wydłuży się aż do jeziora Erie.

Kjerulf, który, jak już wyżej widzieliśmy, nie godzi się z obliczeniami prowadzającymi do liczb tak wielkich, nie ufa także i chronometrowi Niagary.

Przytacza, że Niagara pracowała dawniej w węższym korycie, gdy obecnie działalność jej obejmuje większą przestrzeń, ściera bowiem szerszy daleko brzeg skały; znajduje nadto dowody, że w czasach, które nastąpiły po okresie lodowym, gdy topniała powłoka lodowa Ameryki, Niagara pędziła znaczniejsze ilości wody, cofanie wodospadów musiało prędzej zachodzić, a wreszcie nastąpić też mogła i katastrofa nagle, trzęsieniem ziemi spowodowana, której śladu dopatrzyć się nawet można, następstwa zaś katastrofy takiej w jednej chwili dorównać mogły rezultatom pracy, dokonywanej przez rzekę przez kilka tysiącleci. W ogólności jednak geologowie, chociaż za ścisłością obliczeń tych nie obstają, widzą w tem dowód, jak olbrzymiego czasu dla ujawnienia swych działań wymagają erozje, których skutki należą do najnowszych okresów dziejów ziemi. A tam, gdzie działanie dokonywa się z natężeniem mniejszem, aniżeli przy potężnych wodospadach, rachunek podobny prowadzić musi do rezultatów bardziej jeszcze uderzających. Okazują to w szczególności rachunki, przeprowadzone przez Heima nad erozją w obszarze szwajcarskiej rzeki Reuss. Od czasu uregulowania biegu tej rzeki w r. 1851 nie pozostawia już ona żadnych rumowisk w swej dolinie, ale sprowadza je wszystkie do jeziora Czterech Kantonów (Vierwaldstättersee), do którego uchodzi; staranne zaś badania, prowadzone od tego czasu, wykazały, że ilość materiału, jaką rzeka corocznie do ujścia swego znosi, obejmuje 150 000 metrów sześć. Ponieważ dalej obszar, z którego rzeka wspomniana materiał ten zbiera, obejmuje 825 kilometrów kw., z każdego przeto kilometra kwadratowego porywa ona 182 metry

sześć, co odpowiada spłókanu 1 milimetra w ciągu $5\frac{1}{2}$ lat, albo jednego metra przez 5 500 lat.—Ślady dawnych ograniczeń doliny są dotąd widoczne i pozwalają ocenić obszar przez działanie wody wymulony; na podstawie zatem wyżej osiągniętej skali oblicza Heim wreszcie, że na dokonanie całej tej roboty, na wyżłobienie doliny, potrzebowała rzeka 1 151 tysiącleci.

Rezultaty podobnych rachunków upoważniają oczywiście geologów do wniosku, że do wymulenia dolin drogą erozji trzeba było czasów niezmiernie długich. A przecież dostrzegamy koło siebie rezultaty działań o wiele jeszcze potężniejszych, które tedy wedle wszelkiego prawdopodobieństwa dokonywać się też musiały w ciągu czasu o wiele dłuższego. Wielkie wulkany nie wytworzyły się skutkiem pojedynczego wybuchu, ale są wynikiem długiego szeregu następujących po sobie wybuchów. Jeżeli zaś dla zbudowania góry, jak Etna, trzeba było niezliczonych chyba wybuchów, cóż sądzić można o olbrzymich wulkanach hawajskich, wznoszących się od dna morskiego na 10 000 metrów w górę i utworzonych przeważnie z cienkich warstw zeszlonej lawy, rozlanych jedno nad drugimi. Pod działaniem wód i powietrza wulkany ulegają stopniowej zagładzie, pozostawiając w swych szczątkach i ruinach wymownych świadków tej roboty niszczącej, która zapewne ciągnąć się musiała dłużej, aniżeli pierwotne narastanie wulkanu do olbrzymich wymiarów. Tak samo zresztą i całe pasma gór, według pojęć w geologii dzisiejszej panujących, są następstwem powolnego marszczenia się, fałdowania skorupy ziemskiej, i tak samo są na pozerającą je walkę z czynnikami zewnętrznymi wystą-

wione: według Heima szczyty Alp centralnych wznosiły się dawniej o 1 000 albo 2 000 metrów wyżej aniżeli za czasów naszych, a cały ich ogrom dzisiejszy jest już połową tylko masy pierwotnie wzniesionej. Jakżeż długo trwać musiało wytwarzanie się takich potężnych pasm górskich, jak długo ich niszczenie i ścieranie! A przecież wszystkie te objawy, o których tu mówimy, są dziełem najnowszego tylko okresu geologicznego, ostatniej doby dziejów planety naszej.

Na wszystkich tych chronometrach wszakże odczytać można tylko, że biegną one już od czasów niezmiernie dawnych: dokładnej, albo choćby przybliżonej ich tylko oceny podać nie mogą. Widzieliśmy, jak znaczne sprzeczności zachodzą przy odcyfrowywaniu jednego i tegoż samego zjawiska; niemniej uderzający przykład podobnych różnic przedstawia inny jeszcze objaw, który również sławiono jako chronometr geologiczny, a mianowicie powolne wynoszenie się ładu skandynawskiego. Odkąd sławny Svedenborg złożył królowi szwedzkiemu powinszowanie, że panuje nad krajem, który się kosztem morza powiększa, starano się wykryć skalę tego podnoszenia się ładu, ale gdy badacze jedni wnosili stąd, że ruch ten już od pół miliona lat zachodzi, widzą tu inni ślady działalności sięgającej wstecz ledwie o dwa dziesiątki tysiącoleci.

XII.

Do powyższych, czysto geologicznych metod raczuby czasu w dziejach ziemi, przybyła jeszcze w ostatnich czasach metoda, którąby nazwać można

astronomiczno-geologiczną, powołuje bowiem na pomoc wielkie okresy astronomiczne, na których znaczenie zwrócił uwagę szczególnie Adhémar. Okresy te dotyczą się zmienności mimośrod drogi ziemskiej oraz obiegu punktu przysłonecznego i odsłonecznego.

W punkcie przysłonecznym swej drogi, czyli poprostu najbliższej słońca, znajduje się obecnie ziemia w tym czasie, gdy na półkuli północnej panuje zima, a na południowej lato; po tej zaś części swej drogi, która przypada bliżej słońca, ziemia bieży prędzej, aniżeli po części od słońca bardziej oddalonej,—wypada stąd, że półrocze zimowe dla półkuli północnej trwa nieco krócej, aniżeli letnie, gdy dla półkuli południowej stosunek jest wręcz przeciwny. Korzystne to wszakże położenie półkuli północnej nie jest niezmiennie, punkt bowiem przysłoneczny przesuwają się po ekliptyce i na jej obieżenie potrzebuje około 21 000 lat; po upływie zatem połowy tego okresu, za lat 10 500, półkula południowa doznawać będzie przyjemniejszych warunków klimatycznych, a po dalszych 10 500 latach korzyść ta przejdzie znów na rzecz półkuli północnej.

Przebieg ten wszakże wikał się zmiennością, jakiej w ciągu długich okresów ulega i sama postać drogi, po której ziemia biegnie dokoła słońca; obecnie jest elipsą, niewiele tylko od okręgu koła odstupującą i w ciągu jakich 24 000 lat zbliżać się będzie jeszcze bardziej do postaci kołowej, poczem znów zmiana dokonywać się będzie w kierunku przeciwnym, a ziemia toczyć się będzie po elipsie bardziej wydłużonej; gdy obecnie na półkuli północnej jest półrocze letnie o sześć dni dłuższe, aniżeli zimowe, a na półkuli południowej o tyleż dni krótsze, zachodzić mogą przy-

padki, gdy różnica ta aż 36 dni dosięga. W epokach zatem tak wielkiej eliptyczności drogi ziemskiej pomiędzy półkulą północną a południową występują różnice klimatyczne daleko wybitniejsze, aniżeli je dostrzegamy obecnie, przy kołowej prawie postaci drogi ziemskiej.

Poglądy Adhémara rozwinęli głównie Croll i Schmick; pierwszy za następstwo tych okresów astronomicznych uważa przedewszystkiem perjodyczną zmianę temperatury na jednej i drugiej półkuli, drugi wiąże je z kolejnem gromadzeniem się przeważnej masy wód koło jednego lub drugiego bieguna, zaczem idą kolejne zmiany klimatu.

Ponieważ zmiany te zachodziły i w przeszłych czasach istnienia ziemi, rzecz naturalna, że skorzystano z nich, by wyjaśnić tą drogą owo zagadkowe niżenie temperatury w pewnej epoce istnienia ziemi, w tak zwanym okresie lodowym, znamionował się bowiem obfitem rozprzestrzenieniem lodników, czego dowody wykazała geologia. W takim razie jednak okres lodowy nie obejmował całej nieraz ziemi, ale przypadał naprzemian na półkuli północnej lub południowej, a nadto objaw ten powtarzać się musiał za każdym obiegiem punktu przysłonecznego, mniej więcej zatem co lat 21 000. Okres lodowy nie jest przeto, według tych poglądów, zjawiskiem przypadkowym, jednokrotnem, ale objawem perjodycznym, powtarzającym się statecznie w dziejach ziemi, a każda półkula przechodzić już musiała cały szereg takich okresów lodowych.

Są rzeczywiście pewne skazówki, które uważać można za ślady okresów lodowych już w najdawniejszych formacjach skorupy ziemskiej; wśród róż-

nych pokładów, mianowicie, występują niekiedy bryły im obce, przypominające niejako dzisiejsze głazy narzutowe, co do których przyjmujemy pospolicie, że są zabytkiem działalności lodników.

Dowody tego rodzaju nie mogą być oczywiście dosyć przekonujące, a perjodyczność okresów lodowych pozostaje wątpliwym bardzo domysłem; pomimo to próbowano już zastosować przytoczone wyżej okresy astronomiczne do celów chronologii ziemi, a najdalej w tym kierunku posunęli się Blytt (1876) i Mayer-Eymar (1884).

Ten ostatni przyjmuje, że w tworzeniu się skorupy ziemskiej rozróżnić należy piętra, odpowiadające okresom obiegu punktu przysłonecznego, obejmujące zatem po 21 000 lat dziejów ziemi, a od początku epoki trzeciorzędowej naliczył on takich piętr piętnaście. Wynika stąd, że ciąg czasu, jaki od tej doby geologicznej do czasów naszych upłynął, obejmuje około 315 000 lat.

Blytt, opierając się na innych dostrzeżeniach i rozumowaniach, o wiele obficiejsz szafuje podobnemi piętrami, a tem samem i latami. W pewnym profilu utworów trzeciorzędowych, odsłoniętym przy budowie kolei pod Méry-sur-Oise, dojrzał on szereg warstw, odpowiadający 47 obiegom punktu przysłonecznego; w systemacie zaś Mayera temuż samemu układowi warstw odpowiadają dwa tylko piętra, dwa obiegi punktu przysłonecznego; znaczy to innemi słowy, że jeden i tenże sam ustęp dziejów ziemi według jednego z tych badaczy trwać miał ledwie 42 000, według drugiego milion z górą lat.

Różnica ta starczyć może zapewne za dowód, że

i tego chronometru astronomiczno-geologicznego odczytać nauka dzisiejsza nie może, przez poszukiwania jednak Heima, Pencka i kilku innych geologów chronologia okresu lodowego zyskała w ostatnich latach pewność znacznie większą. O badaniach tych opowiemy oddzielnie w jednym ze szkiców dalszych, którego przedmiotem wyłącznym jest okres lodowy w dziejach ziemi.

XIII.

Niepomyślne te próby odcyfrowania wieku ziemi nie przeszkadzają geologom rozpościerać dziejów naszej planety na tle nieokreślonego i dowolnie długiego przeciągu czasu; w ostatnich wszakże latach nasunęła się wątpliwość, czy w spekulacjach dotyczących się dziejów ziemi możemy tak dowolnie rozporządzać nieograniczonością czasu. Jeden z najznakomitszych mianowicie fizyków dzisiejszych, William Thomson, opierając się na argumentach porządku fizyczno-astronomicznego, kładzie poważne swe veto przeciw tej dowolności, wykazując, że od wytworzenia się skorupy ziemskiej, a przynajmniej od chwili, gdy stała się zdolną do przyjęcia istot żyjących, upłynęło nie więcej nad dziesięć, lub co najwyżej piętnaście milionów lat.

Fizyk angielski opiera swe wywody również na podstawie objawów, jakie nam dzisiejszy stan ziemi przedstawia; objawy jednak, jakie rozpatruje, nie są drobne i szczegółowe, ale przedstawiają charakter ogólny i powszechny, za jeden bowiem argument służy

mu ciepło wewnętrzne ziemi, za drugi zwolnienie obrotu dziennego ziemi pod działaniem przyływów morskich, a dalsze poparcie znajduje nawet w promieniowaniu słonecznem. Zobaczmy, w jaki sposób każdy z tych różnych zgoda między sobą objawów do jednakiego wyniku prowadzi.

Pierwszy swój dowód czerpie Thomson z objawów ciepła wewnętrznego naszej planety, o którym świadczy przyrost temperatury, jaki napotykamy w miarę zagłębiania się w ziemię¹⁾. Skoro zaś wnętrze ziemi posiada temperaturę wyższą, ciepło przepływać stamtąd musi bezustannie ku zimniejszej jej powierzchni, skąd rozchodzi się w przestrzeń światową; ziemia przeto i obecnie jeszcze traci ciepło w pewnym stosunku, który oznaczyć i obliczyć można. W takim razie, na podstawie znanych praw fizycznych, można też z teraźniejszego rozkładu temperatury wywnioskować, jak ciepło rozłożone było w ziemi przed stu tysiącami lub przed milionem lat, tak samo, jakbyśmy na podstawie obliczeń matematycznych przepowiedzieć mogli, jaki będzie rozkład ciepła w przyszłości. Przeprowadzone dotąd badania wskazują, że temperatura ku wnętrzu ziemi wzrasta przecięciowo o 1°F na każde 100 stóp ang., a na podstawie tej, drogą wyżej wskazaną, doszedł Thomson, że przed dziesięciu mniej więcej milionami lat ziemia właśnie co skrzepla, albo też poczyniała krzepnąć, i że następnie, po upływie niewielu stosunkowo tysięcy lat, zakrzepla powierzchnia ziemi tak dalece już zastygła, że w niektórych przynajmniej miejscach

¹⁾ Ob. szkic następny: „Zagadka wnętrza ziemi“.

była już przydatna na siedlisko istot żyjących, jakie obecnie znamy. Temperatura bowiem powierzchni, w pewnych przynajmniej okolicach, nie przenosiła już tego stanu ciepła, jaki teraz zwierzęta i rośliny łatwo znoszą w stronach zwrotnikowych, przyrost zaś temperatury w głębi ziemi mógł wtedy wynosić 1° na każde sześć lub dziesięć cali, co by nie przeszkadzało utrzymywaniu się życia roślin. W przeszłości odleglejszej, jak uczy tenże sam rachunek, powierzchnia ziemi musiała być cieplejsza i rozżarzona do silnej białości, zgoła nieprzydatna do utrzymania życia jakichkolwiek istot. Wynika z tego zatem, że najniższe nawet organizmy nie mogły się ukazać na ziemi przed dziesięciu lub co najwyżej przed piętnastu milionami lat.

Drugi swój argument opiera Thomson na spostrzeżeniu, że obrót dzienny się zwalnia, co innemi słowy znaczy, że długość doby wzrasta. Zdumiewający i niespodziany dla nas ten objaw wyczytano w ruchach księżyca; przez zestawienie, mianowicie, dawnych jego zaćmień z obserwacjami nowszymi poznano, że ruch naszego satelity stopniowo się przyspiesza, chociaż przyrost ten szybkości jest drobny, wynosi bowiem tylko 12 sekund na stulecie. Spostrzeżenie to wywołało długą dyskusję astronomiczną i matematyczną, z której się wreszcie okazało, że na karb ruchu samego księżyca przypada część tylko tego przyspieszenia, reszta jest następstwem zmniejszania szybkości obrotu ziemi. Skoro bowiem szybkość ta maleje w ciągu wieków, czyli skoro wzrasta długość dnia, która stanowi jednostkę czasu, czas przez nas liczony ciągle opóźniać się musi; księżyc więc bieży pozornie coraz prędzej, gdy w samej rze-

czy to ziemia coraz powolniej wiruje. Zwalnianie szybkości obrotu ziemi jest zresztą bardzo nieznaczne, wynosi bowiem, wedle rachunków Adamsa, godzinę ledwie na 16,000 lat, fakt ten jednak obecnie zaprzeczeniu już ulegać nie może.

Przyczyną tego powolnego zmniejszania się szybkości obrotu ziemi jest działanie przyływów morskich. Pod wpływem przyciągania księżyca i słońca woda oceanu wznosi się i rozlewa kolejno w różnych punktach globu, jakby przyciąganiem tem powstrzymywana ziemia przeto ustawicznie wiruje we wnętrzu tej masy ciekłej; sprowadza to bezustanne tarcie, opór ciągły, który osłabia energję obrotu ziemi dokoła jej osi. Dopóki więc przyływy i odpływy morza istnieć będą, szybkość obrotu ziemi ustawicznie zmniejszać się musi.

Wypływa stąd tedy dalej, że w przeszłości ziemia wirować musiała prędzej. Dajmy, że od czasu zakrzepnięcia powierzchni ziemi upłynęło lat tysiąc milionów; w takim razie rachunek uczy, że planeta nasza wirować wtedy musiała co najmniej dwa razy prędzej aniżeli obecnie, czyli że doba trwała wówczas 13 tylko, a nie 24 godzin. W takim jednak razie następcza się nam inna niemożebność. Wiadomo bowiem, że następstwem osiowego obrotu ziemi jest jej podbiegunowe spłaszczenie; przy ruchu tedy dwa razy szybszym wzbudzałaby się na równiku siła odśrodkowa czterokrotnie większa, a stąd i spłaszczenie ziemi musiałoby być o wiele znaczniejsze, aniżeli jest obecnie.

Skoro zaś ziemia tak słabe tylko posiada spłaszczenie, w czasie przeto, gdy powierzchnia jej krępała, wirować musiała z prędkością niewiele tylko

większą niż obecnie; a że, dalej, szybkość obrotu ustawicznie maleje, epoka skrzepnięcia bryły ziemskiej przypadać mogła stosunkowo niezbyt dawno; na podstawie zaś rachunku swego wykazuje Thomson, że mogło to mieć miejsce, przed dziesięciu miljonami lat niespełna.

Trzeci swój argument, jak powiedzieliśmy, czerpie Thomson z promieniowania słonecznego i z idącego za tem stygnięcia naszej gwiazdy dziennej; kładzie on wszakże na rzecz tę nacisk znacznie mniejszy, aniżeli na dwa dowody poprzedzające, nie wydaje się ona bowiem równie ścisłą. Słońce, mianowicie, rozsyłając swe promienie, ulega stygnięciu: możnaby sądzić, że dawniej, gdy było znacznie gorętsze, obdarzało ziemię ciepłem sowing niż obecnie, ale też jest prawdopodobne, że silniejszy wtedy żar słońca powodował wytwarzanie się z jego powierzchni znacznie większych ilości par, które, wzbijając się w górę, oziębiały się i tworzyły potężne obłoki, pochłaniające znaczną ilość promieni. Z tego zatem powodu ilość promieni cieplikowych dobiegających niegdyś do ziemi może nie była większa niż obecnie, czyli ziemia po wszystkie czasy otrzymywała od słońca jednakową ilość ciepła; gdy bowiem było ono gorętsze a tem samem znaczniejsze ilości ciepła wysyłało, zarazem też rozchodzeniu się dalszemu swych promieni silniejsze stawiało przeszkody; przyjąć więc można, że słońce zawsze jednostajnemu ulegało stygnięciu.

Przez wzajemne uderzenie się materjałów, z których wytworzyło się słońce, wzbudziła się zapewne niezmierna ilość ciepła; pomimo to jednak i w przypuszczeniu nawet, że stygnięcie słońca dokonywało się jednostajnie, rachunek prowadzi do wniosku, że

słońce zaopatrywać mogło ziemię nie dawniej, jak od piętnastu lub dwudziestu milionów lat choćby tą tylko ilością ciepła, jaką jej obecnie nadsyła.

Ostatni ten dowód, jak powiedzieliśmy, uważa Thomson za słabszy od dwu pierwszych, popiera jednak wnioski, do których one powiodły, dwiema zgoła różnemi i niezależnemi między sobą drogami. Wszystko to razem prowadzi do twierdzenia, że ze względów fizycznych można co najwyżej przyjąć około dziesięciu milionów lat na okres, w ciągu którego zaszły na powierzchni ziemi wszelkie zmiany od czasu pojawienia się na niej najniższych form organicznych.

Jakkolwiek wnioski swych badań wypowiada Thomson ze wszelką stanowczością, nie oddziaływały one dotąd zgoła na poglądy geologów. Dzieje rozwoju ziemi, podobnie jak i rozwoju istot na niej żyjących, odbywają się dotąd bez chronologii, czas jest w nich czynnikiem nieokreślonym, którego pod istotną uwagę dotąd nie biorą. Ale jak legendy odnoszące się do pierwotnego bytu człowieka wtedy dopiero w poważną historję rodu ludzkiego przechodzą, gdy mogą się na chronologii oprzeć, tak samo i geologja zdobędzie może kiedyś środki, które jej pozwolą dokładniej mierzyć rozległe obszary jej czasów.

XIV.

Jeżeli tyle szkopułów napotykamy przy rachubie czasów minionych, to trudności jeżą się więcej jeszcze, gdy od przeszłości wzrok ku przyszłości odwrócimy, chcąc odgadnąć, jak długo jeszcze ziemską na-

szą bryłę darzyć będzie słońce dostatecznym zasobem ciepła i światła, by życie na niej istnieć i utrzymywać się mogło. I tu jednak wydobyła nauka niejakie wskazówki, by na nich domysły swe oprzeć, a w kwestji tej pójdziemy znowu za Thomsonem, któremu odwagi w wysnuwaniu wniosków daleko sięgających odmówić zapewne nie można.

Rozsyłając na wszystkie strony przestrzeni promienie ciepła swego, traci słońce bezustannie olbrzymie zasoby energii. Z przeprowadzonych niegdyś przez Pouilleta badań nad natężeniem promieniowania słonecznego oceniono, że ciepło, przez słońce w ciągu każdej sekundy wysyłane, odpowiada pracy, wyrażającej się przez niezmierną liczbę 476 sekstyljonów (476 z 21 zerami) koni parowych, a proces ten trwa w tymże samym stosunku od kilku albo i wielu milionów lat. Jakże zdołamy proces ten wytłumaczyć?

Na podstawie przeprowadzonych dotąd badań naukowych wiemy w ogólności, że słońce składa się z masy ognisto-płynnej, która ulegać musi stopniowemu oziębianiu, chociażby może otrzymywała niekiedy drobny dopływ nowej energii przez przypadkowo spadające meteory. Powszechnie znana jest teoria Helmholtza, mająca za sobą znaczny stopień ścisłości naukowej i przy pomocy której objawy bytu słońca śledzić można aż do czasów przedhistorycznych. Teoria ta da się treściwie w następujący sposób przedstawić.

W pewnym czasie, który przypada w przeszłości już prawie niedościgłej, wytworzyło się ciepło słoneczne przez skupienie części materji, przyciągnię-

tych ku sobie z przestrzeni światowej pod wpływem działania siły ciężkości; części te materji przez swe złączenie utworzyły masę dzisiejszego układu słonecznego. Żar potężny tej masy, jaki powstał przez wzajemne uderzenia tych części, zmniejszał się przez stopniowe oziębianie, a wskutek tego masa mogła się ściągać i objętość swą zmniejszać.

Teoria Helmholtza opiera się niezbędnie na przypuszczeniu, że masa słoneczna pozostaje dotąd w stanie płynnym, gdyż ciało stałe, choćby do najwyższej jasności rozżarzone, musiałoby po krótkim czasie utracić żar swój na powierzchni i przybrać powłokę ciemną. Powierzchnia bowiem tego ciała stałego otrzymywałaby mogła ciepło z warstw głębszych jedynie przez przewodnictwo, a dopływ taki nie wynagradzałby ubytku, powodowanego stygnięciem powierzchni. Przy masie płynnej, natomiast, substancja zewnętrznych warstw słońca, która ciepło wysyła, gęstniejąc przy stygnięciu, musi się cofać ku wnętrzu, podczas gdy gorętsza substancja płynna pędzona jest z wnętrza i wydostaje się na powierzchnię. Straszliwe to prądownie, utrzymujące się bezustannie w olbrzymiej, ognisto-płynnej masie słonecznej, stanowi podstawę dzisiejszej fizyki słońca, która się coraz więcej rozwija przy pomocy badań spektralnych.

Aby powziąć dokładniejsze wyobrażenie o ilości ciepła, jaka bezustannie doprowadzana jest do powierzchni słońca i w przestrzeń wysyłana, należy wyżej podaną olbrzymią liczbą 476×10^{21} koni parowych podzielić przez wielkość powierzchni słońca $6,1 \times 10^{18}$ metrów kwadratowych, a wypadający stąd iloraz

78 000 koni parowych daje nam wielkość promieniowania słonecznego w ciągu sekundy z każdego metra kwadratowego, wyrażoną w jednostkach mechanicznych.

Wyobraźmy sobie ośm machin parowych, każdą o sile 10 000 koni, któreby nakładem wszystkiej swej pracy wprawiały w ruch koło łopatkowe, umieszczone w cieczy zapełniającej koryto o przecięciu jednego metra kwadratowego: metr kwadratowy cieczy, w tak niesłychany sposób wzburzonej, wysyłałby też samą ilość ciepła, co każdy metr kwadratowy powierzchni słońca.

Natężenie to promieniowania słonecznego pozwala obliczyć, że idące za tem ściąganie się promienia słonecznego wynosi około 35 metrów rocznie, co w ciągu dwu tysięcy lat czyni dziesięciotysięczną część jego długości. Jeżeli więc promieniowanie słońca jest obecnie także samo, jakim było przed 200 000 lat, to promień słoneczny musiał być podówczas o jedną odsetkę większy.

Jeżeli zaś działalność słoneczna w takim samym, jak obecnie, natężeniu promieniowania utrzymywać się ma jeszcze przez dwadzieścia milionów lat, to promień słoneczny zmniejszyłby się przeszło o połowę. Dodać wszakże należy, że w takim razie gęstość słońca byłaby wtedy jedenaście razy większa od gęstości wody, czyli wyrównałaby gęstości ołowiu, nie mogłoby przeto już zachodzić prawidłowe zagęszczenie, jak to ma miejsce co do gazów. Należy więc przyjąć, że w przyszłości ilość ciepła wysyłanego przez słońce zmniejszy się nadar znacznie, zwłaszcza przy zmniejszeniu powierzchni promieniującej.

Wskazana tu ocena promieniowania słonecznego polega, jak powiedzieliśmy, na dawniejszych obserwacjach Pouilleta. Dokładniejsze pomiary natężenia tego promieniowania przeprowadził niedawno Langley na górze Whitney w Kalifornji, w wysokości około 15 000 stóp ang. nad poziomem morza. Na podstawie tych obliczeń przyjąć należy, że ciepło wysyłane w ciągu sekundy przez jeden metr kwadratowy powierzchni słońca wyraża się przez 133 000 koni parowych, zamiast podanej wyżej liczby 78 000, co znaczy powiększenie w stosunku 1 : 1,7. Skoro zaś słońce przez promieniowanie traci więcej ciepła, aniżeli w powyższych obliczeniach przyjmowano, przeto też i otrzymywane z rachunków tych długości czasów skrócić należy w stosunku 1 : 1,7. Zamiast więc obliczonych wyżej dwudziestu milionów lat, wypada, że promieniowanie słońca, niezbędne do utrzymania życia na ziemi, trwać może jeszcze przez dwanaście milionów lat tylko. Uwzględniając zaś inne jeszcze okoliczności, a zwłaszcza to, że wewnątrz słońca posiadać może gęstość większą i że promieniowanie w czasach ubiegłych odbywać się mogło z żywością odmienną, przypisuje Thomson słońcu nie więcej nad jakie dwadzieścia milionów lat działalności w czasach ubiegłych i pięć do sześciu milionów lat w przyszłości.

Cokolwiekbyśmy o ścisłości obliczeń tych Niemali, nie może to uwłaczać bynajmniej samej ich zasadzie. Zanim zaś, w miarę oziębiania słońca, zamrze przyroda ziemską, o wiele wcześniej zapewne ród ludzki znajdzie kres bytu swego; a wtedy też dopiero uleczą się choroby jego i rany ukoją, bo jeżeli

według zasady Hippokratesa „*quod medicamenta non sanant, ferrum sanat, et quod ferrum non sanat, ignis sanat*”, to zapewne nad medykamenty wszelkie, nad żelazo i nad ogień, czas najdzielniejszym jast lekarzem.

ZAGADKA WNETRZA ZIEMI.

Mozolna praca człowieka nad odsłonięciem tajników przyrody stawia nam przed oczy i urzeczywistnia legendową walkę tytanów z synami Saturna. Walkę tę zuchwały ród Japeta zwycięsko prowadzi: wydarł już Jowiszowi niebo jego błękitne, a Neptunowi niezmierzone i niezgłębione morze. Niebo rozbił i w nicość rozwiął, a złote gwiazdy rozrzucił w przestrzeń, zmierzył ich odległość, odcyfrował skład ich i budowę; morze przepłynął i z najgłębszych toni wydobył twory tajemne, dziwaczniejsze nad fantastyczny orszak Neptuna. I tylko Pluton, ponury bóg podziemi, urąga wszelkim zamachom, zawistnie broni dostępu do swego dziedzictwa i strzeże go od oczu ciekawych. Aż do nieskończoności rozejrzał człowiek przestrzeń ponad sobą, a tuż pod nim, w najbliższym jego sąsiedztwie, istnieje świat tajemny, na całą wieczność dlań niedostępny. Otwartym bojem nie zdołał pokonać zagadki wnętrza ziemi, ale wezwał do pomocy matematykę i geodezję, astronomię i fizykę, chemję i geologję, by na tej podstawie oprzeć gmach hypotetycznych domysłów. Gmach to wpraw-

dzie wąty, ale tak położony fundament jego dosyć jest bezpieczny, by zachęcił do rozejrzenia szczegółów wzniesionej dotąd budowy.

I.

Skoro do wnętrza ziemi sięgnąć mamy, uprzytomnić sobie przedewszystkiem należy odległość, jaka nas od środkowego jej punktu dzieli. Gdy bezpośrednio wysondowanie tej odległości jest rzeczą niemożliwą, daje się ona obliczyć ze znanej długości południka ziemskiego, jako koła wielkiego opasującego naszą planetę. Sprawa pomiarów ziemi, rozpoczęta przez Eratostenesa w Aleksandrii na 200 lat przed nar. Chr., a dotąd bynajmniej nieukończona, łączy się w pewnym punkcie, jak to zobaczymy, i z kwestją, która nas teraz zajmuje; odbieglibyśmy jednak od naszej rzeczy zadaleko, gdybyśmy o tę kwestję potracić chcieli¹⁾, przytoczymy więc tylko, że od bieguna środek ziemi oddalony jest prawie na 856½ mil geogr. Nie ze wszystkich jednak punktów powierzchni ziemi do jej środka równie jest daleko,—ktoby tam zapragnął dotrzeć nie od bieguna, lecz od któregośkolwiek punktu równika, musiałby przejść 859½ mil geogr., zatem o 3 mile więcej. Te trzy mile stanowią to, co podbiegunowem spłaszczeniem ziemi nazywamy. Łatwo wszakże widzieć, że sama ta długość

¹⁾ Metodę, historję i stan obecny pomiarów ziemi opowiedziałem w pracach oddzielnych: „O postaci i ciężarze ziemi“ (Warsz. 1885), oraz „Ziemia i niebo“ (Warsz. 1893).

trzech mil nie może stanowić miary spłaszczenia ziemi, ani nawet o wielkości jego pojęcia nam nie daje. Jest to bowiem wielkość względna; gdyby ziemia była mniejsza, różnica trzech mil między promieniem równikowym a biegunowym miałaby znaczenie donioślejsze; gdyby wzrosła do wymiarów znacznie większych, trzy te mile stałyby się drobnostką podrzędną. Stosunek tylko powyższej różnicy do istotnej wielkości ziemi, a raczej do jej promienia, wyrazić nam może wielkość spłaszczenia ziemi. Według tego wynosi ono zatem $\frac{3}{869}$, t. j. nieco więcej nad $\frac{1}{300}$; znaczy to, mówiąc językiem jak najzwyczajszym, że od bieguna do środka ziemi jest o $\frac{1}{300}$ bliżej, aniżeli od równika.

Ułamek ten wszakże, jak to już z liczb wyżej podanych wypływa, daje tylko przybliżoną wielkość spłaszczenia ziemi. Łatwo dziś wprowadzić powtarzać, że ziemia ma postać kuli pod biegunami spłaszczonej, trzeba jednak było geniuszu aż takiego Newtona, by wniesć z pewnych objawów, że odstępuje ona od prawidłowej formy kuli. I dotąd jeszcze, pomimo niezmordowanych i długoletnich wysiłków spłaszczenia tego z zupełną dokładnością oznaczyć nie zdołano, jakkolwiek nie poprzestano na bezpośrednich geometrycznych pomiarach ziemi, ale poradzono się i wahadła, które pod biegunem, już dla bliższego sąsiedztwa ze środkiem ziemi, kołysze się nieco prędzej aniżeli na równiku. Odczytano nawet wpływ spłaszczenia ziemi i w pewnych nieprawidłowościach w biegu księżyca, który w ruchu swoim pod bezpośrednim wpływem naszej planety zostaje. Trudności,

z jakimi zadanie to walczyć musi, pozwalają dziś z dostateczną pewnością tyle tylko powiedzieć, że spłaszczenie to nie jest większe nad $\frac{1}{289}$, ani też mniejsze nad $\frac{1}{294}$. Pytanie zaś o naturze wnętrza ziemi

łączy się ściśle z wielkością jej spłaszczenia.

Podane wyżej wymiary promienia ziemskiego już same wystarczają, by wykazać niemożebność bezpośredniego dotarcia daleko w głąb ziemi: dosyć powiedzieć, że największa głębokość, do jakiej człowiek dotąd przeniknął, czy to w kopalniach, czy za pośrednictwem otworów świdrowych, czy wreszcie przy wywiercaniu studzien artezyjskich, nie przenosi 2 000 metrów, a zatem czyni trzytysięczną ledwie część promienia ziemskiego. Kto zeskrobał ostrożnie cieniutką powłokę dyni lub pomarańczy, alboż wie cokolwiek o budowie tych owoców, o układzie ich nasion? Taki to nieznaczny naskórek ziemi odsłonięto dotąd ledwie tu i owdzie. A jednak, kto zwiedził choćby Wieliczkę tylko, już zrozumie łatwo ogrom pracy, jaki długie pokoleniałożyć musiały na przekopanie tych jam podziemnych, olbrzymich względnie do sił naszych, a mikroskopowo drobnych odnośnie do objętości całej bryły ziemskiej.

A nawet, pomimo całego rozwoju dzisiejszej techniki, nie jest prawdopodobnem, by granice te człowiek mógł kiedykolwiek znacznie przekroczyć; coraz wzrastające ciśnienie, trudności dostarczania powietrza i tym podobne względy stawiają nieprzebytą tamę dalszemu posuwaniu się górnictwa do głębszych pokładów.

Niedawno obiegał pisma pomysł pewnego Ame-

rykanina, by wszystkie mocarstwa połączyły swe siły i nakłady na przekopanie szybu w głąb ziemi, któryby wreszcie do jej środka dosięgnął. Wartość takiego projektu łatwo ocenić, choć pomysły Amerykanin miał na zawołanie i siłę dostateczną; pragnął bowiem, by na ten cel wszystkie państwa zaoferowały swe wojska. Chciał on może tylko wszystkie armje w głąb ziemi zakopać.

Bo chociażby mógł kto roić, że przeszkody, o jakich wspomnieliśmy, zdoła przezwyciężyć przyszły rozwój naszych środków technicznych, to zawsze nieprzepartą zaporę stawiać będzie wysoka temperatura, już w niezbyt stosunkowo znacznej głębokości panująca.

II.

Wiadomo powszechnie, że wpływ promieni słońca, którym powierzchnia ziemi i otaczająca ją atmosfera wyłącznie swe ciepło zawdzięczają, w głąb ziemi daleko nie sięga. Termometry zapuszczane w ziemię okazują w głębokościach coraz znaczniejszych coraz słabszy ruch roczny. Z licznych w tej kwestji badań szczególnie wymowne są rezultaty otrzymane przez Forbesa w Anglii, który w trzech miejscowościach, różniących się naturą gruntu, osadził termometry w głębokości trzech, sześciu, dwunastu i dwudziestu czterech stóp angielskich; przebieg roczny temperatury, pomimo różnaitości gruntu, okazał się wszędzie dosyć zgodny, — w głębokości trzech stóp różnica między najwyższym a najniższym stanem ter-

metru w ciągu roku wynosiła 8°C , w głębokości sześciu stóp $5,5^{\circ}$, w głębokości dwunastu stóp niespełna 3° , a wreszcie w głębokości 24 stóp termometr przez rok cały okazał przeskok ledwie o $0,8^{\circ}$.

W ogólności, już na kilka stóp pod powierzchnią ziemi ustaje różnica między temperaturą dnia i nocy, a w odległości nieco znaczniejszej, kilkudziesięciu mniej więcej stóp, termometr nie okazuje już żadnej zmiany nawet w ciągu roku całego. Czy to powierzchnia ziemi rozgrzewa się działaniem promieni letnich, czy to ścina ją mróz zimowy, w głębokich piwnicach temperatura panuje stale jednaka, bez względu na uderzające przeobrażenia, jakie następstwo różnych pór roku na powierzchni ziemi powoduje; promienie słoneczne, pochwycone i pochłonięte przez wierzchnie pokłady ziemi, nie dochodzą już do tej „warstwy obojętnej”, której stateczna zawsze temperatura odpowiada mniej więcej średniej temperaturze położonej nad nią miejscowości.

Istnienie tej warstwy obojętnej zdradził termometr umieszczony w piwnicy obserwatorium paryskiego, w głębokości 28 metrów, który od stu lat z górą okazuje niezmienną temperaturę $11,83^{\circ}$; trudniej jednak powiedzieć, w jakim mianowicie oddaleniu od powierzchni warstwa obojętna przypada. Niewątpliwie, w różnych stronach ziemi mieści się ona w rozmaitej głębokości; tam, gdzie w ciągu roku temperatura ulega słabszym kołysaniom, gdzie obszerność roczna jej zmian jest mniejsza, czyli, innymi słowy, gdzie odskok między temperaturą lata i zimy jest niewielki, wpływ promieniowania słonecznego ustaje także w niewielkiej głębokości; tam zaś, gdzie kołysanie roczne temperatury okazuje obszerność znaczną,

chwiejność jej ujawnia się w głębszych znacznie warstwach skorupy ziemskiej. Wypływa już stąd, że w stronach równikowych warstwa obojętna znajduje się daleko bliżej powierzchni, aniżeli w sferach biegunowych. Według Boussingaulta w okolicach zwrotnikowych Ameryki południowej już w głębokości połowy metra ustają wszelkie zmiany temperatury; według późniejszych wszakże dostrzeżeń i w tamtych nawet krajach zstępować trzeba o 5 metrów, by osiągnąć warstwę obojętną. Znaczna różnica obu powyższych danych wskazuje już, jak niepewne są jeszcze wiadomości nasze o przebiegu pod powierzchnią ziemi tej warstwy obojętnej. W każdym razie obniża się ona coraz więcej, w miarę, jak zbliżamy się ku biegunom, a tam, gdzie temperatura średnia opada niżej zera, wierzchnie pokłady są do znacznej głębokości zlodowaciałe. Świadczy o tem wymownie słynny szyb Szergina, wybitny w Jakucku w Syberji. Robotę rozpoczęto w r. 1828, a w r. 1837 doprowadzono ją do głębokości 116½ metrów, nie osiągnięto jednak jeszcze granicy zlodowaciałego gruntu, a temperatura wynosiła tam $-0,6^{\circ}\text{C}$. W roku 1844 temperaturę tej studni badał dokładnie Middendorff z polecenia akademji petersburskiej i przekonał się, że średnia temperatura roczna Jakucka $-10,15^{\circ}\text{C}$ występuje już w głębokości 6 metrów, odtąd zaś temperatura wzrasta statecznie, ale jeszcze na dnie studni wynosi -3° . Z rachunków, opartych na podstawie swych dostrzeżeń, wywnioskował Middendorff, że kres przemarzłego gruntu przypadać może dopiero w głębi 186 do 196 metrów; prawdopodobnie jednak jest to liczba zbyt wielka, inna bowiem studnia w tamtych stronach wykopana dotarła do wody w głębokości 126 metrów.

Zmiany temperatury, na powierzchni ziemi zachodzące, w głąb jej nie tylko słabiej, ale i później przenikają. W przytoczonych wyżej obserwacjach Forbesa w gruncie ze skały porfirowej utworzonym najniższa temperatura w głębokości 3 stóp zachodziła nie w styczniu, ale w połowie lutego; w głębokości 6 stóp termometr zszedł najniżej w połowie marca, w głębokości 12 stóp około 20 kwietnia, a wreszcie termometr najdalej zapuszczony do 24 stóp, przeszedł przez stan swój najniższy dopiero w połowie lipca. Potrzeba było zatem aż półrocza, by w gruncie tym chłód zimowy przeniknął warstwę 24 stóp ang. Tak samo bracia Aubel nad morzem Białem w początkach sierpnia 1873 r., w czasie dnia gorącego, w głębokości jednego metra pod gruntem pokrytym roślinnością napotkali warstwę lodową. Opieszałość ta ruchu ciepła tłumaczy się słabym przewodnictwem materiałów tworzących skorupę ziemską.

To jednak, co tuż pod powierzchnią ziemi zachodzi, jest raczej jeszcze rzeczą meteorologii i nie waży zgoła w kwestji, która nas zajmuje; idzie nam raczej o to, co się dzieje poza ową warstwą obojętną.

Już słynny jezuita Atanazy Kircher, autor osobliwych dzieł naukowych z wieku siedemnastego, dowiedział się od górników freiberskich, że przy schodzeniu w głąb kopalni napotykamy gorąco coraz wyższe. Donoszą o tem i inni ówcześni pisarze, a wkrótce potwierdzono należycie, że poczynając od warstwy obojętnej, temperatura ku dołowi wzrasta. Dziś rzecz ta należy do najczęściej rozpowszechnionych wiadomości naukowych, ale naprawdę ponad to ogólniko-

we uzasadnienie samego faktu wiele więcej o nim nie wiemy; niepodobna zwłaszcza określić dokładnie, w jakim stosunku, albo raczej według jakiego prawa wzrost ten zachodzi.

Przenoszenie termometrów do kopalń, zapuszczanie ich w otwory świdrami ziemnymi wiercone, albo rozmieszczanie ich w tunelach, nie powinno by przedstawiać znacznych kłopotów, ale działają tu różne okoliczności wikłające. Przedewszystkiem nasuwa się tu pod uwagę samo ukształtowanie czyli pochylenie powierzchni ziemi. Gdy bowiem przebijamy w ziemi otwór pionowy, to w ogólności nie posuwamy się w kierunku do powierzchni ziemi prostopadłym, w jakim przecież oddalenie się od niej mierzyć należy; względ ten okazał się zwłaszcza widocznym przy oznaczaniu temperatur w długich tunelach, które dla potrzeb dróg żelaznych pod wysokimi górami przekopano. Przy porównywaniu dalej termometrów w różnych głębokościach potrzeba zważać, by termometry te przypadły na jednej linii pionowej, a z tego względu korzystnie się zalecają szczególnie obserwacje w otworach świdrowych.

Przy badaniach dawniejszych poprzestawano w ogólności na umieszczaniu termometru w powietrzu; temperatura jednak powietrza wypełniającego kopalnię dosyć znacznie odstępować może od temperatury jej ścian, o którą przecież głównie tu idzie. Z tego względu nie można też posługiwać się i wodami, które się w kopalniach napotykają, jakkolwiek na pozór dane tą drogą otrzymywane wydawać się mogą wiarogodne, — nie wiadomo bowiem, z jakiej zbiegają wysokości i przez jakie kanały podziemne przepływają, zanim na jaw występują. Tak np.

w tunelu góry Cenis, w odległości 500 metrów od bramy południowej, temperatura powietrza wynosi $10,5^{\circ}$, gdy skała posiada temperaturę $14,2^{\circ}$; starać się tedy należy o wprowadzanie termometrów w otwory wybijane w samych skałach. Ponieważ nie pomijano żadnej okoliczności przyjaznej, któraby nam dostęp do dalszych warstw ziemi otwierała, starano się też korzystać i z wyświdrowanych studzien artezyjskich, sprowadzających nam wodę z dość znacznych głębokości; rezultaty jednak tych dostrzeżeń nie mogą dawać skazówek zupełnie pewnych. Woda bowiem gorąca, gdy się wzbija w górę, oziębia się, a tem samem staje się cięższą, po części zatem opada znów ku dołowi i miesza się niżej z wodą wytryskującą; wskutek tego rozwija się pewien proces obiegu czyli cyrkulacji wody, który nie pozostaje bez wpływu na temperaturę wody wypływającej.

Aby rezultaty obserwacji takich ująć w sposób wyraźny i jasny, najlepiej jest oznaczać odległość, o jaką w głąb ziemi wstąpić trzeba, aby temperatura wzrosła o jeden stopień Celsiusa. Odległość tę nazywano stopniem albo lepiej gradientem geotermicznym. Na nieszczęście jednak dane otrzymane w rozmaitych miejscach okazują tak znaczne między sobą odstępstwa, że niepodobna wydobyć z nich pewnej liczby oznaczonej, któraby mogła dać choćby przybliżone pojęcie o ogólnem wzmaganiu się temperatury głębszych warstw ziemi; zadowolić się musimy tedy tylko przytoczeniem niektórych z osiągniętych rezultatów.

Z dawniejszych nieco prac zalecają się dokładnością badania Reicha w kopalniach saskich; z wielu szczegółowych oznaczeń, które się silnie między sobą różnią, wypływa, że średnia wartość stopnia geoter-

micznego wynosi tam około 40 metrów, aby zatem dostrzedz podwyżkę 1°C trzeba tam schodzić o 40 metrów.

W kopalniach znów pruskich stopień geotermiczny wynosi średnio 54,25 m, ale waha się w rozległych bardzo granicach, bo między 15,5 a 115,5 m. W kopalniach angielskich i amerykańskich stopień taki wynosi 53 m., przy chwiejności od 19 do 86 m. Według nowszych badań w Wielkiej Brytanji, dokonywanych staraniem przyrodniczego „Stowarzyszenia brytańskiego”, w kilku kopalniach stopień ten wynosi 26,6 m., 34,1 m. i 42,1 metrów. Na Uralu wykazano 24,8, w studniach artezyjskich w Wiedniu, Rochelle i Epinay 25,4 m., 24,6 m. i 22,9 m. Ze starannych obserwacji w tunelach gór Cenis i Św. Gotarda na stopień geotermiczny wypada 35 m.

Tę też ostatnią liczbę podaje się zwykle jako średnią wartość stopnia geotermicznego, chociaż, jak widzimy, wielkiego znaczenia do niej przywiązać nie można i przyznać należy, że nie znamy zgoła prawa, według którego wzrost ciepła w ziemi zachodzi. Tak znaczną zresztą różnicę, jaka się okazuje z różnych obserwacji, rzucać trzeba na karb rozmaitych wpływów lokalnych. Ujawnia się tu zapewne różna zdolność przewodnictwa cieplikowego skał rozmaitych, co dostrzedz już można nawet w położeniu warstwy obojętnej. Tak na przykład, w kilku kopalniach w Kornwalji napotkano wśród lepiej przewodzących pokładów miedzi temperaturę wyższą, aniżeli w kopalniach cyny. Powien wpływ przypada dalej i ciśnieniu, jakim ugniatane są badane pokłady; gdzieindziej na podwyższenie lub obniżanie temperatury kopalni oddziaływać może przepływająca w jej pobliżu cieplejsza

lub zimniejsza woda. Lokalne wzmoczenie się ciepła w innych znów kopalniach może być następstwem pewnych działań chemicznych, dokonywających się w sąsiedztwie w łonie ziemi. W ogólności też obserwacje prowadzone w kopalniach węgla wykazały tam stopnie geotermiczne mniejsze, aniżeli w kopalniach metali. Tłómaczy się to tem, że w formacjach węglowych zachodzi częsta zmiana różnych skał — łupków, piaskowców i skał węglowych; wszystkie te pokłady posiadają przewodnictwo słabe, a przy przejściu z jednego środka do innego ciepło nowy jeszcze opór znajduje; ciepło zatem przenikające z wnętrza ziemi będzie tu okazywało gęstsze stopniowanie, aniżeli w pokładach jednostajnych, lepiej je przeprowadzających.

Dla uzmysłowania rozkładu ciepła wewnątrz ziemi możnaby użyć metody podobnej do tej, jaką się posługuje klimatologia dla wskazania rozkładu ciepła na powierzchni ziemi, przez kreślenie na kartach dobrze znanych linii izotermicznych, t. j. linii łączących miejsca, które posiadają jednakową temperaturę średnią. Tak samo możnaby wyobrazić sobie, że poprowadzono powierzchnie przez wszystkie punkty, które w głębi ziemi jednakową wykazują temperaturę; powierzchnie takie jednakowego ciepła wewnątrz ziemi nazwano izogeotermami albo chtonizotermami, — ale na nieszczęście, jak to łatwo wniesć można z niedostatecznej znajomości naszej tych stosunków, posiadamy raczej nazwę tylko, aniżeli rzecz samą. Jakkolwiek jednak nie znamy choćby z niejaką dokładnością przebiegu owych powierzchni chtonizotermicznych, tyle przynajmniej powiedzieć o nich można, że biegną za załamaniami gruntu, czyli, innemi słowy,

rozciągają się mniej więcej równolegle do powierzchni ziemi, wraz z jej wygięciami podnoszą się i obniżają, lubo i pod tym względem uderzające zachodzą odstępstwa. Krzywe te powierzchnie jednakowej temperatury ziemi okazują wogóle słabsze wygięcia, aniżeli profil ziemi, pod znacznymi mianowicie wyniosłościami podnoszą się stosunkowo słabo tylko. Dokładne badania Stapffa w tunelu Św. Gotarda wydały nawet rezultat niespodziany, że mianowicie właśnie pod najwyżej wzbijającemi się szczytami chtonizotermi nie wznoszą się tu w górę, ale owszem obniżają się nieco, czyli, innemi słowy, pod szczytami górskimi stopień geotermiczny posiada większą wartość: należy zagłębić się w ziemię dalej, aby dostrzedz wzrost temperatury o 1°; tak np. u północnego wejścia do tego tunelu stopień ten wynosi tylko 20,5 metra, a pod szczytem Cima Boita - Misura przenosi 62 metry.

Bardziej jeszcze uderzające rezultaty okazały się w tunelu Mont-Cenis, gdzie pod najwyżej sięgającemi zakrzywieniami powierzchni ziemi stopień geotermiczny dochodzi aż 300 metrów. W odległości mianowicie 5 000 m. od bramy południowej tunelu temperatura skały wynosi 27,5°, w odległości zaś 6 450 m. 29,5°; pierwszy z tych punktów przypada w odległości 910 m., drugi w głębokości 1 609 m. pod powierzchnią ziemi, — jakkolwiek zatem zakrzywienie profilu ziemi na tej odległości czyni blisko 700 m., temperatura różni się tylko o 2°. Objaw ten przypisać zapewne należy oziębiającemu wpływowi gór sięgających poza granicę śnieżną, a tem samem pokrytych wiecznymi lodami; aby dostrzedz podniesienie się temperatury podziemnej, trzeba tu zstępować znacznie niżej, ani-

zeli pod innemi miejscami powierzchni ziemi, które w normalnych warunkach pozostają.

Z tego zapewne powodu temperatura tunelów nie jest tak wysoka, jakby to odpowiadało znacznej głębokości, w jakiej przypadają, w każdym jednak razie pod górami bardzo wysokimi panowałoby już ciepło stosunkowo dosyć wysokie; według oceny przybliżonej wnieść można, że w środkowej części tunelu projektowanego pod górą Montblanc temperatura byłaby nieco wyższa nad 50° . Jakkolwiek zaś białko mętnieje czyli zaczyna się ścinać dopiero przy 60° , a ludzie w spokoju znosić mogą bardzo wysokie gorąco, gdy przytem powietrze jest suche, to wszakże praca robotników w takim tunelu, gdzie nadto powietrze przejęte jest parą, byłaby już przy 40° zmuśna i niebezpieczna. Względ ten nie pozwala dobrze tuszyć o projektach tunelów w Szwajcarji zachodniej.

To tylko zaprzeczeniu ulegać nie może, że tuż pod samą powierzchnią ziemi chthonizotermi okazują wykrzywienia słabsze, aniżeli jej profil, a stąd wnosić wolno, że w głębokościach znaczniejszych wpływ powierzchni ziemi coraz staje się słabszy, a dalej jeszcze ku środkowi ziemi rozkład wewnętrzznego jej ciepła jest już prawidłowy i nie ulega zakłóceniu wpływów zewnętrznych. Tak daleko wszakże bezpośrednie dochodzenia nasze nie sięgają, bo, jak przytoczyliśmy już wyżej, największa głębokość, do jakiej człowiek wdrzeć się zdołał, wynosi około 2 000 m. zaledwie. Najgłębsze studnie artezyjskie (Grenelle pod Paryżem, St. Louis) nie dochodzą 600 metrów; co do kopalń, to za najbardziej pogłębione uważają się słynne kopalnie Kutnej Hory w Czechach, schodzące obecnie do 1 152 m. Nieco głębsze są

otwory świdrowe; słynny otwór w Sperenberg w Marchji Brandeburskiej sięga do 1 272 m., głębszy jest otwór wywiercony pod Lieth w Holsztynie do 1 339 metrów, a najbardziej pogłębiony dotychczas otwór, który przeszedł już 2 000 m., znajduje się w Paruszwicach pod Rybnikiem na Szląsku górnym. Względem załamów górskich niżej jeszcze, jak widzieliśmy, przypadają tunele, ale tu też warunki zewnętrzne najsilniej wikłający swój wpływ ujawniają.

III.

O tem więc, co dalej wewnątrz naszej ziemi się dzieje, możemy jedynie wnioskować na podstawie tego ubożego żniwa, które zdołano zebrać w cieniutkiej warstwie, badaniom naszym dostępnej. Skoro zaś tu wszędzie napotykamy stateczny wzrost temperatury, nie trudno się zgodzić, że i głębiej, przy dalszem posuwaniu się ku środkowi ziemi, ciepło jej również się wzmacza i dochodzi wreszcie do wysokości bardzo znacznej, dla której oceny wszakże brak nam jakichkolwiek wiarogodnych skazówek. Olbrzymi ten żar wnętrza ziemi nie opiera się zresztą pojęciom, które skądinąd spekulacje naukowe rozpowszechniły i utrwały; kosmogonja bowiem dzisiejsza tworzenie się i rozwój ziemi tłumaczy w podobny sposób, jak i wszelkich innych brył światowych, w przestrzeni rozrzuconych, przez skupianie pierwotnej materji kosmicznej, która stanowiła może mgławicę podobną do utworów, jakie w dalekich stronach nieba i obecnie teleskop obficie nam wykazuje. Pod nazwą Laplace'owej

teorii tworzenia się światów hipoteza ta znana jest wszystkim, a nowsze postępy nauki i wzmoczone środki badań, chociaż namnożyły nieco trudności, jakie są jeszcze do pokonania, w ogólności wszakże przyczyniły się raczej do jej poparcia, aniżeli jej ujmę istotną przyniosły.

Ciepło wytworzone wskutek zagęszczania się mgławicy, z której się nasz układ słoneczny wyłonił, dotąd obficie nagromadzone jest w słońcu; podobnież, lubo drobnem słońcem płomiennem była i ziemia nasza, ale z powodu nieznacznych swoich wymiarów zastygła i dawno już na powierzchni zakrzepła, gdy tysiąckrotnie z górą od niej większy Jowisz, jak się zdaje z pewnych dostrzeganych na nim objawów, przedstawia jeszcze ślady pierwotnego swego żaru, a olbrzymie słońce przez pierwsze dopiero fazy tego procesu stygnięcia przechodzi. Twarda skorupa, utworzona z materiałów słabo tylko przeprowadzających ciepło, która ziemię ze wszech stron ujęła, chroni od dalszego ziębnienia wewnętrzne jej masy; zaś zatem, który się dotąd w głębi ziemi kryje, a o którym nam opowiada wzmaganie się temperatury w kopalniach, jest ochronioną pozostałością tego ciepła pierwotnego, związanego z dziejami samegoż tworzenia się ziemi naszej, zarówno jak i innych ciał niebieskich. Jednem słowem tedy, olbrzymie ciepło wnętrza ziemi razić nie będzie stronników kosmogonji Laplace'a, przynosi im owszem poparcie poważne.

Pomimo to nie brakło nigdy i przeciwników ciepła wewnętrznego, którzy wprost zaprzeczali temu statecznemu wzrostowi temperatury w warstwach dalszych, bezpośrednim naszym obserwacjom niedo-

stępnych. Najsilniejszy argument, jaki na poparcie swego zaprzeczenia podają, polega na pewnem dostrzeżeniu, o którym nie wspominaliśmy wyżej. Okazało się mianowicie, że stopień geotermiczny, czyli powtarzamy, odległość, o jaką zejść należy, aby dostrzedz podniesienie się temperatury ziemi o 1°C , w różnych głębokościach bardzo jest różny, a w ogólności w głębokościach coraz znaczniejszych coraz się większym staje. Okazują to zwłaszcza obserwacje przeprowadzone w przytoczonym już wyżej otworze świdrowym w Sperenberg:

Głębokość w metrach	Temperatura dostrzeżona	Stopień geotermiczny
26,7 . . .	9°C . . .	} 20,2 m.
313,9 . . .	$23,2^{\circ}$. . .	
627,7 . . .	33° . . .	} 32 "
941,6 . . .	43° . . .	
1268,6 . . .	48° . . .	} 64,1 "

Poznano to i w niektórych innych zagłębieniach, a lubo pewne nieprawidłowości i zboczenia usprawiedliwiają poniekąd sceptycyzm, w ogólności jednak fakt ten jest niewątpliwy. Otóż, wydawać się mogło, że okoliczność ta pozostaje w sprzeczności z pojęciem o rozpaleniu wnętrza ziemi, w miarę bowiem zbliżania się do ogniska centralnego wzrost temperatury winienby się dokonywać coraz szybciej, stopnie geotermiczne winnyby coraz bardziej maleć, nie zaś wzrastać. Nic tedy dziwnego, że przeciwnicy ogniowego początku ziemi, zwolennicy dawnego neptunizmu geologicznego, pochwycili ten szczegół, któryby

mógł zwycięstwo na ich stronę przechylić. Ciągłe to powiększanie się stopnia geotermicznego przybrali nawet w formułę algebraiczną i wydobyli stąd wniosek, że w pewnej, niezbyt zresztą znacznej odległości dalsze wzmaganie się temperatury wewnątrz ziemi zakończyć się musi, że nawet dalej jeszcze nastąpić winien zwrot, a temperatura statecznie już ku środkowi ziemi spadać będzie. Ciepło zatem, które termometry zdradzają w kopalniach naszych, miałoby być jedynie objawem warstw wierzchnich naszej bryły ziemskiej; aby zaś wytłomaczyć zagadkowe jego pochodzenie, odwoływano się do ciśnień i powodowanego przez nie tarcia, a więcej jeszcze do działań chemicznych, wywiązujących się w sąsiedztwie powierzchni ziemi pod wpływem przedzierających się tam części składowych atmosfery.

Niedostateczność jednak takiego tłómaczenia źródła owego ciepła podziemnego łatwo było wykazać; mogą wprawdzie zachodzić, jakieś zresztą wyżej już nadmienili, objawy lokalne, wikłające normalny przebieg zjawiska, ale to nie wystarcza do wyjaśnienia powszechnego i statecznego wszędzie wzrostu temperatury warstw głębszych. Język matematyczny wymowny jest wprawdzie i pewny, ale do rezultatów rzetelnych o tyle tylko prowadzi, o ile z dokładnych podstaw wychodzi; nie dosyć zaś znamy prawo przyrostu temperatury podziemnej, by je w rzetelną formułę algebraiczną ująć się dało, a tem samem wnioski o dalszym przewrocie i obniżaniu się temperatury od pewnego punktu są zbyt wątpliwe, by zburzyć mogły pojęcie o olbrzymiem cieple wnętrza ziemi.

Postarano się nawet doświadczalnie odtworzyć

proces stygnięcia ziemi. Znakomity geolog Bischoff odlewał kule ze stopionego bazaltu, mające 0,75 metra średnicy, a po upływie 48 godzin od chwili odlewu oznaczał rozkład temperatury w rozmaitych punktach wnętrza tych brył, skąd okazały się rezultaty następujące:

1)	w środku temperatura	193°
2)	w odległości 0,114 metra od środka.	170°
3)	" 0,185 " " "	156°
4)	" 0,247 " " "	137°

Widzimy stąd, że różnica między punktami 1 i 2 na odległości 0,114 m wynosi 23°, co czyni 0,0052 na 1° C; różnica między 2 i 3 wynosi 14° na 0,071 m, czyli 0,0051 na 1°, wreszcie między 3 i 4 wynosi 19° na 0,062 m, czyli 0,0032 na 1°. Odległość przeto, o jaką od powierzchni kuli ku jej środkowi posuwać się trzeba, aby dostrzedz przyrost temperatury o 1° C., co odpowiada właśnie geotermicznemu stopniowi ziemi, wzrasta ku środkowi kuli, a mianowicie w stosunku liczb 32 : 51 : 52.

Nie dosyć na tem. William Thomson, jeden z tych mężów, którym Anglja przodownicze swe dzisiaj stanowisko w nauce zawdzięcza, stopniowe stygnięcie ziemi wziął pod rozważę z punktu teoretycznego; przyjąwszy mianowicie pewien stan pierwotny rozpalonej bryły ziemskiej, wyprowadził, jakim być musi rozkład w jej wnętrzu ciepła po upływie stu milionów lat od owej chwili początkowej; w założeniu tem, które odpowiada mniej więcej prawdopodobnym warunkom rozwoju ziemi, okazało się również dobitnie, że w bryle takiej tylekroć

wykonania pracy zewnętrznej, do usunięcia przeszkód, tamujących mu możność większego rozprzestrzeniania się; dla tych przeto ciał ciśnienie powstrzymuje, opóźnia topienie, punkt ich topliwosci podnosi się, topią się dopiero w temperaturze wyższej, aniżeli w warunkach normalnych. Zupełnie inaczej dzieje się z ciałami zachowującymi się na podobieństwo lodu,—tu ciśnienie, sprowadzając ciało do mniejszej objętości, wspiera niejako przechodzenie w stan ciekły, punkt topliwosci się obniża, ciało topi się już w temperaturze niższej aniżeli w okolicznościach zwykłych.

Jak powiedzieliśmy, bardzo niedostatecznie znamy dotąd zachowanie się pod tym względem różnych ciał, a pomimo całej potęgi środków pomocniczych, jakimi obecnie nauka doświadczalna rozporządza, niepodobna się zbliżyć do ogromu warunków, które w przyrodzie zachodzą. Czyż wiedzieć możemy, co się dzieje z ciałami, gdy ich temperatura wynosi dziesiątki tysięcy stopni, ale zarazem poddane są olbrzymiemu ciśnieniu ugniatających je warstw wierzchnich? W każdym razie, polegając na wysokiej temperaturze wnętrza ziemi, nie mamy jeszcze stanowczej zasady do twierdzenia, że musi być utworzone z materiałów płynnych,—owszem, nie brak wskazówek, które za stałym jego stanem przemawiają.

Sto lat niezadługo upłynie od chwili, gdy Cavendish, „najbogatszy z uczonych i najuczeńszy z bogatych”, pierwszy planetę naszą zważył, albo, co na jedno wychodzi, średnią jej gęstość oznaczył; kwestja ta odtąd zwracała zawsze uwagę badaczy, którzy bądź posługiwali się wytworną metodą Cavendisha, bądź też obmyślali metody inne, stanowiące nawza-

jem pożądaną dla siebie kontrolę, a w ten sposób tak napozór niedostępne zadanie z zupełną nieledwie ścisłością rozwiązane zostało. Jakkolwiek rzecz ta w bezpośrednim jest związku z kwestją tu roztrąsaną, opis tych metod i ich historia zajęłyby zbyt wiele miejsca, byśmy je tu rozwijać mogli¹⁾; poprzestać musimy jedynie na nadmienieniu, że różnemi drogami oznaczona gęstość średnia ziemi wynosi 5,6, co w języku zwykłym znaczy, że ziemia jest 5,6 razy cięższa od równie wielkiej bryły, utworzonej z wody.

Liczba ta, chociaż sama przez się nie wydaje się zbyt wielkiej wagi, prowadzi jednak bezpośrednio do ważnego wniosku co do materiałów składających się wewnątrz ziemi. Rzeczywiście, o ile znamy powierzchnię ziemi i tuż pod nią mieszczące się pokłady, widzimy, że pominąwszy już wodę oceanów zajmujących $\frac{3}{4}$ części powierzchni całego globu, resztę stanowią piaski, gliny, wapienie, — wogóle materiały, których gęstość średnia względem wody nie przechodzi 2½; skoro zaś gęstość średnia całej bryły ziemskiej wynosi 5, wynika stąd wniosek oczywisty, że we wnętrzu jej nagromadzone być muszą materiały cięższe, metaliczne prawdopodobnie. Wrócimy niżej jeszcze do kwestji rozkładu gęstości wewnątrz ziemi, a teraz zaznaczamy tylko, że właśnie to przeświadczenie o stopniowym wzroście gęstości ku środkowi ziemi rzuciło domysł, iż jądro jej stałe i sztywne być musi. W bryle ciekłej, jako w cieple złożonem z cząstek swobodnie ruchliwych, ciśnienia zupełnie inaczej rozkładać się

¹⁾ Ob. wyżej już przytoczone książki: „O postaci i ciężarze ziemi” oraz „Ziemia i niebo”.

muszą, aniżeli w bryle zakrzepłej, stałej, gdzie mniej-sza swoboda cząstek osłabia wzajemne ich ciśnienie. W walcu z cieczy utworzonym ciśnienie wzrasta co-raz ku dołowi i łatwo być może obliczone; warstwa stała mogłaby się utrzymywać w sposób taki, jak ko-puła, nie ugniatając pokładów niższych. Przypuszcza-jąc zupełną płynność wnętrza ziemi, obliczyć można, że ciśnienie, jakiemu w tym razie poddane byłyby warstwy centralne, przechodziłoby półtrzecia miliona atmosfer,—sam ogród tej liczby stanowić już może poniekąd szkopuł dla hipotezy, która do niej prowa-dzi; w bryle stałej natomiast warstwy mogą się równo-ważyc, nie wspierając wszystkiej swej masy na war-stwach głębszych, skąd ciśnienie w środku ulega zmniejszeniu.

V.

Pierwszy wszakże istotny argument na korzyść stałej przeważnie masy ziemi przedstawił geolog an-gielski Hopkins w roku 1840, odwołując się do dawno znanego astronomom zjawiska poprzedzania punktów równonocnych czyli precesji. Punkty równonocne są to te punkty na niebie, w których równik niebieski przecina się z ekliptyką, czyli z drogą, po której słoń-ce w pozornym swym rocznym biegu sunie; w pun-ktach tych znajduje się słońce w początku wiosny i w początku jesieni. Już na 200 lat przed Chr. po-znał Hipparch, — a daje to dowód wysokiego stanu astronomji starożytnej, że punkty równonocne nie zajmują na niebie niewzruszonego stanowiska, ale

posuwają się naprzeciw słońca o pewną drogę, bardzo zresztą drobną, wynoszącą bowiem w ciągu roku nie-spełna jedną minutę miary łukowej, $50,24''$, wskutek czego każda wiosna następna rozpoczyna się o 20 mi-nut wcześniej, zanim słońce wraca do tegoż samego na niebie miejsca, jakie zajmowało w początku wiosny poprzedzającej; czyli, używając określeń pospolitych, rok zwrotnikowy jest krótszy od roku gwiazdowego. Jakkolwiek jednak szczegół ten od dawnych znany jest czasów, wytłómaczyć można go było dopiero, gdy pozorny ruch słońca ustąpił miejsca ruchowi ziemi i gdy w ciążeniu powszechnem Newton wykazał przy-czynę wszystkich ruchów niebieskich. Według nauki Newtona tedy, gdyby ziemia była doskonałą i jedno-stajnie uwarstwowaną kulą, zjawisko podobne zgołaby nie występowało, wywołuje je zaś przyciąganie słoń-ca i księżyca, wywierane na równikowe wypuklenie ziemi, stanowiące jakoby otaczający ją pas, co osta-tecznie powoduje osobliwy ruch osi ziemskiej, wsku-tek którego wykonywa ona bieg, przypominający stożkowe kołysanie się wirującego bąka. Ruch ten jest zresztą bardzo powolny, bo pełny swój bieg koń-czy oś ziemską ledwie w 26 000 lat, zdradza się to zaś pozornym ruchem bieguna niebieskiego, a tem samem i przesuwaniem punktów równonocnych.

Otóż do tego zjawiska poprzedzania punktów równonocnych odwołał się Hopkins, by wykazać, że ziemia w przeważnej przynajmniej części stałą być musi. Dowiódł on mianowicie, że gdyby ziemia utwo-rzona była z masy ciekłej, cienką tylko skorupą oto-czonej, precesja występowałaby inaczej, aniżeli to rzeczywiście ma miejsce, i wniósł na podstawie swo-ich rachunków, że zeszytniała skorupa ziemi sięgać

winna co najmniej do $\frac{1}{4}$ lub $\frac{1}{5}$ części jej promienia. Zaprzeczono jednak słuszności wywodów Hopkinsa, polegających zresztą na nieprawdopodobnem przypuszczeniu, że między twardą powłoką a płynnem wnętrzem zachodzi nagły przeskok, gdy raczej przyjmowaćby należało, że przejście jest tu pośrednie, przez pewien stan półpłynny, lepki, ciastowaty; w tym ostatnim zaś razie cała sferoida zachowywałaby się jak jedna całość, gdy Hopkins przypuszczał zupełnie swobodną ruchliwość ciekłego wnętrza wzdłuż stałej skorupy.

Poznano wreszcie, że precesja sferoidy ciekłej nie różniłaby się wcale od precesji podobnejże sferoidy stałej, że zatem całe to zjawisko do rozstrzygnięcia spornej kwestji, która nas teraz zajmuje, nadawać się nie może; natomiast inny matematyk, G. H. Darwin, okazał, że do tego rozstrzygnięcia posłużyć mogą objawy nutacji. Nutacja zaś polega również na pewnem kołysaniu osi ziemskiej, które występuje jako pewna nierówność w przebiegu precesji i posiada okres 18½-letni; jest ona wynikiem przyciągającego wpływu księżyca na spłaszczoną ziemię i sprawia, że oś ziemską nie opisuje w ciągu wieków prawidłowego stożka, jakby się to działo jedynie pod wpływem samej precesji, ale powierzchnię nieco pofalowaną. G. H. Darwin jest także stronnikiem poglądu o zeszywnieniu przeważnej części ziemi, w ogólności jednak mezołunych dochodzeń na tej drodze za ukończone uważać nie można; niedawno matematyk belgijski Folie w pewnych, drobnych zresztą szczegółach precesji i nutacji dostrzegł dowód istnienia jądra płynnego pod stałą skorupą ziemi.

VI.

Astronomja, która tak doskonale pod obserwację i rachunek pociągać może choćby najdrobniejsze ruchy i zboczenia, na szalę obchodzącej nas sprawy i inne jeszcze kryterja rzuca, a mianowicie spłaszczenie ziemi oraz przyływ i odpływ morza, chociaż i oba te względy do stanowczego rozwiązania również doprowadzić dotąd nie zdołały.

Wspomnieliśmy już wyżej, że pierwszy domysł spłaszczenia ziemi rzucił Newton, skoro dobiegła go wieść przyniesiona przez żeglarzy, że zegary przewożone na okrętach spóźniają się w okolicach równikowych. Znaczy to, innemi słowy, że wahadła, które bieg zegarów regulują, w tamtych stronach wykonywają kołysania swe wolniej, skąd wynika bezpośrednio, że siła ciężkości działa tam słabiej, aniżeli na biegunach. Ponieważ zaś siedliskiem niejako siły ciężkości ziemi jest jej środek, wniesć wolno, że ku temu punktowi jest od biegunów bliżej, aniżeli od równika. Ale i przyczyna tego odstępstwa od prawidłowej formy kulistej nie pozostała ukrytą. Jak kula gliniana, obracająca się na kółku garncarskiem, wskutek działania wzbudzającej się przytem siły odśrodkowej doznaje spłaszczenia, tak też temuż samemu losowi uległa musiała ziemia, również dokoła swej osi wirująca. Napięcie zaś siły odśrodkowej zależy bezpośrednio od szybkości ruchu wirowego, znana przeto prędkość obrotu dziennego ziemi daje możność teoretycznego obliczania jej spłaszczenia. Zanim więc jeszcze wysłańcy akademji paryskiej pobiegli do Peru i Laponji, by z pomiarów przeprowadzonych

w tak odległych między sobą stronach spłaszczenie to wydobyć, Newton na zasadzie powyższych rozumowań i rachunków obliczył, że wynosi ono $\frac{1}{232}$. Inny znakomity matematyk i fizyk ówczesny, Huygens, dzieląc pogląd Newtona, przeprowadził również podobne obliczenia, otrzymał wszakże liczbę bardzo od powyższej odmienną, $\frac{1}{580}$. Różnica ta stąd pochodzi, że Newton przyjmował ziemię jako bryłę jednorodną, Huygens zaś wyobrażał sobie masę ziemi skupioną głównie koło środka, czyli gęstość jej na powierzchni niesłychanie drobną w porównaniu z gęstością w środku.

Widzimy stąd, że teoretycznie obliczane spłaszczenie ziemi prowadzi do wyników różnych, stosownie do tego, jak pojmujemy wewnętrzną jej budowę, rozkład gęstości w jej łonie. Obie powyższe liczby odstępują znacznie od istotnego spłaszczenia ziemi, które, jakśmy wyżej przytoczyli, z dostateczną pewnością jest pewnością; odwołać się przeto należy do innego rozkładu gęstości ziemi.

Rzecz jasna, że cząstki ciał uciskanych skupiają się, a gęstość ich wzrasta w miarę, jak powiększa się wywierane na nie ciśnienie. W jakim jednak stosunku ściśliwość ta zachodzi, jaka istnieje zależność między gęstością ciał a ciśnieniem, wiemy to jedynie co do gazów, które pod ciśnieniem 2, 3, 4 razy większym posiadają też i gęstość 2, 3, 4 razy znaczniejszą, co znaczy, że gęstość jest do ciśnienia proporcjonalna. Dla ciał stałych i ciekłych, których budowa wewnętrzna jest zawilsza, zależność powyższa nie łatwo da się uchwycić i poprzestawać musimy jedynie na

domysłach, na przypuszczeniach. Gazy ulegają w jednakowy zawsze sposób ciśnieniu, ciała zaś ciekłe i stałe opierają się mu tem silniej, im więcej już są ściśnięte; dla tego też Laplace, idąc śladem wielkich swoich poprzedników, Daniela Bernoulliego, Legendre'a, Biota, przyjął w swych rachunkach, że przyrost ściśliwości płynu jest proporcjonalny do kwadratu z gęstości, wywołanego tem ciśnieniem. Hypoteza ta, dotąd najczęściej służy za podstawę przy rozpatrywaniu gęstości warstw, składających bryłę ziemską. Nie zamyka jednak drogi matematykom do innych przypuszczeń, któreby mogły prowadzić do jak najzupełniejszej zgody między teoretycznie obliczonym a rzeczywiście poznanym spłaszczeniem ziemi.

Zmarły w r. 1883 profesor w Montpellier, Edward Roche, który bardzo starannie przeprowadził ten szereg badań w ostatnich czasach, przyjmuje inny rozkład gęstości wewnątrz ziemi,—według poglądu tego uczonego gęstość maleje w stosunku kwadratów odległości od środka. Rachunki na tej zasadzie przeprowadzone uczyniły go stanowczym „rygidystą“, tj. stronnikiem stałego wnętrza ziemi, wykazały mu bowiem, że hipoteza bryły płynnej pod niezbyt grubą, stwardniałą skorupą nie może się pogodzić z istotną wielkością spłaszczenia naszej planety, znaną nam z dochodzeń bezpośrednich; jakkolwiek więc przyjmuje, że była ona niegdyś w stanie płynnym, to wszakże względy astronomiczne skłaniają go do uznania, że obecnie stanowi już masę zakrzepłą.

Hypotezę tę poddaje tedy Roche dalszemu rozpatrywaniu matematycznemu, przyjmując przytem,

dla udogodnienia i umożliwienia swych rachunków, że w przeważnej swej części stanowi ziemia bryłę jednorodną. Hypoteza taka może się wydawać zbyt krańcową, zwłaszcza, odkąd badania chemiczne ciał niebieskich nauczyły, że w skład ich wchodzi pierwiastki rozmaite; Roche wszakże uważa za rzecz prawdopodobną, że rozmaite okolice pierwotnej mgławicy, z której się układ słoneczny wyłonił, przedstawiać mogły pewne odrębne, właściwe sobie cechy, a zatem w każdej planecie materiały pewne mogą znacznie nad innymi przeważać. Według tego i ziemia byłaby utworzona z jednej, naczelnej niejako substancji, któraby właśnie stanowiła owo przypuszczalne jądro jednorodne, a rachunki, lubo nam jej natury odsłonić nie mogą, pozwalają przynajmniej gęstość jej ocenić.

Bryła ta jednorodna otoczona jest powłoką, utworzoną z materiałów lżejszych, które się wydzielili przy tworzeniu się ziemi, podobnie jak substancje cięższe zająć musiały miejsce koło samego środka ziemi. Natura warstwy zewnętrznej nie jest dla nas zupełnie zagadkowa; jak wspomnieliśmy wyżej, gęstość jej względem wody ocenia się zwykle na $2\frac{1}{2}$, najbardziej jednak skrajna, cienka i zupełnie wierzchnia powłoka, utworzona z materiałów dobrze znanych, ma gęstość z pewnością nie większą nad 2, pokłady zatem dalsze posiadać muszą gęstość nieco wyższą, około 3; można więc przyjąć, że są utworzone głównie z law i bazaltów, którym właśnie gęstość taka przypada.

Znajomość taka gęstości warstw zewnętrznych ziemi pomnaża liczbę czynników wiadomych, z których wysnuwa Roche gęstość swej hypotetycznej,

jednorodnej bryły wewnętrznej; inne dane do obliczeń tych następcza spłaszczenie ziemi w każdym razie większe od $\frac{1}{295}$, oraz wielkość precesji punktów równonocnych. Z rachunków tych wypływa tedy, że bryła rzeczona posiada względem wody gęstość 7,6, a stanowi kulę zajmującą 0,82 całego promienia ziemskiego. Stąd znów wynika dalej, że warstwa zewnętrzna, której gęstość oceniono na 3, posiada grubość $\frac{1}{6}$ części promienia ziemskiego. Pomimo tej stosunkowej cienkości, z powodu większej rozległości zewnętrznych warstw kuli, objętość ich czyni $\frac{2}{3}$, tj. prawie połowę całego globu ziemskiego i zawiera czwartą część wszystkiej jego masy. Na bryłę wewnętrzną, która zajmuje połowę objętości ziemi, przypada tedy $\frac{3}{4}$ jej masy; gęstość zaś jej, wynosząca nieco więcej nad 7, każe się domyślać, że składa się ona z materiału metalicznego, a w szczególności z żelaza, którego gęstość najbliższej liczby tej przypada. Wniosek ten ostatni razić nas nie może, gdy zważymy, że żelazo stanowi pierwiastek obficie występujący we wszystkich ciałach niebieskich; zresztą i magnetyczne własności ziemi są może ze składem tym w związku, żelazo bowiem, jak wiadomo, stanowi najsilniej magnetyczną substancję.

Około samego środka ziemi, jak widzieliśmy, nagromadzone są według hipotezy Roche'a materiały najcięższe; rachunki jednak wskazują, że zajęty przez nie obszar zgoła jest nieznaczny, a o gęstości ich także niewiele powiedzieć on umie; przypuszcza wszakże, że prawdopodobnie wynosi ona 10 lub 12, co stanowi wielkość pośrednią między gęstością srebra i ołowiu.

Ażeby wreszcie uzupełnić obraz wewnętrznej budowy naszej planety, tak odcyfrowany czyli raczej skreślony przez Roche'a, dodać należy, że nie upiera się on przy absolutnej stałości zewnętrznej powłoki bazaltowej; sądzi owszem, że począwszy od pewnej głębokości może się utrzymywać w stanie ciekłym, czem tłómaczyby się dały niektóre objawy geologiczne. Pozostaje wszakże znów niewiadomem, czy masa ta ciekła stanowi jakby warstwę oddzielającą powłokę skrajną od bryły środkowej, czy też nagromadzona jest tylko w zbiorowiskach, w jeziorach, po okolicy tej śródziemnej rozrzuconych. Wewnętrzna ciężka bryła metaliczna zbliża się składem swoim do aerolitów żelazistych, powłoka zewnętrzna odpowiada meteorytom zwykłym, kamienistym.

Hypoteza matematyczna Roche'a przedstawia pewną analogję do poglądów, jakie wyznaje znaczna liczba geologów dzisiejszych; zanim się im jednak przyjrzymy, należy nam załatwić się z jednym jeszcze argumentem porządku astronomicznego.

VII.

Argument ten stanowi zjawisko przypływu i odpływu morza. Wiadomo dziś dobrze, że przyczyną tego ruchu wód morskich jest przyciąganie słońca i księżyca, któremu ulega łatwo ruchliwa masa wody. Jeżeli jednak i stała skorupa bryły ziemskiej również podobnemu ulega wpływowi, jeżeli i ona okazuje pewien przypływ i odpływ, to ruchy oceanów są słabsze, aniżeli by to miało miejsce, gdyby ziemia bez-

względnie sztywną była, dostrzegamy bowiem wtedy nie całkowity ruch wody, ale tylko różnicę między tym ruchem a ruchem lądów. Jeżeli mianowicie wewnątrz ziemi jest ciekłe, jeżeli pod niezbyt grubą, stałą powłoką rozlewa się masa ognisto-płynna, to przypływy jej wywierałyby na skorupę nacisk potężny, wystarczający do jej przełamania i przedzierania, i już dawniejsi fizycy, jak Ampère i Poisson, dla ominięcia tej trudności przyjmowali, że bryła ziemską krzepnąć zaczęła od środka, że zatem musi już być w całej swej masie stała.

Dokładniej okoliczność tę wziął pod rozwagę matematyczną William Thomson; obliczył on w szczególności, że niezbyt gruba skorupa ziemska, choćby posiadała zbitość stali, ulegałaby jeszcze ruchom, o których mowa, a wysokość przypływu wynosiłaby ledwie $\frac{2}{3}$ zmian, jakie rzeczywiście w poziomie wód dostrzegamy; naciskowi mas płynnych mogłaby się ledwie oprzeć skorupa zeszytniała, o grubości co najmniej 200 lub 300 mil geograficznych, wynosząca zatem trzecią, mniej więcej, część całego promienia ziemskiego. Thomson nie poprzestaje jednak na tem i przyjmuje, że wszystka masa ziemi jest już zakrzepła, że stanowi nawet bryłę bardziej zeszytniałą, bardziej zbitą aniżeli szkło, tak oporną prawie jak masa stalowa; a chociaż już w niezbyt znacznej głębokości masy podziemne rozpalone są do białości, to pozostają jednak stałe, ciężące bowiem na nich olbrzymie ciśnienie podwyższa tak dalece temperaturę ich topliwości, że żar ten do stopienia ich nie wystarcza.

Ze zdaniem Thomsona nauka dzisiejsza liczyć się przywykła, ale na nieszczęście, na wysokość przy-

plywu wód morskich działają okoliczności uboczne, które utrudniają dokładne zestawienie wywodów teoretycznych z istotnymi dostrzeżeniami; wywiera tu wpływ najpierw niejednostajny na powierzchni ziemi rozkład lądów i mórz, a dalej spadek deszczów, tajanie lodów, nacisk wiatrów, dla tego też i Thomson sam oczekuje rozstrzygnięcia w dosyć odległej dopiero przyszłości. Oprócz jednak przypływów zwykłych, które, zgodnie z dziennym obrotem ziemi, dwukrotnie w ciągu doby po sobie następują, obieg księżyca naokoło ziemi powoduje również pewne przypływy i odpływy, a raczej pewne nieregularności przypływów zwykłych, które się ujawniają dwukrotną w ciągu miesiąca periodycznością. Tak zamo wreszcie i zmiana położenia ziemi względem słońca w ciągu roku wywołuje znów inną, półroczną okresowość przypływów i odpływów. Oba te rodzaje przypływów, już z powodu dłuższego czasu, potrzebnego do ich wytworzenia, słabiej daleko wnikającym tym zakłóceniom ulegać muszą, do nich przeto przedewszystkiem odwołać się trzeba w spornej kwestji co do stałości lub płynności wnętrza ziemi. W ostatnich latach prowadzono staranne badania wysokości przypływów w rozmaitych portach, ale jak twierdzi Zöppritz, który wszystkie stąd otrzymane dane starannie zebrał, nigdzie nie zdołano dostrzedz owych półmiesięcznych lub półrocznych przypływów. Skoro zaś rozważania teoretyczne konieczność takich przypływów dowodnie wykazują, brak ich, jak sądzi Zöppritz, tem się tylko da wytłómaczyć, że i podłoże, na którym się wody oceanu rozlewają, dno tedy morskie wraz z wodą podobnym przypływom ulega, a zatem

dalej ziemia nie jest dosyć zeszywniała, by oprzeć się mogła przyciągającym wpływom księżyca i słońca.

Zöppritz wnioskuje tedy, że zebrane przez niego szczegóły przywracają znów siłę dawnym poglądom o płynności wnętrza ziemi. Za stanowcze wszakże wywodów jego również uważać nie można, opierają się bowiem temu badania G. H. Darwina, który dowiódł, że choćby cała ziemia posiadała płynność stopionej lawy, a była otoczona skorupą grubości około 100 kilometrów, ulegałaby przypływom równie silnym, jak i wody oceanów. Na powierzchni takiej przeto bryły i dobowe, dzienne przypływy zgołaby uczuć się nie dawały. Skoro zaś przypływy takie niewątpliwie istnieją, to chociaż przypływy półmiesięczne i miesięczne dostrzedz się nie dają, ziemię — mówi G. H. Darwin — za bryłę stałą uważać należy.

Tak więc i ten trzeci wzgląd astronomiczny do rozstrzygnięcia spornej kwestji dotąd doprowadzić nie zdołał, jakkolwiek z rozważań powyższych wynika, że powody astronomiczno-matematyczne za skrzepnięciem przeważnej części ziemi przemawiają, a wielu wybitnych fizyków społecznych pogładowi temu hołduje.

VIII.

Z zakresu tych prac wspomnieć nam tu jeszcze wypada o rozprawie d-ra Ludwika Birkenmajera („Studja z dziedziny fizyki teoretycznej. I. O wewnętrznym ustroju ziemi”. Lwów 1879), tem więcej, że nasuwa ona pod uwagę naszą jedną jeszcze oko-

liczność, o której nie wspominaliśmy dotąd, mianowicie działanie siły ciężkości wewnątrz ziemi.

Punkt umieszczony zewnątrz ziemi ulega przyciąganiu wszystkiej masy, jakby skupionej w jej środku. Jeżeli jednak wyobrazimy sobie punkt umieszczony wewnątrz kuli, to przyciąganie całej takiej warstwy kulistej, na punkt wewnątrz niej położony, jak to jeszcze Newton okazał, będzie żadne, przyciągania różnych jej części bowiem nawzajem się znoszą. Punkt zatem materialny, znajdujący się wewnątrz ziemi, ulega przyciąganiu tej tylko jej części, która zamknięta jest w powierzchni kulistej, przez tenże punkt przechodzącej, cała zaś warstwa zewnętrzna działania nie wywiera żadnego, czyli, krótko mówiąc, punkt znajdujący się wewnątrz ziemi ulega jedynie wpływowi jądra wewnętrznego.

Jakkolwiek więc, zapuszczając się wewnątrz kuli, zbliżamy się do jej środka, mimo to natężenie przyciągania słabnie, a w samym środku, w samym siedlisku całego tego działnia, schodzi do zera. Przebieg tak prosty mógłby wszakże mieć miejsce jedynie tylko w kuli jednorodnej, czyli utworzonej z masy wszędzie jednakowej. Wewnątrz ziemi stosunki być muszą bardziej zawiłe, głębsze jej bowiem warstwy utworzone są z materiałów gęstszych; gdy więc zagłębiemy się w ziemię, ztraca się wprawdzie działanie warstw skrajnych, ale natomiast znajdujemy się w odległości mniejszej od mas gęstszych, wywierających działanie przeważne, co stratę z zyskiem wynagradza. Dlatego to siła ciężkości aż do pewnej głębokości wzrasta wewnątrz ziemi, dopóki nie zejdziemy tak głęboko, że strata warstw zewnętrz-

nych przeważać zacznie,—znajdziemy się wtedy w okolicy, gdzie siła ciężkości dochodzi najwyższego swego natężenia, swego maximum, by odtąd znów maleć, dopóki w samym środku ziemi nie dojdzie do zera. W jakiej zaś głębokości, w jakiej odległości od powierzchni ziemi maximum to siły ciężkości przypada, zależy to oczywiście od tego, jak rozłożona jest gęstość wewnątrz bryły ziemskiej. Wiemy zaś, że kwestja ta jest zagadkowa i że pod tym względem skazani jesteśmy na domysły tylko.

Otóż dr. Birkenmajer wyraża w pewien sposób ogólny zależność gęstości od ciśnienia i rozbiera szczególne przypadki, o ile się one do rachunku nagiąć dają. W każdym oddzielnym z takich przypadków głębokość, w jakiej siła ciężkości osiąga swe maximum, będzie odmienna: gdyby przyrost gęstości wewnątrz ziemi zachodził w sposób, jak to przyjmował Laplace, miałoby to miejsce w odległości około 188 mil geograficznych, gdyby zaś działo się to według hipotezy Roche'a, odległość ta byłaby nieco mniejsza, około 157 mil geograficznych.

Z drugiej strony dane astronomiczne, o których mówiliśmy wyżej, pozwalają ocenić z pewnem przybliżeniem grubość zeszytniałej skorupy ziemskiej,—z zestawienia zaś tak otrzymanych rezultatów okazuje się, że grubość tej skorupy jest dosyć bliska głębokości, w jakiej siła ciężkości największe swe natężenie osiąga. Zbliżenie to, sądzi dr. Birkenmajer, nie może być przypadkowe, i stara się je w następny wytlómaczyć sposób. Gdy krzepnięcie ziemi wskutek stygnięcia rozpoczęło się na jej powierzchni, to bryły zakrzepłe, stając się cięższymi wskutek zmniejszenia objętości, opadały w otaczającej je cieczy, ale

zejść mogły najgłębiej do tych tylko warstw, gdzie działanie ciężkości jest najsilniejsze. Tu więc gromadziły się masy przeprowadzone w stan stały i od tej okolicy rozpoczęło się formowanie zakrzepłej, zesztyniałej skorupy ziemskiej, której grubość wynosi tedy przynajmniej 200 mil geograficznych.

Inni autorowie przyjmują ruch mas zakrzepłych aż do środka ziemi; dr. Birkenmajer zwraca tedy uwagę na pomijaną dotąd okoliczność, która wszakże prowadzi za sobą pewne trudności i wymaga dokładniejszego rozważania. Skupianie się mas ciężkich dookoła środka stanowi bowiem podstawę zarówno i rozbieżnych wyżej teorii matematycznych, jak i poglądów geologicznych, do których teraz zwrócić się nam wypada.

IX.

Bezpośrednim badaniom geologicznym dostępne są oczywiście wierzchnie tylko pokłady ziemskie, z których o ustroju warstw głębszych bardzo nieliczne tylko skazówki wydobyć można; klucza zatem do odcyfrowania tej zagadki szukać trzeba w geogonji, w historii tworzenia się i rozwoju ziemi, jakkolwiek dzieje te hypotetyczny jedynie charakter przedstawiać mogą. Początkowym punktem wyjścia tych dziejów, jak już wiemy, jest pierwotna mgławica Laplace'a i na tej też podstawie opierają się domysły geologów, które tu przytoczymy pokrótce, według jasnego przedstawienia prof. Lasaulx. Możemy tu zresztą pominąć najbardziej bajeczny wstęp tych

dziejów, gdy ziemia jeszcze masę gazów jedynie stanowiła; uważmy ją w tej chwili, gdy przez ściąganie się i ciśnienie tej masy przeszła już w bryłę ciekłą, dokoła której szeroko rozlegała się jeszcze atmosfera rozżarzona,—stan ten odpowiadał mniej więcej okresowi, w jakim obecnie słońce pozostaje. Ciekła ta masa ziemi nie przedstawiała jeszcze wyróżnienia oddzielnych materjałów, była to jednostajna mniej więcej mieszanina, „magma”, wedle przyjętego w ostatnich czasach terminu, z której dopiero następnie wydzielić się i wyodrębnić miały oddzielne substancje chemiczne i mineralne, stanowiące obecnie części składowe bryły ziemskiej. Wyróżnianiu takiemu przeszkadzała poprzednio ruchliwość masy ciekłej, ciągle w jej łonie prądowania; przy przejściu dopiero ze stanu ciekłego do stałego dokonywać się mogło indywidualne grupowanie pierwiastków i ich związków, krzepnięcie zaś tej ognisto-płynnej sferoidy rozpocząć się mogło tam, gdzie temperatura najwięcej się obniża, zatem na jej powierzchni, wciąż przez promieniowanie stygnącej. Owa ciekła mieszanina wszelakich stopionych materjałów posiadać musiała ciężar właściwy pośredni, była cięższa od materjałów lżejszych, a lżejsza od materjałów cięższych, w skład jej wchodziły; gdy stygła, ze wspólnej tej masy wydobywały się najpierw te materjały, które mogą już w tak wysokiej krzepnąć temperaturze, czyli, innemi słowy, substancje najtrudniej topliwe.

Nie znamy wprawdzie warunków, przy jakich się cały ten przebieg dokonywał, a w szczególności nie wiemy, pod jakim odbywał się ciśnieniem, od czego właśnie ta temperatura krzepnięcia zależy; przypuścić jednak możemy, że wysokość tego ciśnie-

nia w jednakowy mniej więcej sposób na wszystkie oddziaływała materiały, a zatem z płynnej, ognistej mieszaniny wyosabniać musiały się te ciała, które i ze zwykłych naszych doświadczeń znamy jako najtrudniej topliwe. Do ciał zaś takich, jak wiadomo, należą najpierw metale ciężkie, jak iryd, platyna, nikiel, mangan, kobalt, miedź, żelazo, złoto, srebro, a dalej metale lżejsze: glin, wapń, magnez, oraz pierwiastek niemetaliczny, krzem, rozprzestrzeniony bardzo silnie na ziemi w postaci krzemionki i krzemianów, czyli związków z ostatnio wymienionymi i niektórymi innymi pierwiastkami. Wszystkie zatem trudno topliwe substancje podzielić się dają na dwie grupy, na ciała ciężkie, metale, których ciężar właściwy przenosi liczbę 7, oraz na ciała lekkie, jak krzemionka i krzemiany, których ciężar właściwy wynosi około 3. Ognisto płynnej zaś mieszaninie przypisać wypada, jak już nadmieniliśmy, pewien pośredni ciężar właściwy, około $5\frac{1}{2}$, co odpowiada właśnie znanej nam obecnie średniej gęstości ziemi. Gdy więc na powierzchni stopionej masy gromadziły się żuzle zakrzepłe, jedne z nich, lżejsze, pozostawały w górze, tworząc wyspy, gromadzące się i zbijające zwolna w skorupę, która się właśnie z krzemianów składa; cięższe zaś, metaliczne bryły zatapiały się w głąb, dążąc aż do środka bryły ziemskiej. Na drodze tej przybływały wprawdzie do okolic gorętszych, gdzie znowu stopnieć mogły, ale zarazem też dostawały się i pod ciśnienie większe, które w ogólności powrotowi do stanu ciekłego przeszkadzało, a bryły tak zakrzepłe stopniowo gromadziły się około środka.

Proces przeto krzepnięcia bryły ziemskiej dokonywał się z dwu stron spółcześnie, zarazem gru-

biała i skorupa na powierzchni i narastały bryły stałe u środka; jakie wszakże zachodziły tu kombinacje, jak się ustanawiały stopy metaliczne i związki chemiczne, określić nie jesteśmy w możności. W miarę jednak, jak działanie to coraz dalej postępowało, gęstość pozostałej mieszaniny zbliżała się coraz bardziej do gęstości oddzielnych składowych jej części, wydzielanie tych substancji dokonywało się trudniej, a proces krzepnięcia zachodził wolniej.

W ten sposób nabieramy wyobrażenia, że między stałym jądrem a skorupą ziemi przetrwała stosunkowo cienka warstwa pośrednia, a na podstawie doświadczeń geologicznych możemy nawet o jej naturze wyrobić sobie pojęcie. W warstwie tej bowiem zawierać się muszą zarówno krzemiany i metale ciężkie, czyli ogniwa górnego i dolnego zakrzepu, i to w takiej kombinacji, aby ich ciężar właściwy zajmował miejsce pośrednie. Warunkom zaś tym odpowiada najbliżej grupa minerałów oliwinowych, których ciężar właściwy wynosi od 3,2 do 4,3, a skład chemiczny również wymaganiom powyższym odpowiada. Tym sposobem dochodzimy do wniosku, że skały oliwinowe we wnętrzu ziemi odgrywają ważną rolę, jak to inną zupełnie drogą wywnioskował Daubrée, opierając się na budowie aerolitów i na zestawieniu ich z głębokimi pokładami ziemi. W meteorytach mianowicie oliwin stanowi stateczną część składową, na ziemi zaś napotyka się w bazaltach i innych skałach wybuchowych, zajmujących dolne obszary skorupy ziemskiej.

Z wywodów powyższych nie wypływa wszakże koniecznie, by ta warstwa pośrednia między skorupą zewnętrzną a stałym jądrem ziemi dotąd

w stanie ciekłym pozostawać jeszcze miała, i ona bowiem z biegiem czasu zwolna zakrzepnąć również mogła. Zdawałoby się wprawdzie, że objawy wulkaniczne na powierzchni ziemi występujące, a ujawniające się przede wszystkim wypływem płynnej lawy, same już stanowią dowód istnienia pod wierzchnią powłoką ziemi roztopionej dotąd masy. Dawno już jednak przebrzmiały te pierwotne poglądy plutoniczne, według których wulkany stanowić miały jakby klapy bezpieczeństwa, które, dając ujście rozhułtanym falom ognistym wnętrza ziemi, chronić miały okolicę sąsiednią od trzęsień. Obecnie wiadomo, że trzęsienia rozchodzą się z miejsc niezbyt pod powierzchnią ziemi zagłębionych i niekoniecznie wiążą się z działalnością wulkaniczną; lawa zaś, lubo w stanie ciekłym z wulkanów się wydobywa, niekoniecznie już w głębi ziemi ciekłą być musi.

Chociażby bowiem ziemia zupełnie już zakrzepła, to w każdym razie, według wywodów powyższych, pośrednia warstwa oliwinowa najpóźniej w stan stały przeszła i składa się z materiałów najłatwiej topliwych, które przez niewielki przyrost temperatury znowu w stan płynny przejść mogą. Nadto jednak do utrzymywania ich w stanie stałym przyczynia się i ciśnienie warstw górnych, co wogóle na utrudnienie topienia wpływa. Skoro więc w jakikolwiek sposób w pewnym miejscu ciśnienie to ulega osłabieniu, masy przymocą niejako tylko dotąd w stanie stałym utrzymywane rozplywają się znów i tworzą ciekłe lawy. Powód zaś do takiego przechodniego zmniejszania się ciśnienia nastroczają rozliczne fałdowania i przesuwania się górnych pokładów ziemi, co znów jest w związku ze ściąganiem się skorupy, z wytwarzaniem się gór na ziemi. Geologiczne te sprawy jednak bliżej nas tu

zajmować nie mogą; szło nam tylko o wskazanie możliwości, że i hipotezy stwardniałej zupełnie bryły ziemskiej z objawami wulkanizmu nie zostają w sprzeczności.

Powrót zresztą tej lub owej części warstwy pośredniej do stanu ciekłego łatwiej jeszcze pojmować możemy, jeżeli wyobrazimy sobie, że nie zakrzepła ona dokładnie, ale pozostaje w stanie lepkim, ciastowatym, półpłynnym niejako, który poprzedza zupełne skrzepnięcie. Na stan ten przechodni nie zwracano dotąd wogóle dostatecznej uwagi. Przechodzenie ciał ze stanu stałego do ciekłego przywykliśmy oceniać według najłatwiej nastroczających się uwadze naszej objawów topienia lodu; przejście to dokonywa się tu rzeczywiście dosyć nagle, trudno zauważyć jakiś stan przechodni między lodem a wodą, między ciałem stałym a ciekłym. W innych jednak razach zachodzi tu wyraźne stopniowanie, ciało stałe nie zmienia się jakby jednym zamachem w ciecz swobodnie płynną, rozplywa się zwolna, przechodząc przez pewien stan lepkości, ciągliwości, jest jakby półpłynem; stan ten pośredni u różnych ciał trwa krócej lub dłużej, jak to dostrzedz można dobrze na siarce lub selenie. W szczególności, co nas tu głównie obchodzi, okazują to lawy płynące, które są tak spoiste, że opierają się wtłoczeniu w nie obcych ciał, a głazy stosunkowo od nich cięższe unoszą się na ich powierzchni; pomimo to płyną i poruszają się z pewną prędkością. Bardzo łatwo więc zgodzić się możemy na przypuszczenie, że pośrednia warstwa oliwinowa ziemi utrzymuje się w takim właśnie spoistym, lepkim stanie.

Na stan ten przejściowy, półpłynny niejako, fizycy w ostatnich dopiero czasach bliższą nieco

uwagę zwracać zaczęli. Werner Siemens, badając zachowanie się i powolne krzepnięcie szkła stopionego, rozpatrzył to powolne przechodzenie ze stanu doskonale płynnego w stan ciastowaty, który się utrzymuje pod najsilniejszym ciśnieniem; na podstawie zaś tych poszukiwań zarzuca on Thomsonowi, że w znanych nam już dochodzeniach matematycznych przyjmował nagle i stanowczą granicę między twardą skorupą a płynnym wnętrzem, gdy w naturze w ogólności przejście to dokonywa się tylko zwolna i stopniowo.

Okoliczność tę należy tedy uwzględnić w hipotezach o wewnętrznym ustroju bryły ziemskiej; rzeczywiście też zarówno rygidyści jak i wiscydyści, jak Hennesy nazywa stronników stałości i płynności jądra ziemi, pod skorupą zewnętrzną mieszczą taką magmę, czyli warstwę masy plastycznej, która dobrze się nadaje do wyjaśnienia objawów wulkanicznych. Aż do granicy, w której się magma ta rozpoczyna, liczyć należy grubość skorupy ziemskiej, dla obliczenia jej jednak brak nam istotnych skazówek geologicznych. Na podstawie nader słabo ledwie znanego prawa przyrostu temperatury podziemnej obliczył Henrich, że w głębi 84 000 metrów panować musi temperatura 2 500°, w której wszystkie już nam znane substancje ziemskie stopieniu ulegać muszą. Brano pod uwagę przewodnictwo materiałów, składających skorupę ziemską i niektóre inne dane geologiczne, a stąd różni różnie oceniali jej grubość, ale ocena taka dostatecznego uzasadnienia przedstawiać nie może.

Geolog chorwacki Pilar, który całą naukę o objawach podziemnych objął oddzielną nazwą abyssody-

namiki, przemawia za płynnością jej wnętrza i przyjmuje, że grubość skorupy stanowi około $\frac{1}{50}$ do $\frac{1}{40}$ części całego promienia ziemskiego, co najwyżej zaś wynosi 120 kilometrów. Główny jednak nacisk w teorii swej kładzie na to, że grubość skorupy w różnych miejscach zgoła nie jest jednakowa, czyli że powierzchnia lawy roztopionej w różnych punktach niejednakowo blisko do powierzchni ziemi przystępuje. Powierzchnię tę, która przebiega przez najwyższe wyniesienia się tych mas ciekłych, nazywa on ryakohypsą, a położenie jej ma zostawać w związku z rozmaitem natężeniem działalności wulkanicznej w różnych miejscach ziemi.

X.

Jakkolwiek mówiliśmy już o stałym, płynnym i półpłynnym stanie wnętrza ziemi, nie wyczerpaliśmy wszakże wszystkich możliwych domysłów. Pozostał bowiem jeszcze lotny, gazowy stan materji.

Może się wprawdzie zupełną wydawać niedorzecznością przypuszczenie, że wnętrze ziemi wypełnione być może gazem, który przecież pod olbrzymim naciskiem, jakiby tam panował, lotności swojej utrzymywałby nie mógł i musiałby uleść skropleniu. Doświadczenia przecież Cailleteta, Picteta, Wróblewskiego i Olszewskiego przekonały, że najoporniejsze nawet gazy, które niedawno trwałemi nazywano, ulegają wreszcie przemocy i zamieniają się w cieczę, — jakżeby oprzeć się mogły naporowi w łonie ziemi?

Cokolwiek jednak sądziłobyśmy o takiej hipote-

zie gazowego jądra ziemi, tak pośpiesznie odpierać jej nie można, skraplanie bowiem każdego gazu dokonać się może jedynie poniżej pewnej, oznaczonej temperatury. Andrews mianowicie wykazał, że dla każdego gazu istnieje pewna temperatura krytyczna, powyżej której żadne wysilenie, żadne, choćby największe ciśnienie, jakkolwiek znacznie mogłoby objętość jego zmniejszyć, nie będzie wszakże w stanie gazu tego w ciecz zamienić. Przyczyna tego osobliwego zachowywania się gazu na tem polega, że przez ściskanie go rozwija się ciepło, które się skraplaniu sprzeciwia; aby gaz zatem w ciecz zamienić, nie wystarczy samo poddawanie go znacznym ciśnieniom, ale potrzeba jeszcze koniecznie oziębic go poniżej owej temperatury krytycznej, która zresztą dla każdego gazu jest inna. Dla gazów najwybitniejszych, jak dla wodoru, przypada ona bardzo nisko, około 200° niżej zera; dla gazów innych temperatura krytyczna jest wyższa, ale i pary wodnej nie można skroplić, nie można jej w wodę zamienić, skoro ogrzana jest wyżej 580°. Rozumie się, że dla ciał trudno topliwych i trudno lotnych granica ta sięga wyżej jeszcze, zapewne jednak tak wysoka temperatura, jaka w łonie ziemi panować może, przewyższa punkty krytyczne wszelkich znanych nam ciał;—z tego więc względu hipoteza gazowego jądra przeszkody nie napotyka.

Nie jest to nawet pomysł nowy, już bowiem Franklin wyobrażał sobie ziemię wypełnioną wewnątrz płynem sprężystym czyli gazem; do poglądu tego, który przyjął także i Chladni, skłaniał Franklin ten wzgląd, że na zasadzie prawa Mariotte'a o zależności między gęstością gazu a ciśnieniem, ja-

kie on znosi, obliczyć można, że już w niewielkiej stosunkowo głębokości gazy przyjmować muszą gęstość przechodzącą gęstość platyny lub irydu, ściśnięta przeto taka masa gazu całą skorupę łatwo na sobie unosić może. Leslie znów, w duchu widocznie ówczesnej fizyki, zastąpił gazy „płynami nieważkami”, którym przypisywano większą jeszcze aniżeli gazom sprężystość, czyli siłę repulsyjną, co według świadectwa Humboldta w sferach nienaukowych dało powód do rojeń fantastycznych. Przypomniano sobie może dawny pomysł Halleya, że ziemia jest wydrążona i we wnętrzu swem mieści planetę, której ruchy powodują zmiany w natężeniu magnetyzmu ziemskiego.

Z pisarzy nowszych w podobnym duchu przemawia znany filozof angielski Herbert Spencer, który wypełnia wnętrze ziemi parami o wysokiej bardzo prężności; mało wszakże zwracano uwagi na hipotezę tę, aż wreszcie znalazła ona godnego przedstawiciela w osobie Ritтера, który na zasadach teorii mechanicznej ciepła przeprowadził dokładne badania nad konstytucją gazowych ciał niebieskich. Wiadomo, że gdy pewna ilość powietrza powiększa swą objętość, temperatura jej opada, jak to się dzieje np. z prądami wznoszącymi się w górę w atmosferze naszej. Ritter rozpatruje tedy kulę gazową, której temperatura maleje od środka ku powierzchni według tego samego prawa, jakby to miało miejsce, gdyby pewna masa tego gazu wznosiła się w tymże kierunku, oziębając się wskutek samego rozprzestrzeniania. Kula taka stygnie przez promieniowanie, przez wysyłanie ciepła w przestrzeń, ale wskutek tego ściągą się zarazem, co znów powoduje przyrost tempe-

ratury, który owa utratę zewnętrzną ciepła pięciokrotnie wynagradza. W bryle takiej, objętości naszej ziemi, gęstość gazu około środka przechodzi 143 razy gęstość wody, panuje tam ciśnienie wyrównujące trzem milionom atmosfer, a temperatura dochodzi 100 000°. Przypominamy sobie, że olbrzymie i przerażające takie ciśnienie stanowiło jeden z powodów, dla których wielu badaczy zarzuciło hipotezę wnętrza ciekłego i skłoniło się do pojęć o zupełnem zakrzepnięciu ziemi. Zresztą o własnościach gazu, pozostającego w okolicznościach tak odrębnych od warunków, w jakich się obserwacje nasze obracają, nie umielibyśmy wiele powiedzieć; to tylko twierdzić można, że zachowuje on zawsze zasadniczą własność gazów, to jest rozprzestrzenianie się, zdolność zapełniania wszelkiej próżni, która mu się otwiera.

Pomysły Rittersa zyskały rozgłos, gdy je rozwinął Zöppritz na zjeździe geografów niemieckich w r. 1823. Ritter zresztą w poszukiwaniach swoich nie wychodzi poza obręb gazowego wnętrza ziemi, Zöppritz uzupełnia te wywody i prowadzi aż do obecnej powierzchni ziemi. W miarę, jak wydobywamy się z wnętrza tej ogólnej masy gazowej, jak temperatura jej się obniża, wyosabniają się z niej odrębne pierwiastki, utrzymując się jeszcze w stanie lotnym, dopóki temperatura nie opada poniżej ich punktów krytycznych; wtedy obezwładnione dotąd ciśnienie władzę swą odzyskuje i roztacza się warstwa ciekła. Im bliżej dochodzimy do powierzchni, tem więcej ciecz ta na czystości traci, staje się mętną, spoistą, ukazują się w niej bryły zakrzepłe, i stopniowo, bez gwałtownego przeskoku, przechodzi wreszcie w skorupę zeszytniałą, której powierzchnię człowiek za-

mieszkuje. W przebiegu tym odnajdujemy znowu ową półpłynną warstwę pośrednią, która tedy, jak się okazuje, równie dobrze pogodzić się może z wnętrzem gazowem, jak z jądrem ciekłym lub stałym.

Za gazowem wnętrzem ziemi obstaje wreszcie i Svante Arrhenius (1900), sądzi bowiem, że temperaturze, jaka panuje zapewne już w głębokości 300 kilometrów, żadne ciało oprzeć się nie może i wszystkie tam się ulatniają, chociaż pod olbrzymiem ciśnieniem we wnętrzu ziemi gazy ogólnem swem zachowaniem zbliżać się muszą do ciał stałych, a gazową swą naturę tem tylko jeszcze ujawniać mogą, że przy wszelkich zmianach ciśnienia szybkemu ulegają przesunięciu. Dla przyczyn nam znanych przyjmuje dalej Arrhenius, że wśród tych gazów wnętrza ziemi przeważa żelazo w stanie lotnym, a taka gazowa kula żelazna zajmować ma 80 odsetek promienia ziemskiego, gdy stałej skorupie przypisuje rozległość niespełna 1 odsetki, około 40 kilometrów zaledwie; przestrzeń pośrednią zajmować ma magma, która stopniowo przez stan ognisto-płynny do bryły zakrzepłej prowadzi.

Z zestawienia powyższego widzimy, że obecna nasza znajomość wnętrza ziemi przedstawia się w zarysach bardzo skromnych, a daleka chyba dopiero przyszłość zdoła wygładzić sprzeczności, któremi się jeżą poglądy dzisiejsze. Zbyt długo zatrzymywalem tu może uwagę czytelnika nad sprawą, o której

naprawdę nic nie wiemy. Niech mnie jednak usprawiedliwi to, że więcej pisze się o rzeczach, których także nie rozumiemy lepiej, choć dzieją się na powierzchni ziemi i w blasku dnia jasnego.

HISTORIA GAZÓW

I ICH ZNACZENIE W NAUCE DZISIEJSZEJ.

I.

„Stan trzeci był niczem, powinien być wszystkim”. Pamiętne te słowa, którei Sieyès tak silnie rozbudził pragnienia pokrzywdzonych warstw społeczeństwa ludzkiego, odnieść możemy bez zmiany i do trzeciego stanu skupienia ciał, do stanu lotnego.

Gazy były również niczem dla nauki, obecnie są wszystkim; na wszelkich polach badań fizycznych i chemicznych odgrywają przeważną rolę.

Były niczem: oprócz powietrza atmosferycznego nieznane zgoła, nie istniały dla nauki tak dalece, że sama ich nazwa jest pochodzenia nowoczesnego, powstała bowiem dopiero na początku wieku siedemnastego, gdy fizyka scholastyczna rozpadła się w gruzy, a rojenia alchemiczne ustępowały ściślejszym badaniom jatrochemicznym. Utworzył ją słynny w dziejach chemii Jan Baptysta van Helmont:

„Gas et Blas nova quidem sunt nomina, a me introducta, eo quod illorum cognitio veteribus fuerit ignota: Attamen inter initia physica Gas et Blas necessarium locum obtinent”.

„Blas” miał to być czynnik, czyli raczej podnieta zewnętrzna, która wiejąc od gwiazd, sprowadzała zamianę gazu w parę i w wodę. Wraz z pojęciem tem i wyraz rychło zaginął, nazwa wszakże gazu, wyprowadzona z holenderskiego „gahst”, co znaczy duch, utrzymała się w nauce i przeszła do mowy potocznej. W pochodzeniu więc nazwy gazu zdradza się stare mniemanie o powinowactwie duszy ze stanem powietrznym, lotnym, tak jak chemicy dawni na oznaczenie łatwo ulatniającej się substancji używali pozostałej dotąd nazwy spirytus, jak to w języku naszym okazuje pokrewieństwo wyrazów dech i duch. W każdym razie nazwa gazu szczęśliwie utworzona została, gdy nawet i u nas nie targnęli się na nią rzekomi obrońcy czystości języka, którzy z takim wysileniem pracują nad wypłenieniem z naszego słownictwa naukowego terminów greckich i łacińskich.

W czasach, gdy Helmont pisał, ani fizyka, ani chemja gazów w istocie rzeczy nie istniała. Fizycy starożytni nie znali gazów odrębnych od powietrza, które było tedy jedynym przedstawicielem swego typu, nie umieli nawet wyróżnić od niego pary. W układzie żywiołów czyli elementów Arystotelesa powietrze było żywiołem łączącym w sobie sprzeczności gorąca i wilgoci, tak jak ogień był żywiołem gorącym i suchym, woda zimnym i wilgotnym, a ziemia wreszcie zimnym i suchym. Pojęcia te, które się nam tak osobliwe wydają, wpływały stąd, że Arystoteles, jak i inni filozofowie starożytni, do wyjaśnienia objawów

przyrody nie dążył drogą obserwacji i doświadczenia, ale usiłował ją ująć przez spekulacje czysto logiczne. Zmysły nasze, a w szczególności dotyk, zdradzają nam w ciałach cztery zasadnicze jego uczucia, czyli własności materji: ciepło i zimno, suchość i wilgoć. Cztery te własności, łącząc się po dwie, dają sześć kombinacji; ponieważ wszakże sprzeczności bezpośrednie, t. j. ciepło i zimno oraz suchość i wilgoć, wiązać się ze sobą wprost nie mogą, z możliwych zatem sześciu pozostają tylko cztery kombinacje, cechujące cztery wyżej wymienione substancje elementarne czyli żywioły, z których się budują wszystkie ciała ziemskie.

Spekulatywne to wnioskowanie zaszkodziło wszakże nie tylko chemji, ale i fizyce powietrza. Według bowiem Arystotelesa są te żywioły zależnie od swej natury ciężkie lub lekkie. Ziemia jest żywiołem bezwzględnie ciężkim, ogień bezwzględnie lekkim, woda zaś i powietrze są tylko względnie ciężkie lub lekkie, stosownie do tego, jak z innemi elementami występują. Woda nie jest więc ciężka względem ziemi, ani powietrze względem wody, dla tego też woda nie może wywierać ciśnienia na ziemię, a powietrze na ziemię i na wodę. Aby tedy wyjaśnić działanie ssące, czyli podnoszenie się wody w rurze, z której powietrze zostało usunięte, wprowadzić musiał Arystoteles osławioną obawę próżni, horror vacui, chociaż posiadał świadomość o ciężarze powietrza i próbował je nawet ważyć. Arystoteles bowiem góruje nad poprzednikami swymi o tyle, że nie odwraca się od rzeczywistości i zbiera dostrzeżenia; gdy wszakże o tłumaczenie ich idzie, zachowuje metodę filozofowania na podstawie zasad z góry przy-

jętych. Nieszczęśliwa zaś obawa czczości uczyniła czężą wszelką naukę o powietrzu przez cały ciąg panowania fizyki arystotelesowej.

Najwspanialszy okres fizyki powietrza w starożytności przypada na epokę aleksandryjską, gdy w połowie drugiego stulecia przed Chr. Ktezibios, a więcej jeszcze uczeń jego Heron zasłynęli, jako wynalazcy różnych przyrządów, polegających na prężności powietrza, a które Heron opisał w dziele swem „*Spiritualia seu Pneumatica*”. Należą tu: pompa ssąco-tłocząca, wiatrówka, bania Herona, wytrysk Herona, eolipila, wprawiana w ruch działaniem pary lub powietrza rozgrzanego. Chociaż jednak obaj ci mechanicy greccy, jak i następnie Witruwjusz w Rzymie, tak dobrze prężność powietrza do potrzeb praktycznych stosować umieją, teoretycznej mechaniki gazów zgola nie wytworzyli.—Następnie, aż do końca wieku szesnastego, napotykamy u różnych pisarzy, jak u Mikołaja de Cusa, u Leonarda da Vinci, zaledwie pewne wzmianki o ciężarze powietrza, a Hieronim Cardanus, sławny matematyk i pogromca scholastyków w wieku szesnastym, ocenia, że jest ono pięćdziesiąt razy lżejsze aniżeli woda, chociaż przyznaje, że liczba ta nie jest dokładna. U samego zatem schyłku fizyki dawnej najelementarniejsze nawet ustępy nauki o gazach nie były jeszcze zapisane.

II.

Zwyczajna wszakże pompa, znana, jak widzieliśmy, Ktezibiosowi, a może i jego poprzednikom, której działanie tłómaczono zasadą obawy próżni, do-

prowadzić miała do wielkiego odkrycia ciśnienia atmosferycznego. Celu tego nie osiągnął jeszcze twórca fizyki nowoczesnej, ale utorował przynajmniej do niego drogę, jakkolwiek o rzecz tę potrąca pośrednio tylko, mówiąc o wytrzymałości belek i ciał w ogólności, której poświęca dzień pierwszy i drugi swoich „*Discorsi*”. Dziwną wydawać się nam może ta uboczna wzmianka przy odrębnej zgola nauce o wytrzymałości ciał, ale wypływa to stąd, że w tym jednym razie przyjmuje Galileusz pogląd starego swego przeciwnika, którego na wielu punktach tak szczęśliwie pokonał. Arystoteles mianowicie wytrzymałość ciał tłómaczył zasadą swą obawy próżni; gdy bowiem ciało rozerwać chcemy, pomiędzy rozsuniętymi jego częściami choć na chwilę powstać musi przestrzeń pusta, ale że natura próżni się tej lęka, stara się przeto rozrywaniu takiemu przeciwdziałać. Dla wyjaśnienia tych objawów odwołujemy się obecnie do działań międzycząsteczkowych, o których nie myślano jeszcze w owych czasach; w braku więc tłómaczenia lepszego mówi tu Galileusz również o obawie próżni, ale używa wyrazu tego jedynie dla oznaczenia pewnej siły, której dokładniej wyrazić nie umiano. Okazuje się to z dalszych rozważań Galileusza. Wytrzymałość ciał jest różna, nie polega to wszakże na tem, by owa obawa próżni miała w nich być różna, ale pochodzi stąd, że ciała posiadają rozmaite pory. Im więcej znajduje się pustych takich przestrzeni wewnątrz ciała, tem silniej dąży przyroda do wtłaczania w nie materji, tem przeto wytrzymalsze jest ciało; pory te zresztą występują w niezmiernej ilości i są tak drobne, że powietrze przenikać tam nie może.

Ale ta obawa próżni nie jest już dla Galileusza nieokreślonym jakimś wstrętem przyrody do pustej przestrzeni; uważa ją owszem za pewną oznaczoną siłę, której wielkość ocenić można przez działanie pompy. Obserwacja zaś uczy Galileusza, że woda w pompie ssącej wznosi się najwyżej do 18 braccia, t. j. łokci; gdy rura pompy jest wyższa, słup wody zatrzymuje się na przytoczonej wysokości, obawa zatem próżni jest to siła takiej wielkości, że równoważyć może ciśnienie słupa wody, sięgającego na 18 braccia.

Nawykli do bieżących pojęć naukowych, gotowi jesteśmy drwić z wyrażenia, że natura lęka się próżni tylko do wysokości 18 łokci czyli 32 stóp paryskich. Nie zapominajmy jednak, że wysłowienie to osłania jedynie fakt, ale fakt już należycie zbadany, wielkość dokładnie zmierzoną. Mierzenie zaś objawów przyrody daje podstawę do matematycznego ich rozważania, jest niezbędnym początkiem wszelkiego ścisłego badania przyrody. Chociaż zatem Galileusz jeszcze się do obawy próżni odwołuje, ale że ją liczebnie wyrazić umie, daje tem samem możność dalszych dochodzeń, otwiera drogę, na której zjawisko to dokładniej ma być poznane.

Chwała ukończenia tych badań przypadła wielkiego mistrza znakomitemu uczniowi, Torricellego. Ponieważ doświadczenia z tak wysokim słupem wody, jaki się wznosi w pompie, były zbyt uciążliwe, postanowił powtórzyć je Torricelli z cieczą inną, od wody cięższą. Najprzydatniejszą być mogła do tego rtęć, która, jako 13 razy od wody cięższa, powinna być już w wysokości $\frac{32}{13}$ stopy, czyli 28 cali, zrównoważyć obawę próżni, jeżeli jak twierdził Galileusz, obawa ta

jest pewną, oznaczonej wielkości siłą; siła bowiem mierzy się nie długością pewnego słupa cieczy, ale ciśnieniem przezeń wywartem. Zamierzonego tak doświadczenia Torricelli sam nie wykonał, ale zalecił je uczniowi i przyjacielowi swemu Wincentemu Vivianiemu, który też rzeczywiście stwierdził, w r. 1643, w rok zatem po śmierci Galileusza, że w rurze, w górnym końcu zamkniętej, a dolnym pograżonym w rtęci, ciecz ta utrzymuje się na wysokości 28 cali. Wyprowadzić stąd wniosek o ciśnieniu powietrza nie było, oczywiście, rzeczą tak łatwą, jak dziś dla nauczyciela, który doświadczenie to uczniom swoim powtarza. Przed genialnym umysłem Torricellego odsłoniła się wszakże bezpośrednio wielka zagadka przyrody. Skoro obawa próżni ma tak różną granicę nad wodą i nad rtęcią, jest ona wogóle niedorzecznością; jeżeli więc ciecz podnosi się w pustej przestrzeni, musi to mieć przyczynę inną, a przyczynę tę wskazał Torricelli w ciśnieniu atmosferycznem. Szczególniej zaś do zastąpienia obawy próżni tem ciśnieniem skłoniło Torricellego spostrzeżenie, że wysokość rtęci w rurze ulega pewnej chwiejności. Gdyby bowiem stwierdzono to tylko, że siła, która podtrzymuje słup wody wysoki na 32 stopy, dźwiga też słup rtęci sięgający do 28 cali, nie mielibyśmy jeszcze dostatecznego powodu do zmiany wyobrażeń o naturze tej siły. Skoro wszakże dostrzeżono, pisze Torricelli w liście do Michała Anioła Ricciego w r. 1644, że wielkość tej siły jest chwiejna, to czas już zarzucić pojęcia o obawie próżni; niepodobna bowiem przypuścić, by przyroda, jeżeliby nawet pewne obawy posiadała, miała być kapryśną jak zalotna dziewczyna, w upodobaniach swych i wstrętach.

Odkrycie Torricellego należy do najbardziej wytycznych epok w dziejach nauki, on sam jednak dalej już go nie rozwijał, gdyż umarł w roku 1647, w niespełna czterdziestym roku życia. Ale praca jego wymagała uzupełnienia; chociaż bowiem pusta przestrzeń nad rtęcią rury barometrycznej przekonywała dowodnie, że hipoteza obawy próżni jest bezzasadna, nie wypływało stąd jeszcze stanowczo, by koniecznie ciśnienie powietrza miało być źródłem tych objawów. Zasada tak nowa, prowadząca do wniosku tak osobliwego, że sami pozostajemy pod olbrzymiem ciśnieniem, choć go nie czujemy, wymagała potwierdzenia, któreby zdołało ogół przekonać i do przyjęcia nowej nauki nakłonić.

Takiego dowodu potwierdzającego dostarczył Pascal. Dwudziestoletni zaledwie młodzieniec usłyszał o doświadczeniach Torricellego za pośrednictwem Mersenne'a, który dla swej ruchliwości i licznych stosunków ze współczesnymi fizykami zastępował miejsce pisma naukowego. Nowego tłumaczenia tych zjawisk Pascal nie znał, a powtórzywszy doświadczenia Torricellego z rtęcią, wodą i winem czerwonym, tłumaczył je starą obawą próżni. Gdy dowiedział się dokładniej o nowej nauce, nie skąpił usiłowań, by domysł ciśnienia atmosferycznego należycie potwierdzić. Starał się tedy naprzód powietrze nad zbiornikiem rtęci usunąć i dostrzegł istotnie, że pod zmniejszonym tak ciśnieniem rtęć w rurze barometrycznej opadła. Tem wszakże jeszcze niezadowolony zapragnął poznać stan barometru na wysokiej górze. Sam zamiaru tego urzeczywistnić nie mógł, uprosił tedy o przeprowadzenie podobnych dostrzeżeń szwagra swego Périera, przebywającego w Cler-

mont, u stóp góry Puy de Dôme. Périer, zaopatrując się w rury i potrzebną ilość rtęci, zdołał po upływie roku dopiero spełnić żądanie Pascala. Wstępując na górę, d. 19 września 1648 r., widział, jak zgodnie z przewidywaniem rtęć wciąż opadała, a u szczytu, w wysokości 4300 stóp paryskich, obniżyła się względem pierwotnego stanu o 3 cale i 15 linij. Tak znaczny spadek uderzył Pascala i zachęcił go do prób na wysokościach mniejszych, i rzeczywiście już na wieży kościoła św. Jakóba w Paryżu okazał się spadek barometru o dwie linje. W tymże samym jeszcze roku opisał doświadczenia te w ulotnem piśmie, które okazało bezzasadność obawy próżni. W ciągu dwu następnych jeszcze lat Pascal zajmował się gorliwie obserwacjami barometrycznymi i podał wyjaśnienie wielu zjawisk, od ciśnienia atmosferycznego zależących; w szczególności zaś, co najważniejszą jest jego zasługą, wykazał, że ciśnienie rozchodzi się w powietrzu równomiernie, według tych samych zasad, co w cieczach. Pracom fizycznym poświęcił zresztą Pascal kilka zaledwie lat krótkiego swego żywota, gdy następnie głęboki umysł jego zmitrężył się w pietystycznych rojeniach.

Ale obserwacja barometru na górze, chociaż tak stanowczo przekonywająca o ciśnieniu atmosferycznem, nie była jeszcze dla ogółu argumentem dosyć silnym. Jak podróże naokoło ziemi świadczą o jej kulistości nawet ludziom do rozumowania naukowego nienawykłym, tak i tu trzeba było jeszcze dowodu oczywistego, dotykającego, a ten ostateczny tryumf nauce o ciśnieniu atmosferycznem dały rozgłosne doświadczenia z półkulami magdeburskimi.

Śród strasznej zawieruchy wojny trzydziesto-

letniej, wpłątany w jej klęski jako inżynier, dyplomata, radca i burmistrz na usługach rodzinnego miasta, znajdował Otto Guericke krótkie chwile wywczasu i spokoju na prowadzenie doświadczeń fizycznych, których rezultatem było wynalezienie pompy powietrznej. O pracach Torricellego nie wiedział, zajmowało go tylko żywo dawne pytanie, czy przestrzeń pusta istnieć może, i sądził, że doświadczenie tylko spór ten rozstrzygnąć potrafi. „Filozofowie bowiem, którzy trzymają się jedynie swych sądów i argumentów, doświadczenia zaś nie uwzględniają, nie mogą nigdy osiągnąć pewnych i należytych wniosków co do zjawisk przyrody; widzimy przecież, że rozum ludzki, gdy nie zważa na rezultaty doświadczeniem zdobyte, usuwa się często od prawdy dalej, aniżeli odległość słońca od ziemi wynosi”. Píše tak w dziele swoim „Experimenta nova magdeburgica”, wydanem dopiero w r. 1673, lubo maszyny jego i doświadczenia dawno już miały rozgłos powszechny.

Pierwsze próby nie były pomyślne. Guericke bowiem użył beczki napełnionej wodą, którą chciał usunąć za pomocą pompy ssącej, u spodu beczki osadzonej; woda wydobywała się rzeczywiście z beczki, w miejsce jej wszakże wdzierało się z szumem powietrze przez szczeliny. Aby więc dostęp jego powstrzymać, umieścił beczkę swą w innej, większej, również wodą napełnionej, ale i tym razem usłyszał fatalny szum, zdradzający, że ściany beczki nie zdołały powstrzymać dostępu wody z zewnątrz. Dopiero, gdy beczkę zastąpił balonem miedzianym, opatrzonym w rurę z kurkiem, a do rury tej przyskrubował starannie pompę, otrzymał pierwszą swą maszynę pneumatyczną. Roku, w którym przyrząd ten zbudowa-

wany ostatecznie został, oznaczyć dokładnie niepodobna. Jeden z nowszych biografów Guerickego sądzi, że doświadczenia powyższe prowadzone i ukończone zostały w ciągu lat 1632—1638, a w takim razie próżnia Guerickego byłaby wcześniejsza aniżeli Torricellego. Data ta jest zapewne znacznie za wcześnie, ale niewątpliwie najpóźniejszy termin wynalezienia pompy powietrznej odnieść należy do roku 1652.

Pamiętne swe doświadczenia z półkulami magdeburskimi okazywał Guericke publicznie po raz pierwszy podczas sejmiku w Regensburgu, w r. 1654. Wywarły one wrażenie potężne, nie były to bowiem skromne kule do jakich przywykliśmy w dzisiejszych gabinetach; Guericke przyrządy swe wogóle wyrabiał w wielkich wymiarach, do czego go zagniała zresztą budowa ich jeszcze pierwotna. Półkule okazywane w Regensburgu miały $\frac{3}{4}$ łokcia magdeburskiego w średnicy, a szesnaście koni ledwo je rozrywało. „Ale że półkule te przy rozrywaniu ulegały pewnemu uszkodzeniu... poleciłem wyrób większych, o średnicy całego łokcia. Kotlarze wszakże rzadko wykończyć mogą naczynie dokładnie według wskazanej miary, dla tego też w rzeczywistości średnica ta okazała się równą 95 setnym łokcia. Po usunięciu powietrza 24 konie nie mogły półkul tych rozerwać, po napełnieniu zaś ich powietrzem każdy mógł je bez wysiłku rozdzielić”.

Nie należy z opisu tego wnosić, że Guericke miał jedynie na celu wzbudzanie podziwu tłumów; był on biegłym eksperymentorem i rozumiał już znaczenie dokładnych mierzeń przy doświadczeniach. Wążył powietrze i zbudował manometr do oceny jego

prężności; wniósł, że w różnych warstwach atmosfera ma rozmaitą gęstość; urządził barometr wodny i poznał, że zmienność pogody wiąże się ze zmianami ciśnienia atmosferycznego.

W końcu zatem pierwszej połowy wieku siedemnastego zdobytą została znajomość ciężaru powietrza i wypływającego stąd jego ciśnienia; ale ciężar gazów nie stanowi jeszcze właściwej ich cechy, wyróżniają się bowiem od innych ciał swoją prężnością. Zbadanie zaś tej własności przypada na drugą połowę tegoż stulecia.

III.

W miarę, jak oswajano się z zasadą ciśnienia atmosfery, nasuwała się pod uwagę prężność powietrza, którą Guericke starał się uwidocznić jasnymi doświadczeniami, jak gwałtownym przypływem powietrza do pustej kuli szklanej, lub wydymaniem i pękaniem pęcherza pod dzwonem pompy pneumatycznej. W szczególności zaś, gdy widziano, jak półkule magdeburskie, których niepodobna było rozzerwać, rozchodzą się łatwo za odkręceniem kurka, zrozumiano, że prężność powietrza, czyli dążność jego do rozprzestrzeniania się, równoważy się z ciśnieniem, jakiego ono z zewnątrz doznaje. Guericke wniósł stąd, że w dolnych warstwach atmosfery powietrze posiada gęstość większą, aniżeli w górnych, co okazał niezależnie od swej pompy, gdy kule szklane, zamknięte kranem, przenosił na szczyt góry; za otwarciem bowiem kranu powietrze wyrывało się

z nich ze świstem; gdy zaś kran na szczycie został zamknięty, a u spodu góry otwarty, powietrze również gwałtownie do kuli wpadało.

Pomimo dowodów tak oczywistych umysły nawykłe do pojęć dawnych z poglądami nowymi pogodzić się nie mogły. Wydawało się wielu uczonym ówczesnym niemożliwym, by płyn tak subtelny i tak się łatwo na wszystkie strony usuwający, jak powietrze, dźwigać mógł słup rtęci na 28 cali wysoki, a profesor kolegjum angielskiego w Leodium, Franciszek Linus, w dziełku „De experimento argenti vivi tubo vitreo inclusi” zgłosił inaczej tłómaczył doświadczenie Torricellego. Według niego rtęć uczepia się u górnego końca rury cienkimi, niewidzialnymi wprowadzicie nitkami, on sam wszakże czuł wyraźnie, jak silnie nitki te ciągną, gdy do barometru użył rury otwartej, której górny koniec palcem swym zakrył.

Nie dziełem tem jednak i dziwaczną tą teorią upamiętnił autor swe nazwisko, ale odpowiedzią, jaką praca jego wywołała. „Obronę nauki o sprężystości i ciężarze powietrza” przeciw Linusowi temu napisał mianowicie w r. 1662 Robert Boyle, znakomity eksperymentator, który już przed kilku laty udoskonalił pompę Guerickego i używał jej do nowych doświadczeń, a w dziele, o którym mowa, mieści się odkrycie nowego prawa, co było rzeczą o wiele ważniejszą, aniżeli odparcie uczonego profesora z Leodium. By go o oporności powietrza przekonać, użył Boyle rury zgiętej, której ramię krótsze było zamknięte, gdy przez otwór rury dłuższej dolewano stopniowo rtęci. W miarę, jak słup rtęci stawał się wyższym, powietrze zamknięte w rurze krótszej ścisnęło się coraz bar-

dziej, równoważąc coraz znaczniejsze ciśnienie zewnętrzne; wraz ze zmniejszaniem się zatem objętości powietrza wzrastała jego prężność. Ciśnienia wywierane przez rtęć i odpowiadające im objętości powietrza zestawił Boyle w tablicach, ale na wzajemną zależność obu tych wielkości uwagi nie zwrócił; uczeń dopiero jego, Ryszard Townley, dostrzegł, że z tablic tych wypływa zależność bardzo prosta, objętości bowiem zamkniętego powietrza są odwrotnie proporcjonalne do ugniatających je ciśnień. Wtedy i Boyle zajął się bliżej tem spostrzeżeniem i okazał, że prawo powyższe utrzymuje się i dla ciśnień mniejszych od atmosferycznego, a zatem w ogólności objętość powietrza wzrasta w tymże samym stosunku, w jakim słabnie wywierany na nie ucisk.

Niewątpliwie więc odkrycie tego dla nauki o gazach zasadniczego prawa zawdzięczamy Boyle'emu, pospolicie wszakże oznacza się ono nazwiskiem Mariotte'a, choć ten ostatni ogłosił je dopiero w roku 1676, zatem w czternaście lat później, w dziele „*Essai sur la nature de l'air*”.

Przeoczywszy jednak niewątpliwie pierwszeństwo Boyle'go, nauka nie popełniła może tak zupełnej niesprawiedliwości, jak to dziś nieraz o sprawie tej słyszymy, gdyż Mariotte doniosłość tego prawa lepiej ocenić umiał i zastosował je szczęśliwie do obliczania wysokości danego miejsca ze stanu barometru, chociaż, oczywiście, przy ówczesnym stanie matematyki wzór jego daleki być musiał od dokładności, jaką metoda ta w czasach znacznie późniejszych dopiero osiągnęła. Anglicy nazywają Boyle'go wielkim eksperymentatorem, rzeczywiście bowiem doświadczenia swe, należycie obmyślane, prowadził z wielką zręcz-

nością i ścisłością, tak, że pod tym względem dorównywa fizykom nowoczesnym. Szło mu wszakże wyłącznie prawie o stwierdzenie danego faktu, na wysnuwaniu z niego wniosków wcale mu nie zależało. Dlatego też na postęp nauki wpłynął mniej, aniżeli po obfitości prac jego i jego biegłości oczekiwać można było. Widzieliśmy też, że uzupełnieniem najważniejszego swego odkrycia, o którym tu mowa, zajął się dopiero, gdy jeden z jego uczniów z doświadczeń jego pierwszy wniosek wyprowadził. Zasługi zresztą Boyle'go nauka zawsze wdzięcznie uznawała, ale pisarze angielscy często je przeceniali, a znakomity fizyk Tait, odmawiając wszelkiego znaczenia Mariotte'owi i wprowadzając na pole sporów naukowych zawiści międzynarodowe, tak w tej, jak i w innych kwestjach okazał brak niezbędnej historykowi bezstronności. Uznając przeto w każdym razie pierwszeństwo Boyle'go, dzieła francuskie i niemieckie oznaczają prawo, o którym mówimy, utartą nazwą prawa Mariotte'a.

Doniosłość tego prawa dla nauki o gazach polega na uderzającej jego prostocie, świadczy ono bowiem, że gazy, jakkolwiek są to ciała dla zmysłów naszych najmniej dostępne i napozór najbardziej zagadkowe, w rzeczywistości posiadają budowę najprostszą. Jeżeli przyjmujemy, że materia złożona jest z cząstek, to w stanie lotnym cząstki te muszą być zupełnie swobodne, żadnymi siłami nieskrępowane, gdyż w takim tylko razie mogą tak dokładnie objętość swoją do ciśnień zewnętrznych stosować. Skoro zaś za powiększeniem ciśnienia objętość gazu w tymże samym stosunku maleje, iloczyn przeto obu tych wielkości, o ile temperatura gazu zmianie nie ule-

ga, zawsze pozostanie stateczny, co w formie matematycznej wyraża się wzorem $vp = C$, który prostotę lepiej jeszcze uwydatnia.

Aby więc wewnętrzną budowę powietrza odsłonić, wyjaśnić trzeba, na czym istota prężności jego polega. Newton, przyjmując, że cząstki gazów nawzajem od siebie odbiegają, wykazuje, że siła, z jaką się od siebie usuwają, winna być odwrotnie proporcjonalna od ich odległości. Zastrzega wszakże wyraźnie, że bynajmniej nie twierdzi, by cząstki gazów koniecznie jedne od drugich odbiegać musiały, zaleca tylko fizykom dochodzenie odpowiedzi na to pytanie, on zaś sam chce dać im jedynie do badań tych podniecie. Jakób Bernoulli domyślił się, że prawo Mariotte'a do pewnej tylko granicy słusznem być może, do wniosku tego dochodzi jednak na podstawie przypuszczenia, że cząstki powietrza posiadają pewną wielkość. Skoro więc przy ciągłym ściskaniu gazów dochodzą one do wzajemnego zetknięcia, objętość nie może się już zmniejszać dalej w stosunku ciśnienia.

Stulecie wszakże z górą upłynęło, zanim się polecenie Newtona spełniło, a fizycy zając się zdołali teorią stanu lotnego. Tymczasem zaś na wiek ośmnasty przypadło „odkrycie gazów”: poznano, czego bynajmniej nie przewidywano, że są substancje lotne, od powietrza atmosferycznego zgoła różne.

IV

Aż do połowy wieku ośmnastego nie podejrzewano tedy wcale, że istnieć mogą gazy różne, tak jak

są różne ciała stałe i ciekłe. Alchemicy wprawdzie przy doświadczeniach swych dostrzegali często wywiązywanie substancji lotnych, które nieraz powodowały pękanie ich przyrządów, zaliczali je wszakże do swych spirytusów, czyli produktów przez dystylację otrzymywanych. Nazwę gazów, jak widzieliśmy, wprowadził Van Helmont; wyróżnił je od wapórów czyli par, i rozumiał, że gaz nigdy nie może się w powietrze zamienić. W szczególności znalazł on kwas węglany, który nazywa „gaz silvestre”; wie, że gaz ten znajduje się w powietrzu, w którym ciała płonęły, że powstaje przy fermentacji cieczy alkoholowych, że wywiązuje się przy działaniu octu na kamienie racze, t. j. węglan wapna, że w grocie psiej wyrwa się z ziemi; wspomina też i o innych gazach, jak gaz ventosum, gaz pingue, gaz siccum, gaz filiginosum. W owym wszakże czasie zasadnicze własności powietrza atmosferycznego znane jeszcze nie były, istotnej więc analogji gazów do powietrza ująć nie można było, a osłonięte w osobliwe hipotezy spostrzeżenia Helmonta nie oddziaływały zgoła na rozwój tego działu wiedzy. Również bezowocne były spostrzeżenia Boyle'go, który zresztą chemji nie mniejsze, aniżeli fizyce oddał usługi. Wiedział on, że powietrze przy paleniu ciał ulega przeobrażeniu, poznał, że wywiązuje się gaz nie tylko przez polanie wapna octem, ale także działaniem witryolu rozcieńczonego na żelazo, zatem nasz wodór dzisiejszy; zwyczajem swym wszakże, nie zapuszczając się w ściślejsze zbadanie zjawiska, zadowolił się zaznaczeniem faktu, że powietrze można i sztucznie otrzymywać. Dopiero w wieku ośmnastym obmyślił Hales metody odpowiednie do zbierania i badania gazów, zajmował się nawet

niemi gorliwiej, niż poprzednicy jego, ale utożsamiał je z powietrzem atmosferycznym, od którego różnić się miały jedynie zawartemi w nich wyziewami i waporami obcego pochodzenia. Podobnie i Boerhave, w tejże samej epoce, oświadcza wyraźnie, że przy wszelkich wywiązywaniach i pochłanianiach gazów, jakie zachodzą przy rozpuszczaniu, przy paleniu lub przy innych operacjach chemicznych, natura powietrza pozostaje niezmienną. I później jeszcze nawet, gdy wodór stanowczo już był odkryty, przeczy Baume odrębnemu istnieniu „powietrza palnego”, a własności jego przypisuje substancjom oleistym, rozpuszczonym w powietrzu, które samo przez się jest zawsze „elementem niepalnym”.

„Czy istnieją różne rodzaje powietrza? pyta Lavoisier na wstępie swych prac; jeżeli ciało znajduje się w stanie rozprężliwości trwałej, czyż ma to wystarczać, by stanowiło rodzaj powietrza? Jednym słowem, czy różne powietrza, które nam przyroda przedstawia, lub też które wytwarzać umiemy, są to substancje odrębne, czy też tylko modyfikacje powietrza atmosferycznego?”

Już od dwudziestu wszakże prawie lat posiadała nauka na pytanie to odpowiedź. Józef Black bowiem, któremu w fizyce zawdzięczamy odkrycie ciepła właściwego i ciepła utajonego, dowiódł w roku 1755 w sposób przekonywający, że jest gaz zgola różny od powietrza atmosferycznego, który w stanie lotnym może istnieć zupełnie niezależnie: gazem tym był późniejszy kwas węglany, dwutlenek węgla dzisiejszych chemików, dawny gaz leśny Helmonta, a któremu Black nadał nazwę „powietrza stałego” czyli „powietrza ustalonego”. Black wykazał, jak

łatwo gaz ten niknie, łącząc się z innymi ciałami, jak znów występuje i przechodzi od jednego związku do innego. W szczególności zaś uzasadnił łączność, jaką on przedstawia z kaustycznością alkaliów, udowodniwszy ściślemi ważeniami, że wiążąc się z alkali i ziemiemi alkalicznymi niszczy ich kaustyczność, substancje gryzące zmienia na łagodne. Przez działanie ognia lub kwasów odradza się znów z pierwotnymi swymi własnościami i pozostaje nienaruszony, przechodząc od potażu do magnezji, gdy strącamy sól epsomską (nasz siarczan magnezu) przez alkali stałe (nasz węglan potasu). Doświadczeniami temi Black podał metodę kolejnego wiązania z ciałami stałymi i oswabadzania się ciał gazowych, która posłużyła następnie Lavoisierowi przy badaniach jego nad utlenianiem metali.

Odtąd znajomość różnych gazów szybko się rozwijała. W r. 1767 dowodami również niewątpliwymi uzasadnił Cavendish istnienie innego gazu nowego, „powietrza palnego”, które nazywamy teraz wodorem. I ten gaz, jak widzieliśmy, był już także znany oddawna, ale uważano go za jakąś kombinację pewnej substancji palnej z powietrzem, w którym była jakby rozpuszczona. Przeważnie jednak chwała odkrycia gazów przypada kaznodziei presbiterjańskiemu, Priestleyowi, który w ciągu kilku zaledwie lat, od roku 1771 do 1774, odkrył najważniejsze gazy, obecnie nam znane, a przede wszystkim powietrze zdeflogistowane (tlen), dalej zaś powietrze flogistonowane (azot), powietrze saletrzone (dwutlenek azotu), powietrze wydobyte ze spirytusu solnego (kwas chlorowodorowy), powietrze wydobyte z kwasu witryolowego (kwas siarkawy), powietrze alkaliczne (amoniak). W tym-

że samym czasie odkrył Scheele gaz spatyczny (fluorek krzemu) i gaz murjacyjny zdeflogistonowany (chlor). „Powietrze palne, wydające przez spalenie kwas kredowy” (tlenek węgla) dostrzegł Lavoisier w roku 1777 przy swych badaniach nad pyroforem, a gaz błotny odkrył Volta w roku następnym.

Odkrycia te zmieniły zupełnie poglądy dawne o naturze powietrza; pojęcie pewnej substancji oznaczonej, jedynej, zawsze jednakiej, zastąpiła znajomość pewnego stanu ogólnego, stanu lotnego czyli gazowego, który przybierać może znaczna ilość ciał, jeżeli nie wszystkie.

Uwagze chemików nastroczył się materiał obfity i bogaty, w pierwszej wszakże chwili do mętnych teorii dawniejszej chemii wprowadził tylko zawikłanie większe, jak to się okazuje z nazw dziwacznych, jakie Priestley nadał gazom, których odkrycie sam przypisywał przypadkowi. Podstawą wszelkich ówczesnych poglądów na zjawiska chemiczne była jeszcze hipoteza flogistonu, wprowadzonego przed stu laty przez Beckera i Stahla, jako zasady palnej „*principium inflammabile s. ignescibile*”.—Flogiston służył przede wszystkim do wyjaśnienia objawów palności ciał oraz zamiany metali w wapna metaliczne, czyli w dzisiejsze nasze tlenki. Flogiston ten zawierać się miał w każdym cieple palnem, a przez przybranie tej substancji hypotetycznej miały się wapna metaliczne przeobrażać w metale należyte. W miarę wszakże, jak mnożyła się obfitość faktów i spostrzeżeń, które domagały się wyjaśnienia, pojęcie flogistonu ulegać musiało przeobrażeniu.

Od czasów najdawniejszych rozumiano ogień jedynie jako żywioł niszczący, palenie było zawsze

objawem tylko rozkładu, pewnego ubytku substancji. Zwolna wszakże dostrzeżono, że nieraz po spaleniu wzmagą się ciężar ciał, co przecież wręcz było sprzeczne z hipotezą flogistonu, który właśnie przy paleniu miał z ciał uchodzić. Pogodzenie tych sprzeczności sprawiło chemikom ówczesnym kłopoty nieprzewyciężone. Sądziłi jedni, że przy paleniu zachodzi proces podwójny, flogiston bowiem wprowadzie z ciał uchodzi, ale natomiast łączy się ono z materją ognia, co ciężar jego powiększa. Ale i ten pogląd utrzymać się nie mógł, skoro poznano, że metal rozżarzony waży tyleż, co zimny. Trzeba się było chwycić przypuszczenia, że flogiston nie tylko jest ciałem bezwzględnie lekkim, ale nawet posiada ciężar ujemny, dopóki zatem w cieple się mieści, czyni je lżejszem. Na hipotezę tak już niedorzeczną umysły bardziej naukowe przystać nie mogły, a Guyton de Morveau starał się trudności te w inny usunąć sposób. Przyjął on, że flogiston jest gatunkowo lżejszy od powietrza, skoro więc z metalu uchodzi, pozostaje wapno metaliczne wydaje się pozornie cięższem, choć w istocie rzeczy metal prawidłowy, t. j. związek wapna z flogistonem cięższy jest, aniżeli samo wapno metaliczne. Już wszakże Boyle dostrzegł, że wapna metaliczne mają ciężar właściwy mniejszy, aniżeli metale; gdyby o spostrzeżeniu tem wiedział chemik francuski, nie podałby podobnej teorii.

Tak więc flogiston rozwiewał się coraz silniej; teoria, która służyła chemikom przez całe stulecie, stawała się coraz bardziej niedostateczną, coraz się więcej kruszyła. Chemicy dostrzegali, że przy przeobrażeniach ciał uchodzi lub przybywa jakaś substancja zagadkowa, niepochwytana, ale substancją tą,

której im brakło, to nie był ów flogiston tajemniczy: były to gazy, tlen przedewszystkiem. Odkrycie więc gazów przeinaczyć musiało zupełnie dawną chemję.

Trzeba było tylko do bezładnych dotąd dostrzeżeń i jakby przypadkowych odkryć chemicznych wprowadzić ścisłość dochodzeń i rozumowań, jaką się już dawno badania fizyczne zalecały. Takim reformatorem chemji, a jak chcą inni, jej twórcą, stał się Lavoisier, cały bowiem system chemji nowoczesnej wyniósł z prac swoich, wiążących się w jeden ciąg wnioskowań logicznych.

Stwierdziwszy przedewszystkiem, że metale powiększają swój ciężar przy przeobrażaniu się w wapno, okazuje Lavoisier zarazem, że przyrost ten ciężaru jest następstwem utrwalań się, czyli wiązania pewnej ilości powietrza, a mianowicie jednej składowej jego części, tlenu, gdy pozostałość stanowi gaz odrębny, azot. Tenże sam tlen łączy się przy paleniu z fosforem, siarką, węglem, tworząc kwasy—fosforowy, siarczany, węglany, których ciężary są sumą łączących się wzajemnie substancji. Objaw palenia się ciał nie jest zatem bynajmniej wywiązywaniem się flogistonu, zawartego poprzednio w ciałach palnych; nie jest to rozkład, ale zjawisko wręcz przeciwnie, łączenie się tlenu z innymi ciałami. Żywe palenie wodoru w szczególności jest także objawem wiązania się jego z tlenem, skąd powstaje woda, która zatem także jest ciałem złożonem; samo oddychanie zwierząt jest również paleniem węgla. Ponieważ zaś palenie ciał organicznych wydaje właśnie kwas węglany i wodę, ciała te zatem składają się z węgla, wodoru i tlenu.

W ten sposób rozwija się cały układ nowej

chemji, w którym flogiston okazuje się bezużytecznym, sprzecznym nawet z istotnym przebiegiem zjawisk: miejsce jego zastępują gazy, substancje rzeczywiste, których ilość waga ocenić może. Przy wszelkich przeobrażeniach chemicznych zmienia się tylko postać materji, ilość jej pozostaje niezmienną. Zasada zachowania materji staje się naczelnem prawem chemji, podstawą całego jej rozwoju dalszego.

Widzimy, jak ściśle wiąże się odkrycie tej zasady ze znajomością gazów. Potwierdza to sama nazwa „chemji pneumatycznej”, jaką nowej nauce nadano dla odróżnienia od dawnej chemji flogistycznej.

Jakkolwiek wszakże przewrót ten dokonał się z nieubłaganą logiką jasnych faktów, zdobył on uznanie dopiero wśród pokolenia nowego. A mężowie właśnie, którym „odkrycie gazów” zawdzięczamy, którzy się zatem w tak znacznej mierze do usunięcia flogistonu przyczynili, najgorliwiej w obronie jego walczyli. Scheele i Priestley pozostali mu aż do śmierci niezłomnie wierni, Cavendish tylko, zmarły w r. 1810, rozstał się z nim u schyłku życia.

V.

Odkąd tedy, z końcem XVIII stulecia, uznana została rozmaitość gazów, rozszerzył się też zakres badań nad stanem lotnym i dla fizyków, których poszukiwania dawniejsze do powietrza jedynie odnosić się mogły. W tym właśnie czasie uwagę ich zaprzętała żywo kwestja rozszerzalności ciał pod wpływem

wzrostu temperatury, w tym więc zakresie badań fizycznych gazy występują po raz pierwszy, jako ciała z innymi równouprawnione.

Dostrzeżenie, że zmiana temperatury powoduje zmianę objętości ciał, jest nader dawne, ilościową wszakże oceną tych stosunków zajęto się dopiero w nowszych czasach; pamiętajmy bowiem, że niezbędny do badań tych termometr około roku 1740 zaledwie należyta osiągnął doskonałość. Wcześniej nawet, aniżeli innymi ciałami, zajęto się oznaczaniem rozszerzalności powietrza, która wielkością swą najwięcej uderzała i najłatwiejszą wydawała się do zmierzenia. Doświadczenia te rozpoczął w roku 1703 Amontons, słynny wynalazca i konstruktor przyrządów meteorologicznych; zbudował on mianowicie termometr powietrzny, który miał mu służyć jako instrument normalny do oznaczania podziałki na termometrach florenckich, napełnionych alkoholem. Otrzymana przezeń liczba jest dosyć dokładna, zredukowana bowiem na skalę dzisiejszą podaje, że powietrze ogrzewane od 0° do 100° C rozszerza się o 0,38 części swej objętości przy zerze; fizycy jednak, którzy w ciągu wieku ośmnastego prace te powtarzali, dochodzili do rezultatów różnych, a często bardzo błędnych. Priestleyowi, jeżeli jego jednego tu dla przykładu przytoczymy, rozszerzalność powietrza w powyższych granicach wypadła aż 0,9375, a nadto twierdził, że wszystkie przezeń odkryte gazy co do rozszerzalności swej odstępują znacznie od powietrza.

Po stu latach dopiero takich niepewności i wątpliwości jasny i dokładny pogląd na rozszerzalność gazów sprowadziły prace Gay-Lussaca i Daltona. Gay-Lussac wykazał najpierw, że przyczyną dotych-

czasowych błędów była głównie obecność wody w naczyniach używanych do pomiarów; gdy przy ogrzewaniu woda ta parowała, powiększała objętość zamkniętych gazów w niedającym się uchwycić stosunku. Dlatego baczylł troskliwie, by naczynia jego dokładnie były osuszone, badane zaś gazy wolne od wszelkiej wilgoci; stąd też liczby, jakie z oddzielnych doświadczeń otrzymywał, były między sobą zgodne, a średnia wartość, jaką wyprowadził na rozszerzalność powietrza od 0° do 100° C, 0,3750, od każdego z wypadków oddzielnych różniła się najwyżej o $\frac{1}{1000}$. Podobną liczbę otrzymał i dla innych gazów, a ostateczny rezultat swych badań wypowiedział Gay-Lussac w r. 1801 następnymi słowy: „Doświadczenia, które tu opisałem i które ze wszelką starannością wykonałem, dowodzą widocznie, że powietrze atmosferyczne, tlen, wodór, azot, amoniak, kwas siarkawy i węglany przy jednakim wzroście temperatury jednakowo się rozszerzają; rozszerzalność przeto tych ciał nie zależy od właściwej natury każdego z nich, a jak stąd wnoszę, wszystkie gazy od ciepła rozszerzają się w jednakiej mierze”.

Dalton przedmiotem tym zajmował się nawet jeszcze wcześniej, aniżeli Gay-Lussac, i pierwsze swe rezultaty ogłosił w r. 1801, a z doświadczeń następnych otrzymał liczbę 0,376. Rozszerzalność wszakże gazów rozumiał Dalton nieco inaczej, aniżeli Gay-Lussac i aniżeli zasada ta ostatecznie przyjęta została. Gdy bowiem, według Gay-Lussaca, gazy nie tylko jednakowo ale i jednostajnie objętość swą ze wzrostem temperatury powiększają, Dalton, przypisując wraz z nim jednaką rozszerzalność wszystkim gazom, twierdził wszakże, że rozszerzalność każdego

gazu trwałego wzrasta w postępie geometrycznym, gdy temperatura wzrasta w postępie arytmetycznym. Pomimo to, prawo jednostajnej i jednakowej rozszerzalności wszystkich gazów otrzymało nazwę prawa Daltona i Gay-Lussaca.

W pracy swej nadmienia Gay-Lussac, że jednostajność rozszerzalności ważniejszych gazów dostrzegł już na piętnaście lat przed nim Charles, znany głównie z zastosowania wodoru do napełniania balonów; dlatego niektórzy pisarze prawo powyższe nazwiskiem tego ostatniego fizyka oznaczają, chociaż Charles doświadczeń swych nigdy nie ogłosił. Za przykładem tym jednak nie pójdziemy, przedewszystkiem bowiem nie trzeba na uwagę, że oznaczanie jednego i tegoż samego prawa zbytkiem nazwisk sprowadza nieunikniony zamęt, czego nie wynagradza pogoń za bezwzględą sprawiedliwością, której często niepodobna osiągnąć.

W trzydzieści lat później wzbudziła się wątpliwość co do zupełnej dokładności liczby Gay-Lussaca i Daltona, a z długiego szeregu sumiennych i nader ścisłych doświadczeń Rudberga, Magnusa, a zwłaszcza Regnaulta okazało się, że rzeczywiście należy ją nieco zmniejszyć, do 0,367. Gaz zatem ogrzany o 1° przy zachowaniu niezmiennego ciśnienia powiększa objętość swoją o 0,00367, czyli prawie o $\frac{1}{273}$. Jeżeli, poczynając od temperatury 0° , ogrzejemy go o 273° , podwaja objętość swoją; w temperaturze $546^{\circ} = 2 \cdot 273$ posiada objętość potrójną, w temperaturze $819^{\circ} = 3 \cdot 273$ objętość poczwórną. Jeżeli wszakże gaz ogrzewamy tak, że rozszerzać się swobodnie nie może i pomimo ogrzewania zachowuje objętość niezmienną, to przy 273° rzeczy się mają tak, jakbyśmy go ścisnęli

do połowy przypadającej mu w pierwotnych warunkach objętości, na zasadzie zatem prawa Mariotte'a wzrasta w tym razie prężność jego, staje się dwa razy większa. Gdy w temperaturze 0° gaz pozostawał pod ciśnieniem atmosfery, to w temperaturze 273° , 546° , 819° , posiada prężność dwu, trzech, czterech atmosfer. Przyrost ten prężności gazu wraz z jego temperaturą wypływa z połączenia praw Mariette'a i Gay-Lussaca.

Widzimy zatem z tego, że prężność gazu zależy od dostarczanego mu ciepła, jest wyrazem jego temperatury, wraz z nią wzrasta i wraz z nią słabnie. Nie wchodząc zatem nawet w kwestję natury gazu, nie rozbierając jego wewnętrznej budowy, zgodzić się możemy na to, że w braku zupełnym ciepła, w temperaturze, którą zupełnem już zimnem, bezwzględnie zerem nazwać możemy, prężność także niknie zupełnie i schodzi do zera. Dajmy tedy, że pewna objętość gazu, posiadająca w temperaturze 0° prężność jednej atmosfery, ulega stopniowemu oziębianiu, to przy -1° prężność jej zmniejszy się o $\frac{1}{273}$, przy -2° o $\frac{2}{273}$, a przy -273° o $\frac{273}{273}$, co znaczy, że gaz utraci już prężność swą zupełnie; nie posiada już zgoła dążności do rozprzestrzeniania się, jest bezwzględnie, zupełnie zimny. Poniżej więc temperatury -273° C już ciała dalej oziębiać nie można, jest to bezwzględne zero termometru, a temperatura od tego punktu liczona jest „temperaturą bezwzględną”, niezależącą od dowolnego doboru stałego punktu termometru.

Nie wiążąc z wnioskiem tym żadnych uwag ubocznych, któreby nas z toru zbicić mogły, nadmienimy tylko, że wprowadzenie pojęcia temperatury bezwzględnej dla wielu rozważań w nauce okazało się

bardzo dogodnie, nadając im znaczne uproszczenie. Okazuje się to przedewszystkiem w kwestji, która nas teraz zajmuje. Poczynając bowiem od zera bezwzględnego, czyli posługując się temperaturą bezwzględną, którą oznaczmy przez T , powiedzieć możemy na zasadzie prawa Gay-Lussaca, że objętość gazu v jest do temperatury tej proporcjonalna; ponieważ zaś, według prawa Mariotte'a, jest ona zarazem odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia p , pod jakim gaz zostaje, zależność tę przeto wyrazić możemy bardzo prostym związkiem matematycznym:

$$v = R \frac{T}{p}, \text{ czyli } pv = RT,$$

gdzie R oznacza pewną ilość stałą, której wielkość łatwo oznaczyć możemy. Dajmy bowiem, że w temperaturze 0° termometru zwykłego, a zatem w temperaturze bezwzględnej $T = 273$, pewna masa gazu posiada objętość v_0 pod ciśnieniem p_0 , powyższy wzór daje

$$p_0 v_0 = 273 R, \text{ skąd } R = \frac{p_0 v_0}{273}.$$

Wzór zatem $pv = RT$ jest wyrażeniem matematycznym połączonego prawa Mariotte'a i Gay-Lussaca i stanowi charakterystykę stanu lotnego, ujmuje jego własności w prosty związek algebraiczny.

Zakres tego wzoru wszakże natychmiast ograniczyć nam tu przychodzi. Dalton i Gay-Lussac nadawali prawu swemu znaczenie ogólne, rozciągając je do wszystkich gazów, we wszelkich warunkach.

Późniejsze wszakże doświadczenia wykazały, że gdy przy obniżaniu temperatury gazy zbliżają się już do stanu ciekłego, do swego punktu skroplenia, odstępują w ogólności od powyższych praw zasadniczych; wzór zatem przytoczony, albo, innemi słowy, prawa Mariotte'a i Gay-Lussaca przysługują gazom jedynie w temperaturach dalekich od punktu skroplenia, a i to nawet tylko z pewnem przybliżeniem, większem lub mniejszem. Gaz, któryby się stosował bezwzględnie do zasadniczego wzoru stanu lotnego, byłby „gazem doskonałym”; gazy nasze uważać musimy za „niedoskonałe”, jakkolwiek najważniejsze gazy rzeczywiste, powietrze atmosferyczne, tlen, azot, wodór, w warunkach zwykłych znacznie się zbliżają do warunków doskonałości, wyrażonych zasadniczym wzorem stanu lotnego.

Doniosłość tego wzoru w każdym razie jest widoczna. Skoro bowiem charakter stanu lotnego daje się w sposób tak prosty wyrazić, materia przeto w stanie lotnym przedstawia najprostsze warunki bytu, a jeżeli wewnętrzną jej budowę odsłonić pragniemy, do rozwiązania tej zagadki tylko gazy pierwszy krok stanowić mogą. Stąd obecnie teoria gazów tak zasadnicze znaczenie w fizyce teoretycznej zajęła.

VI.

Zarówno wszakże Daltona jak i Gay-Lussaca zasługi w nauce o gazach nie ograniczają się na odkryciach powyższych.

Dalton mianowicie poznał, że gazy w jakikol-

wiek sposób w zetknięciu zostające mieszają się ze sobą i nawzajem przenikają, nawet w tym razie, gdy ciśnienie obu jest jednakie, albo gdy ciężar jednego gazu mógłby przeciwdziałać przenikaniu drugiego. Znaczy to zatem, że gaz w przestrzeni przez inny gaz zajętej, skoro do niej dostęp znajduje, tak się w niej rozpościera, jak gdyby ten drugi gaz tam się wcale nie znajdował. Obecność gazu jednego o tyle tylko przeszkadza dostępowi innego, że napływ jego zwalnia; ciśnienie zaś tak powstałej mieszaniny gazów, sprowadzone do danej objętości, równa się sumie ciśnień oddzielnych gazów, w przypuszczeniu, że gazy te chemicznie na sobie nie działają. Zasadę tę rozciągnął Dalton następnie i do mieszaniny par z gazami, przytaczając na poparcie tego uogólnienia, że w przestrzeni zajętej przez powietrze ciecze również się silnie ulatniają, jak przy jednakich warunkach w próżni Torricellego, gęstość zaś powietrza na prężność rozwijającej się pary wpływu nie ma żadnego. Teoria Daltona, ze względu na panujące wówczas pojęcia o prężności pary wodnej w atmosferze, napotkała u wielu fizyków nieufność, która ustała dopiero, gdy objawy ciepła lepiej rozumieć zaczęto. Wogóle Dalton, który bardzo skromnymi zaledwie rozporządzał środkami, nie znajdował uznania należącego u współczesnych mu fizyków; ze względu, że doświadczenia jego nie były z dostateczną prowadzone ścisłością, wnioski jego wydawały się zbyt pośpieszne, zbyt śmiałe; następnie dopiero pomysły jego oceniono słuszniej, gdy poznano, że nauce zawsze właściwą torowały drogę, a poparte dokładnymi doświadczeniami wydały plon, którego zaród w sobie mieściły. Prawa mieszanin gazowych uzupełnione zostały póź-

niejszymi badaniami nad dyfuzją gazów, gdy Graham wykazał, że szybkość, z jaką się gazy nawzajem przenikają, od ich gęstości zależy; gaz lżejszy przebiega prędzej, w stosunku mianowicie odwrotnym do pierwiastku kwadratowego ze swej gęstości. Jeżeli więc tlen miesza się z wodorem, to za każdą objętość uchodzącego tlenu napływają cztery objętości wodoru, jest on bowiem 16 razy od tlenu lżejszy. Zasada ta wiąże się wszakże z ogólną kwestją wypływu gazów i jednakie z nią trudności i odstępstwa napotyka.

Co do odkryć Gay-Lussaca, o których tu mówić mamy, są one porządku chemicznego. W dziedzinie właśnie par i gazów fizyka i chemja zawsze się najściślej jednoczyły; Dalton i Gay-Lussac, jak niegdyś Boyle, jak Lavoisier, obu tym naukom zarówno i wiernie służyli. W roku 1805 poznał Gay-Lussac, że gdy tlen łączy się z wodorem, tworząc wodę, wiąże się zawsze jedna objętość pierwszego z tych gazów z dwiema objętościami drugiego, a stosunek ten utrzymuje się przy wszelkiej temperaturze. W dalszym ciągu prac nad tym przedmiotem mógł on już w roku 1808 przedstawić towarzystwu filomatycznemu ważno prawo, że istnieje zawsze stosunek bardzo prosty między objętościami gazów, które się ze sobą łączą, a nadto zachodzące przy tem zmniejszenie objętości również według pewnego prawa ma miejsce. Tak, dwie objętości wodoru łączą się z jedną objętością tlenu, wydając dwie objętości pary wodnej, jedna zaś objętość chloru z jedną objętością wodoru wytwarzają dwie objętości chlorowodoru. Wolumetryczne to prawo Gay-Lussaca jest dla chemji teoretycznej doniosłego bardzo znaczenia, jeżeli je zestawimy z atomistyczną hipotezą Daltona; rzecz

wszakże szczególna, że Dalton, istotny twórca teorii atomistycznej w chemii, odkryć Gay-Lussac'a ze swą teorią nie związał, a nawet słuszności ich zaprzeczał, dlatego też i ogół chemików później się dopiero z nimi zaprzyjaźnił.

Już wszakże w r. 1811 adwokat włoski, a następnie profesor fizyki w Turynie, Avogadro w sposób prawdziwie genialny wyczytał w tem prawie Gay-Lussac'a, że wszystkie gazy, pod jednakim ciśnieniem i w jednakiej temperaturze, w jednakiej objętości jednaką ilość cząsteczek zawierają. Cząsteczki te są to najmniejsze grupy atomów, cząsteczek elementarnych, jak je Avogadro nazywa, które istnieć mogą niezależnie.—Rozprawa Avogadra, ogłoszona w „Journal de Physique”, nie zwróciła na siebie zgoła uwagi fizyków i chemików, a nawet gdy w trzy lata później Ampère, niezależnie od fizyka włoskiego, opierając się na ogólnem zachowaniu gazów, podobną teorię w formie listu do Bertholleta rozwinął, nie zdołał na pogląd ten uwagi ogółu zwrócić. W czasie, gdy teoria atomistyczna dopiero się rozwijała, gdy zaledwie zaczęto się oswajać z pojęciem, że stosunki, w jakich się ciała łączą, odpowiadają stosunkom ciężarów ich najdrobniejszych cząsteczek, podobne wyróżnienie cząsteczek najdrobniejszych fizycznie i najdrobniejszych chemicznie wydawało się chaotycznym, gmatowało raczej nową naukę, aniżeli ją wyjaśniało. Dokładne wyróżnienie cząsteczek od atomów na późniejsze dopiero czasy przypadło.

W prawie Avogadra wybija się wyraźnie, że w stanie lotnym materia do badań naszych jest najdostępniejsza i najłatwiej nam tajniki swe odsłonić

jest gotowa. Skoro bowiem w jednakich objętościach gazów jednaka ilość cząsteczek się mieści, ciężary przeto właściwe gazów wiodą bezpośrednio do oznaczenia stosunku ciężarów ich cząsteczek, do ciężarów molekularnych. Ciężar właściwy wodoru względem powietrza jest 0,0695, ciężar właściwy tlenu 1,1056,—tlen zatem od wodoru jest 16 razy cięższy, a że litr tlenu takąż samą mieści w sobie ilość cząsteczek, co i litr wodoru, cząsteczka przeto tlenu jest też od cząsteczki wodoru 16 razy cięższa; dalsze zaś rozumowania, na tejże zasadzie oparte, wniesć pozwalają, z ilu atomów składają się cząsteczki ciał, które w stan gazowy przeprowadzić umiemy.

Odkrycia, o których w ustępie tym mówiliśmy, dzieliły w ogólności los wspólny, że przez społeczności niedostatecznie rozumiane uznanie późno zaledwie zyskały. Zwolna atoli i stopniowo przygotowywały podstawę do teorii gazów, w której dopiero istotne wyjaśnienie i uzasadnienie znalazły.

VII.

Nie samo wszakże tylko badanie gazów do ich teorii doprowadzić mogło; wymagała ona innego jeszcze przygotowania, a mianowicie przobrażenia panujących w pierwszych dziesiątkach lat ubiegłego stulecia pojęć o cieple. Stan bowiem skupienia ciał zawisły jest od doprowadzanego im ciepła, wyobrażenia zatem, jakie o czynniku tym mamy, wiążą się bezpośrednio z zagadką budowy materji.

Hypoteza, że ciepło jest pewnego rodzaju sub-

stancją, że jest odrębną jakąś materją, rozwinęła się, a przynajmniej utrzymała w końcu XVIII wieku, gdy poznano objawy ciepła właściwego i ciepła utajonego, oraz nauczono się tak szczęśliwie ilościowo je oceniać. W społecznym rozwoju chemji pogląd ten znalazł silne poparcie, przez analogję bowiem do zjawisk, które powszechną ściągają uwagę, zaczęto przypuszczać, że ciepło, jak każda inna substancja, może się z ciałami łączyć chemicznie, lub przez rozkład od nich się uwalnia. Substancja ta, której wprawdzie ująć nie można było, ale która pomimo to ilościowo ocenić się dawała, otrzymała nazwę ciepłika, *caloricum*. Opowiada to Lavoisier w swoim traktacie elementarnym chemji (1789): „Gdy de Morveau, Berthollet i de Fourcroy wraz ze mną zajęli się poprawieniem języka chemicznego, oznaczyliśmy przyczynę ciepła, ów płyn tak nadzwyczaj sprężysty, który je wytwarza, nazwą ciepłika”. W pogoni za dowodami materjalności ciepłika starano się nawet oznaczyć jego ciężar, a Marat, który, zanim go wielka rewolucja odwołała z pracowni naukowej i od zajęć lekarskich, gorliwie się badaniami fizycznymi zajmował, wywnioskował ze swych doświadczeń, jak przed nim zresztą Boyle i Buffon, że ciała rozgrzane cięższe są aniżeli zimne. Rumford wprawdzie, pomimo najstaranniejszych ważeń, nie zdołał dostrzedz żadnego przyrostu ani ubytku ciężaru ciał przez ogrzewanie, nie zachwiało to wszakże pojęć o materjalności ciepłika; zgodzono się tylko, że nie ma on żadnego ciężaru, że jest płynem nieważkiem. Ciepłik więc podzielił los innych ówczesnych płynów hypotetycznych, światła, elektryczności, magnetyzmu; wyłączony z zakresu materji zwykłej przeszedł do imponde-

rabiliów, do płynów nieważkich. Istnienie tych imponderabiliów wydawało się fizykom, z nielicznymi wyjątkami, tak niewątpliwem, jak istnienie zwykłej, ważkiej materji, a u nas Radwański nie wahał się nawet całej fizyki „nieważnictwem” nazwać.

Pojęcie takie o cieple wiązało się łatwo z kwestją budowy materji, a w szczególności z trojakim stanem jej skupienia. „Gdyby siły te (t. j. siły przyciągające), mówi Biot w sławnym swym podręczniku fizyki, same tylko istniały, cząstki ciał zbliżyłyby się ku sobie aż do zetknięcia. Okazuje się więc stąd ogólna przyczyna wewnętrznego odpychania, która równoważy bezustannie wszelkie siły przyciągające; przyczyna ta we wszystkich istniejących ciałach, jak się zdaje, polega na istocie ciepła”. W ten więc sposób pojmowano i prężność ciał gazowych, stanowiącą najistotniejszą ich własność; każda cząstka materjalna, według Laplace'a, utrzymuje pewną ilość ciepłika, a wzajemne odpychanie tych zawartości ciepłikowych powoduje odpychanie się cząstek materjalnych, za czem idzie prężność gazów.

Teoretyczne te zresztą kwestje dla fizyków ówczesnych mało przedstawiały powabu. W początku wprawdzie XIX w. stara zagadka materji i jej sił żywo zaprzętała umysły; gdy Jacobi w roku 1801 podczas ogólnej audjencji przedstawiony został Napoleonowi, rzucił mu ten pytanie: „Qu'est ce que la matière” i nie czekając odpowiedzi, odwrócił się od zdumionego i ogłuszonego filozofa. Pod wpływem wszakże szybko mnożących się odkryć doświadczalnych fizycy wypuścili z uwagi zagadnienia filozoficzne; zaczęli je nawet przyjmować z lekceważeniem i pogardą, gdy

ówczesna filozofja natury, rozwiawszy się w rojenia jałowe, w zupełną niemoc popadła.

Stopniowo jednak i panująca hipoteza płynów nieważkich napotkała trudności. Z jednej strony rozwój teorii undulacyjnej światła, która cały obszar zjawisk tłumaczyła nie na podstawie pewnych zasadniczych własności materji, ale jako objawy ruchu, z drugiej zaś widoczna łączność elektryczności z objawami chemicznymi, świetlnymi i magnetycznymi, coraz groźniejsze wybić w niej zaczęły wyłomy. Gromadzący się zasób tych odkryć wytworzył więc nową zasadę „przeobrażeń siły”, a gdy się okazało, że siły przyrody mogą w najrozmaitszych warunkach przechodzić jedne w drugie, płyny nieważkie ustąpić wreszcie musiały.

Fizykom przedstawiło się teraz zadanie nowe. Jeżeli rzeczywiście siły przyrody takiej przemienności ulegać mogą, należało z matematyczną ścisłością uzasadnić, że przy wszelkich tych przeobrażeniach ilość siły pozostaje niezmienną, że nigdy przy tych procesach żadna jej część nie ginie, ani się też nie wytwarza. Idea zatem zmienności siły bezpośrednio doprowadzić musiała do prawa zachowania siły, którą uznano wreszcie jako naczelną zasadę wszelkich teorii fizycznych. Zarazem wszakże samo pojęcie siły i jej stosunku do materji stać się musiało jaśniejszem. Jeżeli przez siłę rozumiemy zasadniczą, elementarną własność materji, to własność ta jest ilościowo nieograniczona i żadnej zmianie co do swej wielkości ulegać nie może; siła żywa natomiast ciał pozostających w ruchu jest wielkością oznaczoną i skończoną, która się powiększać lub zużywać może. Prawo przeto zachowania siły nie wiąże się bezpo-

średnio z zasadniczymi własnościami materji, ale tyczy się tylko działań ograniczonych, jakie owe własności powodować mogą, zależnie od rozkładu materji w przestrzeni. Dlatego też w tem ostatniem znaczeniu zaczęto się posługiwać nazwą energii, a zamiast o zachowaniu siły mówimy dziś ściślej o zachowaniu energii. Pod przewodnictwem tej zasady łączą się we wspólną całość odrębne działy dawnej fizyki, ustala się pojęcie o jednolitości materji i jedności siły. W tym zaś ustępie dziejów nauki znowu gazom wybitną przypadła rola. Prawo bowiem zachowania energii wypłynęło bezpośrednio z równoważności pracy mechanicznej i ciepła, a sposobność do ujęcia i obliczenia tej równoważności nastąpiło najpierw zachowanie się gazów.

W końcu już XVIII wieku wiedzano, że przy nagłem rozrzedzeniu powietrza zgęszczonego doznaje ono oziębienia, ogrzewa się zaś przy silnem ścisłaniu, czego najoczywistszy dowód dawało krzesiwko pneumatyczne, wynalezione podobno w r. 1803 przez robotnika fabryki broni w Etienne en Forez. Ścisłe badania nad ogrzewaniem gazów wykazały wyraźniej tę zależność między zmianą ich objętości a zużyciem ciepła. Gdy bowiem gaz ogrzewamy w warunkach takich, że może swobodnie się rozszerzać, wymaga on znaczniejszego nakładu ciepła, aniżeli w przypadku, gdy jest zamknięty w naczyniu tak, że zachować musi objętość niezmienną. Różnicę tę rozumiano w ten sposób, że w drugim razie dostarczane ciepło służy tylko do podwyższenia jego temperatury, gdy w przypadku pierwszym zużywa się i na jego rozszerzalność. Gay-Lussac okazał nadto doświadczalnie, że gdy gaz przepływa z jednego balonu do innego,

równej wielkości i zupełnie pustego, to w naczyniu pierwszym o tyleż właśnie stopni się oziębia, o ile się w drugim ogrzewa, a to tem bardziej potwierdzało, że zachodzące tu objawy cieplikowe tylko od zmiany objętości gazu zależą, a nie od jakichkolwiek wewnętrznych w nim przeobrażeń.

Przyczyna wszakże tych zjawisk pozostawała utajoną, gdyż panujące pojęcia o cieple przysłaniały okoliczności, na które uwagę zwrócić należało. Przy ścisłaniu bowiem gazu wykonywamy pracę, przy rozpościeraniu się gaz pracę zużywać musi na pokonanie oporu zewnętrznego. Wybijała się tu już zatem łączność między pracą mechaniczną a ciepłem, możliwość wzajemnego ich przeobrażania, nastroczały się nawet dane do ujęcia stosunku liczebnego tych przeobrażeń. Dopóki wszakże ciepło uważane było za płyn nieważki, za substancję odrębną, która była źródłem sił sobie tylko właściwych, zrozumienie tej zależności było niemożliwe, wypłynąć mogło jedynie z jaśniejszego pojęcia siły, jako energii, jako zdolności do wykonywania pracy. Pojęcie takie rozwinął dopiero Juljusz Robert Mayer, rozważając „siły przyrody nieożywionej” (1842) oraz „ruchy organiczne” (1845), a na podstawie tych uwag ogólnych ustalił zasadę równoważności pracy mechanicznej i ciepła.

Nazywając ciężkość siłą, mówi Mayer, rozumiemy przez nią przyczynę, która, nie ulegając bynajmniej zmniejszeniu, wywołuje działania, a stąd żyjemy błędne wyobrażenia o przyczynowym związku rzeczy. Aby ciało spaść mogło, do tego potrzebne jest poprzednie jego podniesienie niemniej, aniżeli jego ciężkość, nie można przeto tej ostatniej wyłączać.

nie spadku ciała przypisywać. W podobnem znaczeniu jest i ciepło siłą, daje się bowiem przeobrażać w działania mechaniczne, a ilość ciepła, jaką wyłożyć należy dla osiągnięcia danego efektu mechanicznego, oznaczyć można doświadczeniem; gotową zaś do tego drogę nastroczają nam objawy przy ogrzewaniu gazów dostrzeżone. Jeżeli bowiem, jak zwykle, za jednostkę ciepła, czyli za ciepłostkę, przyjmujemy ilość ciepła, potrzebną do ogrzania jednego kilograma wody o 1°C , to, według Regnaulta, do takiegoż samego ogrzania kilograma powietrza potrzeba 0,2375 ciepłostki. Aby zatem o 1° ogrzać metr sześcienny powietrza, którego ciężar wynosi 1,293 kilograma, wyłożyć trzeba $1,293 \times 0,2375 = 0,3070$ ciepłostki. Dzieje się tak w razie, gdy powietrze zachowuje prężność stałą, czyli, gdy ze wzrostem temperatury swobodnie się rozszerza; jeżeli zaś zatrzymuje objętość niezmienną, to, jak wiadomo z licznych oznaczeń, wymaga 1,41 raza mniejszego nakładu ciepła; nasz zatem metr sześcienny powietrza ogrzeje się o 1°C kosztem tylko $0,3070 : 1,41 = 0,2177$ ciepłostki. Różnica zaś w obu tych razach, $0,3070 - 0,2177 = 0,0893$ ciepłostki, pochodzi stąd, że w przypadku pierwszym wykonaną ma być praca na przewyciężenie oporu zewnętrznego, którą również łatwo obliczyć możemy; opór ten bowiem stanowi ciśnienie atmosferyczne, wynoszące 10 344 kg. na pole jednego metra sześciennego, a przy ogrzaniu o 1° gaz rozszerza się o $\frac{1}{273}$ swej objętości. W rozważanym tu przeto przypadku praca ta wynosi $10\,344 \times \frac{1}{273}$ czyli 37,85 kilogrammetrów. Na wykonanie tej pracy zużyło się 0,0893 ciepłostki, jedna zatem ciepłostka wytworzyć może $37,85 : 0,0893$, czyli 424 kilogrammetry.

Mayer z rachunku swego otrzymał wprawdzie liczbę nieco mniejszą, opierać się bowiem musiał na danych dawniejszych, niedosyć dokładnych, co wszakże nie uwłacza bynajmniej doniosłości jego wywodów, któremi pierwszy uzasadnił równoważność pracy mechanicznej i ciepła. Cały ten rachunek polega oczywiście na przypuszczeniu, że wszystek nadmiar ciepła przy pierwszym sposobie ogrzewania gazów zużyty został tylko na wykonanie pracy zewnętrznej, że zatem samo powiększenie objętości gazu zgoda ciepła nie zużywa, nie powoduje żadnej pracy wewnętrznej. Wywołało to w kilka lat później, w roku 1848, zarzut ze strony Joule'a, że Mayer zgoda do przypuszczenia tego upoważniony nie był, potwierdziły je bowiem dopiero jego własne, t. j. Joule'a doświadczenia. Spór ten zresztą zakończył się rychło, gdy Mayer wykazał, że dawniejsze już doświadczenia i znane własności gazów usprawiedliwiały dostatecznie jego metodę. Znacznie później dopiero rozogniła się walka w kwestji pierwszeństwa Mayera i Joule'a, gdy Tait zasługi pierwszego obniżyć chciał aż do nicości, a Dühring w pamflecie „Robert Mayer, Galileusz dziewiętnastego stulecia” nie wahał się Joule'a nazwać naśladowcą, który tylko z pomysłów Mayera skorzystał. Historia wszakże bezstronna, umiająca się wznieść ponad zawiści stronnice i narodowe, składa hołd wdzięczności obu tym mężom, którzy różnemi drogami cel jednaki osiągnęli, kładąc podstawy nauki o zachowaniu energii. Nam należało tu tylko wyrazić, że gdy szło o uzasadnienie tego naczelnego prawa dzisiejszej fizyki, gazy przedstawiały już materiał gotowy, po który tylko genialną myślą sięgnąć należało. I Joule zresztą wśród wielu swych metod do-

świadczalnych, któremi równoważnik mechaniczny ciepła oznaczył, odwoływał się także i do gazów, a ogrzewanie się ich przy zgęszczaniu oraz oziębianie przy rozrzedzaniu dały mu (1845 r.) dowód najpewniejszy, że ciepło nie może być substancją, ale należy je uważać za objaw ruchu cząstek, z których się ciało składa.

VIII.

Z takim wszakże pojmowaniem istoty ciepła wiąże się bezpośrednio i wyobrażenie o budowie materji; skoro bowiem ciepło jest objawem ruchu najdrobniejszych cząstek, należy przeto w ogólności ciała ważkie uważać jako układy cząsteczek, w bezustannym pozostające ruchu. Zasada zachowania energii znowu więc wysuwała na widownię dawną zagadkę budowy materji, ale teraz dopiero dozwalała oprzeć ją na pewnym gruncie ścisłych badań, — mechaniczna teoria ciepła dawała początek mechanice cząsteczek. W nowym zaś tym obszarze wiedzy znowu do gazów przedewszystkiem zwrócić się należało.

W ciałach bowiem różnego stanu skupienia, w ciałach stałych, ciekłych i lotnych, ruch ten cząsteczkowy w rozmaity dokonywać się musi sposób; ze wzrostem wszakże temperatury podsyca się coraz silniej, staje się coraz żywszym, zachodzić przeto musi kres, gdy cząsteczki pod wpływem tych ruchów wyrwywają się już zupełnie z obrębu wzajemnych na siebie oddziaływań, gdy siły międzycząsteczkowe wpływ swój tracą. Różne zaś właściwości gazów,

któreśmy wyżej rozbiegali, prowadzą do wniosku, że stan taki w gazach już zachodzi; cząsteczki ich nie mogą już pozostawać w ruchu drgającym pod wpływem cząsteczek sąsiednich, ale—swobodne od wszelkich przyciągań i odpychań — posuwają się w przestrzeni po drogach prostoliniowych, dopóki przynajmniej przez uderzenie o cząstki inne z kierunku tego wytracone nie zostaną. W gazach więc ruchy cząsteczkowe wolne są od zawilości nieuniknionych w innych stanach skupienia, a stąd nauka, posuwając się zawsze od rzeczy prostszych do bardziej zawitych, od gazów budowę cynetycznej teorii materji rozpocząć musiała.

Istotną cechą gazów jest ich prężność, a zatem ciśnienie, jakie wywierają na otaczające je przegrody. Według więc pojęć dawniejszych była prężność następstwem wzajemnego odpychania się cząstek, była dążnością do rozpościerania się po przestrzeni jak najrozleglejszej; w teorii nowej gazów pojmujemy ciśnienie to jako wynik ruchu cząsteczek, które w prostoliniowym swym biegu bezustannie uderzają o ograniczające je ściany.

Niegdyś już Daniel Bernoulli w swej „hydrodynamicie” (1738 roku) starał się w ten sposób wyjaśnić własności gazów ruchami ich cząstek; pojmujemy wszakże, że pogląd taki rozwinąć się mógł dopiero wespół z nową teorią ciepła. Rzeczywiście też pierwsze zasady teorii mechanicznej czyli raczej cynetycznej gazów wysnuł ze swych badań doświadczalnych Joule, a w kilka lat później, w r. 1856, opracował je dokładnie Krönig, nauczyciel gimnazjalny w Berlinie, powszechnie zaś uznanie zdobyła nowa ta teoria gazów, gdy poglądy Kröniga przyjął i rozwinął Clausius

w słynnej swej pracy „O rodzaju ruchu, który ciępiem nazywamy”.

Teorja naukowa nie może poprzestać na ogólnikowym twierdzeniu, że prężność gazów jest następstwem uderzeń cząsteczek; wtedy dopiero za uzasadnioną uznać ją możemy, gdy ze wszystkich szczegółów poznanych ścisłą nam zdać sprawę potrafi. Prężność zaś gazów, jak wiemy, od ich objętości i temperatury zawisała, ulega prawom Mariotte’a i Gay-Lussac’a, te dwie zatem okoliczności teorii gazów przede wszystkim wyjaśnić należało,—i rzeczywiście poradziła sobie z tem łatwo. Nie potrzebowała bynajmniej odwoływać się do szczególnych wybiegów, wyjaśnienia żądane wypływały bezpośrednio i bez naciągania z zasadniczych jej podstaw.

Wyobraźmy sobie w przestrzeni ograniczonej zamkniętą pewną ilość gazu, którego cząstki, zozbiegając się na wszystkie strony, bombardują bezustannie ściany i wywierają stąd na nie ucisk, ciśnienie pewnej, oznaczonej wielkości. Dajmy teraz, że ściany te zbliżą się ku sobie nawzajem tak, że gaz znajdzie się w obszarze szczuplejszym; w przestrzeni zmniejszonej cząstki częściej uderzać będą o przegrody, a skutkiem uderzeń obfitszych wywierane przez nie ciśnienie ulegnie również wzmożeniu, i to w stosunku takim, w jakim zmniejszenie objętości nastąpiło, a zasada ta właśnie prawo Mariotte’a stanowi.

Jeżeli znów, pozostawiając objętość gazu niezmienną, poddamy go ogrzewaniu, to ze wzrostem temperatury podsyca się ruch jego cząstek, staje się żywszym,—cząstki częściej potracają o ściany, uderzenia są obfitsze. Proporcjonalnie więc do wzrostu temperatury wzmagają się prężność gazu, a tym sposobem

teoretyczne wyjaśnienie zyskuje prawo Gay-Lussac'a.—Jeżeli dalej dwa gazy, w jednakiej temperaturze i jednaką zajmujące objętość, jednakie wywierać mają ciśnienie, trzeba, aby i jednaką posiadały ilość cząstek, które uderzeniami swemi ciśnienie to powodują, a to znów stanowi prawo Avogadra, trzecią zasadniczą własność gazów.

Ogólnikowe to rozumowanie staje się ściśłem, gdy jest wyrażone w mowie matematycznej, która dowodzi też, że wszystkie te wnioski zachowują moc swoją, jakiegokolwiek postaci są zbiorniki, mieszczące w sobie gazy, i w jakimkolwiek kierunku cząsteczki przebiegają. Jeżeli więc zgodzimy się na takie pojmowanie istoty gazów, to jeszcze nasuwa się pytanie, czy można ocenić szybkość, jaką ożywione są cząsteczki w tym dla nas niedostrzegalnym ruchu, który ma być źródłem wszelkich własności gazów,—a i na to pytanie teoria daje odpowiedź przy pomocy prostych nawet zasad mechaniki elementarnej. W samej rzeczy, skoro znamy prężność gazu, który przy danej temperaturze i objętości oznaczoną gęstość posiada, to dane te wystarczają do obliczenia, z jaką szybkością biedz muszą cząsteczki, by uderzenia ich sprawiały żądaną działalność, to jest znaną nam prężność. Rachunek taki uczy, że gdy mamy do czynienia z tlenem, to cząstki jego w temperaturze topliwości lodu przebiegają z szybkością 461 metrów na sekundę; jest to chyżość bardzo wielka, przewyższa bowiem prędkość, z jaką się głos rozchodzi, a dorównywa prędkości pocisku wyrzuconego z działa. Wzrasta ona wszakże jeszcze, gdy gaz jest lżejszy; aby bowiem cząstki mniejszą posiadające masę takież sam efekt sprawiać mogły, obdarzone być muszą ruchem żywszym. Dla

wodoru, który ze wszystkich jest najlżejszy gazów, otrzymujemy szybkość czterokrotnie znaczniejszą, dochodzącą zatem 1844 metrów, dwu kilometrów niemal na sekundę. A gdy gaz się rozgrzewa, gdy temperatura jego wzrasta, wzmagą się i szybkość biegu jego cząstek.

Nie możemy wszakże wyobrażać sobie, by w całej masie gazu tak zupełna panowała jednolitość, by wszystkie jego cząstki z zupełnie jednaką i niezłomną poruszać się miały szybkością. W naturze zachodzi niewątpliwie pod tym względem różnaitość, chociażby bowiem w pewnej chwili istniała zupełna w ruchach cząstek jednostajność, to choćby tylko dla wzajemnych potarć się cząsteczek równowaga taka rychło musiałaby się zerwać, przyczem cząstki jedne na szybkości zyskują, inne znów tracą. Stąd to, nawet w tym razie, gdy w masie danego gazu jednaka wszędzie panuje temperatura, różne cząstki biedz mogą z prędkością różną, przytoczona zaś wyżej szybkość jest to tylko szybkość średnia, przeciętna, a Maxwell, genialny fizyk angielski, który z powodzeniem prowadził dalej pracę przez Clausiusa nad teorią gazów podjętą, rozebrał dokładnie rozkład prędkości cząsteczkowej w gazach i wykazał, jaka śród wszystkich tych prędkości jest najprawdopodobniejsza i najczęściej zachodzi.

IX.

Tak uzasadniona teoria gazów sprowadzała niewątpliwie przewrót w dotychczasowych pojęciach fizycznych; gdy bowiem poprzednio wszelkie objawy

materji tłómaczyła fizyka działaniem przyciągających i odpychających sił międzycząsteczkowych, nowa teoria usuwała konieczność sił takich, wyjaśniając własności gazów ruchami materji, istniejącymi wiecznie i bezustannie. Pomimo to przyjęta została bez oporu istotnego, wspierała się bowiem na uznanej już teorii mechanicznej ciepła, zwycięstwo zaś stanowcze zapewniła sobie licznymi tryumfami, które dozwoliły jej coraz głębiej wdzierać się w tajniki niedostępnego dla zmysłów naszych świata cząsteczek i atomów.

Mówiliśmy dotąd, że cząsteczki gazów ulegają ruchom jedynie postępowym, prostolinijnym; rzeczywiście wszakże gazy w przyrodzie istniejące okazywać mogą większą zawilgość swych ruchów cząsteczkowych, do tego stanu idealnego zbliżają się tylko mniej lub więcej. Dawniej już, jak widzieliśmy, zachodziła potrzeba wyróżniania gazów doskonałych i niedoskonałych; według Clausiusa tedy odstępstwa od doskonałego stanu lotnego pochodzić mogą stąd, że cząstki obok swego ruchu postępowego posiadają i ruchy drgające, lub też, że i wewnątrz cząsteczek zachodzą jeszcze ruchy dalsze, drugorzędne. Domyśl ten prowadzi więc bezpośrednio do wniosku, że cząsteczki, które fizyka jedynie za punkty materialne uważała, przedstawiać mogą budowę zawilgłą, obejmować mogą dalsze jeszcze części składowe, jakby atomy drugorzędne i dalsze, które ze swej strony w obrębie cząsteczek właściwe sobie ruchy odbywają. Na tym punkcie schodzi się niejako fizyka z chemją, która poprzednio jeszcze dla innych względów atomy nawet tak zwanych pierwiastków za bryłki złożone uważać zaczęła.

Inna znów wątpliwość nastroczała się teorii ga-

zów ze względu na olbrzymią szybkość, z jaką przebiegać mają cząsteczki w prostolinijnym swym ruchu. Widzieliśmy bowiem, że szybkość ta wynosi całe setki metrów na sekundę, niewielką zatem przestrzeń zwykłej izby, dajmy, cząsteczka powietrza lub innego ciała lotnego przebiedzie może w ciągu sekundy kilkadziesiąt razy, z pewnemi zaś objawami ruchu tak gwałtowny niezgodnym się wydaje. Gdy bowiem dwa gazy pozostają ze sobą w zetknięciu, mieszają się ze sobą, przenikają się nawzajem, ulegają, jak mówimy, dyfuzji, a mieszanie się takie gazów pojmujemy oczywiście dobrze, jako następstwo bezpośrednie prostolinijnego ruchu ich cząstek. Dla niesłychanej wszakże prędkości tego biegu dyfuzja taka winnaby następować natychmiast, w czasie niewypowiedzianie krótkim; spostrzeżenia natomiast uczą, że zachodzi ona zwolna tylko, a zupełne przeniknięcie się dwu gazów wymaga czasu stosunkowo długiego. Sprzeczność ta zatem między powolnością dyfuzji a nagłością ruchów cząsteczkowych domagała się wyjaśnienia, na które też niedługo czekać przyszło. Cząstki biegną wprawdzie z szybkością bardzo wielką, ale pomimo to nader słabe jest prawdopodobieństwo, by którakolwiek z nich drogę nieco znacniejszą przebyła; zbyt gęsto bowiem są rozmieszczone, przeszkadzają sobie, potracają się nawzajem, zbijają się z toru, a stąd każdej z nich otwiera się drobnutka zaledwie droga swobodna. Wobec tych przeszkód nieprzeliczonych, przy takim mnóstwie trudności, dziwić się już nie bądziemy, że pomimo takiej chyżości biegu cząsteczek dyfuzja gazów dokonywa się opieszale, że gazy słabo przeprowadzają ciepło, że w ogół-

nosci wszelki ruch cząsteczkowy stosunkowo powolnie się tylko w nich rozchodzi.

Są i inne jeszcze okoliczności, które również na zagmatwanie tych ruchów wpływają. Gdy dwa prądy gazowe przebiegają w sąsiedztwie z prędkościami różną, mogą się łatwo cząsteczki prądu jednego przedzierać do drugiego, skąd szybkość jednych i drugich ulega zmianie, jedne się przyspieszają, inne opóźniają, a cały ten proces nazywamy tarcie wewnętrznem gazów. Tarcie więc to zależy od względnej szybkości cząstek, ale zależy też od natury gazu i od długości określonej wyżej drogi swobodnej; stąd więc na podstawie wzorów matematycznych, wyprowadzonych przez Maxwella, skoro wielkość tarcia wewnętrznego w różnych gazach oznaczono doświadczalnie, można było obliczyć przeciętną długość tej drogi swobodnej, a w dalszym ciągu nawet dojść, jak często spotykać się mogą w biegu swym cząstki, na ile uderzeń narażona jest cząstka każda w ciągu sekundy. Z rachunków takich wypada, że te przeciętne drogi swobodne są rzeczywiście niewypowiedzianie drobne, nie przechodzą bowiem tysięcznych nawet części milimetra, a odpowiednio takim drobiazgom wzajemne spotkania są niesłychanie częste, każda cząstka w ciągu sekundy po kilka bilionów razy o swe sąsiadki potraça.

Po przeprowadzeniu rachunków tak śmiałych pozostawało już teorii cynetycznej gazów podać jeszcze tylko ocenę wielkości samych cząsteczek i ich odległości wzajemnych. I do rozwiązania tego zadania, które się niezbyt dawno zgoła niemożliwym wydawało, nastroczyły się metody, a na ich podstawie twierdzić można, że w obszarze jednego centymetra

sześciennego mieści się cząsteczek $21 \cdot 10^{18}$, to jest liczba 21 z długim ciągiem 18 zer, gdy wzajemna odległość dwu oddzielnych cząsteczek wynosi od trzech do czterech milionowych części milimetra. Jakkolwiek więc odległości te niesłychanie są drobne, są one olbrzymie w porównaniu z wymiarami samychże cząsteczek, na zasadzie zaś prawa Avogadra liczby te wszystkim służą gazom.

Przytoczone tu wymiary cząsteczek zbyt są nikłe, byśmy je bezpośrednio ująć mogli; aby więc ocenę ich udostępnić, użyto porównania. Wyobraźmy sobie, że kropla wody, z cząsteczek takich złożona, rozrasta się do obszaru całej bryły ziemskiej,—wtedy same te cząsteczki przybrałyby wielkość, dajmy, jabłek.

Jakkolwiek rezultaty takie obliczeń budzić w nas mogą nieufność, są one następstwem dokładnych i głębokich rozważań, które wszakże trudno odsłonić z ich formy matematycznej i na język potoczny przełożyć. Poprzestać więc musimy, na tym pobieżnym szkicu dzisiejszego okresu nauki o gazach, która zresztą przechodzi dopiero początkowe stopnie swojego rozwoju, coraz nowe bowiem odsłaniają się w dziedzinie tej widnokreśli i nowe nastroczą badania. Z pomiędzy fizyków, którzy pracę podjętą przez Kröniga, Clausiusa i Maxwella dalej prowadzą, znani są zwłaszcza W. Thomson, Loschmidt, O. E. Meyer, Boltzmann, van der Waals,—w szeregu zaś tych prac napotyka my i badania fizyków polskich, Zygmunta Wróblewskiego, którego śmierć przedwczesna dotkliwą była dla nauki stratą, Augusta Witkowskiego, Władysława Natansona, a w dziele ostatniego z wymienionych

autorów: „Wstęp do fizyki teoretycznej” czytelnik z trudnościami języka matematycznego oswojony znajdzie dokładny wykład teorii gazów.

X.

Na ostatnie też czasy przypada jeden jeszcze wypadek doniosłego znaczenia w historii gazów, a mianowicie ostatecznie ich pokonanie, sprowadzenie ich do stanu ciekłego, czyli ich skroplenie.

Ta jednak walka z lotnością gazów, poskromienie najoporniejszych między nimi, wiąże się bezpośrednio z udoskonaleniem metod wywoływania znacznego zimna; pozostawiamy przeto rzecz tę do jednego ze szkiców dalszych: „Na kresach ciepła i zimna”, i teraz poruszać jej nie będziemy.

Szkic nasz historyczny nie może być zresztą pełnym obrazem rozwoju nauki o gazach, nie daje się ona bowiem wyodrębnić z ogółu badań fizycznych i chemicznych, pozwala nam wszakże ocenić znaczenie, jakie gazy dla nauki społecznej przedstawiają.

Stan lotny materji najdostępniejszy jest do badań, zarówno fizycznych jak i matematycznych, a zalety te nastroczają się w każdej dziedzinie nauki. Widzieliśmy już wyżej, jakie ułatwienia znajduje chemik przy oznaczaniu ciężarów atomowych i cząsteczkowych ciał, gdy je w stan lotny przeprowadzić może. Tak samo też prawa pochłaniania światła w jasny i pewny sposób wykazane zostały głównie dla stanu lotnego materji, a analiza spektralna odsłania

nam skład ciał niebieskich w tym razie tylko, gdy są to bryły gazowe lub gazową otoczone atmosferą.

Jeżeli zaś o filozofję materji idzie, doniosłość teorii gazów nie ogranicza się do tej tylko kategorii ciał, do lotnego stanu wyłącznie. Powodzenie bowiem, jakie teoria ta osiągnęła, budzi nadzieję, że metoda jej rozważań da się odnieść i do innych, bardziej zawiłych stanów materji. Widzieliśmy wyżej, że zasadnicze własności gazów, wyrażone w prawach Mariotte'a i Gay-Lussac'a, dają się wyrazić prostym bardzo związkiem matematycznym; według tego wyprowadził w ostatnich czasach van der Waals wzór nieco ogólniejszy, który służy już nietylko dla gazów, ale wyraża zarazem własności cieczy, jakoteż tego stanu pośredniego między cieciami a gazami, który występuje, gdy gaz poddany jest ciśnieniu powyżej swej temperatury krytycznej.

„Nowa, a dobrze już znana teoria cynetyczna gazów, — wyrzekł William Thomson, otwierając posiedzenia sekcji matematycznej na zjeździe Stowarzyszenia brytańskiego w Montreal 1884 roku, — jest krokiem tak ważnym do wyjaśnienia przez ruch statycznych na pozór własności materji, że niepodobna powstrzymać się od myśli zdobycia kiedyś pełnej teorii materji, teorii, w której wszystkie jej własności rozpatrywane będą jako objawy ruchu wyłącznie”.

Gazy więc, choć tak długo przed okiem badaczy się kryły i tak późno w nauce miejsce zajęły, obecnie tajniki swe najłatwiej nam odsłaniają.

Przed sklepem mechanika.

Uwagi luźne o znaczeniu przyrządów w nauce.

Przed składem rycin, przed „Włochem”, jak dawniej mówiono, błysnęły mi dwa stare obrazki litografowane, z lat dziecińczych dobrze mi pamiętne, przedstawiające śmierć sprawiedliwego i śmierć grzesznika. Naiwne te malowidła w sposób poglądowy dobitnie ujawniają korzyści cnoty i zgubne skutki występku; zatrzymują przechodnia, — chodź i ucz się — mówią do niego. Zawsze też, od rana do wieczora, przygląda się im gromada widzów, a wśród niej znajduje się zawsze ktoś, co z malowideł tych czerpie temat do żywej perory. Najczęściej będzie to niewiasta, która, jakby wynagradzając sobie zakaz — mulier taceat in ecclesia, tu na chodniku głosi nauki moralne, a te jej zdania z katechizmu wyrwane, strzępy z kazań zapamiętane, znajdują zawsze uważnych słuchaczy, których miny skruszone świadczą, że poglądowy ten wykład serca ich do głębi porusza.

Za przykładem tej pobożnej niewiasty pójść sobie pozwalam, czytelników przed sklepem mechanika zatrzymując.

Na wystawie jego rozłożone przyrządy zwracają przecież uwagę naszą, jak obrazki „Włocha”, można przy nich na chwilę przystanąć. Nie dla tego, by przyrząd jeden po drugim kolejno opisywać, ale sklep mechanika jest jakby uzewnętrznieniem widomem nauki społecznej; przy pomocy przyrządów jego buduje się wiedza przyrodnicza, fizyka zwłaszcza, która już samym swym olbrzymim w czasach naszych rozrostem daje dowód, że należyte do budowy gmachu swego wzniosła rusztowanie i właściwe do poznania natury wykryła drogi. Przed wystawą mechanika nasuwają się pytania o tem rusztowaniu i o tych drogach; od przyrządów samych myśl mknie łatwo do celów, jakim one służą.

Zapewne, byłoby przyzwyczajenie zaprosić czytelnika wprost do gabinetu fizycznego i z katedry prawić; tam jednak wstępu nie mamy, a katedry pozajmowali inni. Pozostańmy więc na chwilę przed owym sklepem mechanika, gdzie rozprawiać możemy swobodniej, aniżeli w gabinecie fizycznym, nieskrępowani porządkiem wykładu systematycznego i ścisłości naukowej.

I.

Nie zawsze, jak dziś, był sklep mechanika nauce potrzebny; bez przyrządów obywatela się długo fizyka.

W czasie, gdy się fizyka rozpoczęła, posiadał już człowiek niewątpliwie obfity zasób wiadomości fizycznych. Były to pierwsze spostrzeżenia, dokonane wtedy, gdy ledwo co siłą swą duchową ponad

przyrodę otaczającą wybijać się zaczął i uporczywie z nią walki o utrzymanie bytu swego staczać musiał; były to wynalazki proste, które dały początek rzemiosłom i sztukom, narzędzia, bronie, wozy, których wyobrażenia przechowały nam napisy i rysunki przedwieczne, asyryjskie, egipskie, których szczątki znajdujemy dziś jeszcze w grobach dawnych, w jaskiniach, w wykopaliskach. Wszystko to wypełnia dzieje cywilizacji pierwotnej. Fizyka powstała dopiero, gdy wysoko już w cywilizacji posunięty człowiek uczuł potrzebę uporządkowania faktów poznanych, gdy w następujących mu się zjawiskach łączność spostrzegać zaczął, gdy objawy przyrody objaśnić zapragnął i o przyczyny ich zapytał.

Fizyka starożytna jest prawie wyłącznie fizyką grecką. Indowie, Chaldejczycy, Egipcjanie posiadali wprawdzie pewną znajomość przyrody; umysł wsakże narodów wschodnich, grozą bóstw ujarzmione, rozplywały się w spekulacjach teologiczno-mistycznych i nie zdołały wznieść się do pojęcia prawidłowości w naturze. Swobodny dopiero duch grecki w objawach świata otaczającego umiał się dopatrzeć związku przyczynowego, niezależnego od wpływów nadprzyrodzonych, a tem samem w Grecji dopiero zrodzić się mogła nauka przyrody, fizyka. W fizyce greckiej tkwią już zarody wszystkich dzisiejszych działów nauki, znane bowiem były Grekom nawet najprostsze objawy magnetyczne i elektryczne; zarodki te wszakże u nich się nie rozwinęły, istotnej znajomości przyrody i oni zdobyć nie zdołali. Nie dla braku dostatecznej potęgi umysłowej, której przecież tak świetne dowody w geometrii złożyli, ale stąd jedynie, że starożytni nie wykryli właściwej drogi,

która do rozumienia natury prowadzić mogła, nie posiadali istotnej metody badań.

Fizyka grecka była pierwotnie filozofją natury. Jest to młodzieńczy w dziejach okres, i z tą młodzieńczą butą i pewnością, która na przeszkody nie zważa i powolnie, stopniowo kroczyć nie lubi, ale woli wzbijać się w górę i orlim wzrokiem świat obejmować od końca do końca, pragnęła fizyka grecka z pewnych założeń dowolnych, z ogólnych, z góry przyjętych poglądów, wysnuć prawidłowość przyrody i jednym rzutem myśli zagadkę całą świata rozwiązać. Pierwszym z tych mędrców greckich, o przyrodzie filozofujących, jest Tales, najdawniejszy fizyk grecki. Główną zasadą wszechrzeczy jest dla niego woda, wszystko jest z wody i wszystko w wodę znów się obraca. Pogląd taki Talesa potwierdza może prawdopodobne przypuszczenie, że źródła jego nauki pochodzą z Egiptu, który żywność swą jedynie wodom Nilu zawdzięczał.

Szczęśliwszym w spekulacjach swych był Pytagoras, opierał się bowiem nie tyle na substancji zasadniczej, ile raczej na porządku wszech rzeczy, na ich liczbie i mierze; jakkolwiek bowiem liczba miała dla niego znaczenie mistyczne, mogła go choćby przypadkowo tylko do uchwycenia prawidłowości zjawisk doprowadzić, jak o tem świadczą wykryte przezeń stosunki liczebne tonów muzycznych.

Anaksagoras rozmaitość ciał opiera na nieskończonej rozmaitości cząstek nadzwyczaj drobnych, a spółczesny mu Empedokles sprowadza substancje zasadnicze do czterech żywiołów: ziemi, wody, powietrza i ognia. Leucyp i uczeń jego Demokryt słyną jako twórcy nauki o atomach, które różnić się mają

między sobą, nie jakościowo, jak u Anaksagorasa, lecz tylko postacią, położeniem i porządkiem, w ustawionym nadto pozostając ruchu.

Duch grecki miał osobliwą zdolność tworzenia hipotez, a rozwijał je tak obficie, że wszystkie teorie nauki nowoczesnej powiązać się dają ze złudnemi rojeniami starożytnych. Z wybujałością tych hipotez szła razem i pogarda dostrzeżeń, a Plato, wielbiciel matematyki czystej, lekceważy nawet astronomję praktyczną. Astronomów zalicza wprawdzie do mędrców, ale odrzuca astronomów rzekomych, którzy zajmują się obserwacją wschodu i zachodu gwiazd, lub innych podobnych zjawisk; istotnymi astronomami są dla niego ci raczej, którzy zastanawiają się nad ośmiu sferami niebios i nad wielką harmonją wszechświata, co jedynie tylko godnem jest przez bogów rozjaśnionego umysłu ludzkiego.

Najwyższego kresu rozwoju swego dosięga grecka filozofja natury u Arystotelesa. Góruje on niewątpliwie ponad wszystkimi poprzednikami swymi olbrzymią wiedzą i więcej niż oni liczy się z faktami dostrzeżonemi, ale do rozpatrywania przyrody stosuje też samą metodę filozofowania, a spekulacja prowadzi go zawsze do błędnych rezultatów. W przestrzeni pustej, która jest jedynie negacją materji, naucza Arystoteles, niema różnorożności miejsca, a tem samem jest w niej niemożliwy ruch, z ruchem bowiem łączy się pojęcie różnorożności w przestrzeni. Poszukując zasad rzeczy zmysłowych, napotykamy tylko cztery antytezy pierwotne, dające się wyróżnić czuciem, to jest ciepło i zimno, suchość i wilgotność; są to elementarne własności materji. Ponieważ zaś sprzeczności łączyć się z sobą nie mogą, kombinacje tych

własności przeto wytwarzać mogą tylko cztery substancje elementarne, a zatem: gorący i suchy ogień, gorące i wilgotne powietrze, zimną i wilgotną wodę, oraz zimną i suchą ziemię. Substancje te są to żywioły, z których się ogół ciał tworzy. Ziemia jest to żywioł bezwzględnie ciężki, ogień bezwzględnie lekki, powietrze i woda są ciężkie lub lekkie, stosownie do tego, z jakim elementem są połączone. Stąd to i wszystkim ciałom właściwa jest ciężkość lub lekkość, dążą więc na dół ku ziemi, lub w górę ku niebu. Są to ruchy naturalne, które trwają, dopóki gwałtownie nie będą powstrzymane; nie są wszakże jednostajne, a tem samem nie są doskonałe. Doskonałym jest tylko ruch kołowy i wieczysty, a dla urzeczywistnienia go istnieje żywioł piąty, eter, z którego składa się niebo, „quinta essentia”, sfera gwiazd stałych; planety są już zmieszane z substancjami ziemskimi, bo ruchom im brak zupełnej jednostajności. Ziemia, jako żywioł najcięższy, poruszać się nie może i spoczywa w środku świata. O biegu ciał spadających mniema Arystoteles, że prędkość spadku jest proporcjonalna do ich ciężaru, że zatem ciało dwa razy cięższe spada dwa razy prędzej. Więcej trudności nastroczają mu ruchy gwałtowne; dziwi się, że ruch ciała rzuconego trwa jeszcze, choć rękę opuściło, sądzi więc, że pozostawia ono za sobą przestrzeń pustą, a wpadające tam powietrze napiera je coraz dalszym naciskiem. Cała mechanika Arystotelesa utyka na nieszczęśliwym przypuszczeniu o ciałach bezwzględnie i względnie ciężkich lub lekkich; z zasady tej wynika, że woda nie jest ciężka względem ziemi, ani powietrze względem wody, a stąd woda nie może cisnąć na ziemię ani powietrze na wodę. Aby więc wytłomaczyć podnosze-

nie się wody w pompie, odwołać się musi do dalszego przypuszczenia, że natura lęka się próżni, do słynnego „horror vacui”, jakkolwiek wie, że powietrze jest ciężkie i nawet próbuje je ważyć.

Urywki te fizyki Arystotelesa dostatecznie błędność jej wykazują. Największy z filozofów starożytnych pozostawił potomności same tylko fałszywe fizyczne. Źródłem tak uderzającego niepowodzenia nie jest brak dostatecznej podstawy faktycznej, ale błędność obranej metody. Arystoteles nie odwracał się wprawdzie od rzeczywistości, gromadził zasób dostrzeżeń, ale dążył zawsze do poszukiwania pojęć ogólnych, prowadzących do wyjaśnienia całości. Cel ten, wytłomaczenie natury przez logiczne wywody z pewnych zasad naczelnych, przeprowadził w sposób tak konsekwentny, że dzieło jego słuszny budzić musi podziw; pomimo to fizyka jego runęła tak doszczętnie, że z niej kamień nie ostał na kamieniu.

Praca mędrców greckich jałową nie jest i straconą nie została zupełnie, złożyła bowiem świadectwo stanowcze, że znajomości przyrody człowiek z umysłu swego wysnuć nie zdoła. I w najnowszych wszakże jeszcze czasach łudzili się filozofowie, że drogą rozumowania filozoficznego istotę przyrody odsłonić potrafią; tem mniej więc Arystoteles na zarzut zasługuje, gdy w jego czasach brakło jeszcze uzasadnionych powodów do powątpiewania, że obrona przezeń droga do celu prowadzić nie może.

Wraz z przeniesieniem się nauki greckiej z Aten do Aleksandrji zmienia się charakter fizyki, rozpoczyna się nowy dziejów jej okres, z filozoficznej staje się matematyczną. Jak prąd jej poprzedni streszcza się w osobie Arystotelesa, tak najwybitniejszym przed-

stawicielem kierunku nowego jest Archimedes, największy matematyk starożytności, o którym Cycero wyrażał się z zachwytem, że posiadał geniusz większy, aniżeli to być może z naturą ludzką zgodnem. Dwa wprawdzie tylko zdobył on odkrycia, dwa tylko poznane prawa przekazał czasom dalszym: prawo równowagi dźwiga i prawo ciał zanurzonych w cieczach, ale zasady te przetrwały niewzruszone i na całą przyszłość bez zmiany pozostaną.

W obu swych dziełach fizycznych, o równowadze płaszczyzn i o ciałach pływających, zachowuje Archimedes metodę matematyczną od początku aż do końca; opiera się na pewnych twierdzeniach z góry przyjętych, na pewnych założeniach, jakby na pewnikach, które są same przez się widoczne, a stąd drogą wnioskowania matematycznego coraz dalsze wyprowadza twierdzenia. W teorii dźwiga założenia te przyjmują, że wielkości jednakowo ciężkie, w jednakich odległościach od punktu podpory, pozostają w równowadze, gdy zaś w różnych przypadają oddaleniach, w równowadze się nie utrzymują, ale wielkość dalej się od punktu podpory mieszcząca opada ku dołowi. Nauka znów o ciałach pływających polega na zasadach, że ciecz we wszystkich swych częściach jest jednostajna i ciągła, że w każdej cieczy część mniej uciskana usuwana jest przez część bardziej uciskaną, i że każda część jest uciskana przez ciecz nad nią będącą.

Pisarze nowsi często Archimedesą pierwszym fizykiem nazywają. Jeżeli mamy na uwadze zdobyte przezeń rezultaty, trzeba się na to zgodzić; zdanie to wszakże jest niesłuszne, gdy mamy na uwadze i metodę fizyczną, to jest wyprowadzanie praw na pod-

stawie obserwacji i doświadczeń. Badania fizyczne i mechaniczne budzą w nim zajęcie jedynie ze względów matematycznych i sam uważa je tylko, jako zastosowanie matematyki. Obrane przezeń zasady są już rezultatami dostrzeżeń, jakkolwiek tak prostych i powszednich, że przybierają pozór pewników koniecznych, oczywistych. Mędrcy starożytni doświadczeń nie prowadzili, dlatego też obok mechaniki, a raczej statyki tylko, mogła się w starożytności rozwijać jedynie optyka jeszcze, a przynajmniej pewne jej działy, które również z prostych i bezpośrednich wynikają dostrzeżeń. Ale podobnie jak filozofja, tak też i matematyka nie może sama przez się fizyki wytworzyć, dla swych wywodów bowiem musi najpierw materiał posiadać. Z punktu zatem widzenia fizyki nowożytnej zarówno Archimedes, jak i Arystoteles, nie są fizykami; matematyka wszakże drogą pewną i ścisłą wnioskowania swe jedne z drugich wysnuwa, gdy filozofja na każdym kroku narażona jest na zboczenia i pomyłki, a tem się tłumaczy uderzająca sprzeczność między rezultatami prac Arystotelesa i Archimedes.

Początek fizyce nowożytnej daje dopiero wprowadzenie metody doświadczalnej, uznanie, że jedynym źródłem naszej znajomości natury, otaczającego nas świata, jest doświadczenie. Początkiem tym doświadczalnym różni się wiedza nowożytna od nauk znanych w starożytności i wiekach średnich, które się na podstawie Organonu Arystotelesa rozwijały. Dawna metoda sylogistyczna uczyła łączyć między sobą pojęcia już gotowe, ale nie wskazywała, jak się nowe pojęcia tworzą i odkrywają. Rozwój wszakże nauki polega nie na przedstawianiu w postaci wniosków co-

raz odmiennych tego, co już wiemy, ale na zdobywaniu wiadomości coraz nowych; potrzebna była droga nie dowodzenia rzeczy znanych, ale odkrywania i wynajdowania rzeczy nieznanych, a tą właśnie jest metoda doświadczalna. Odrodzenie nauki w czasach nowożytnych rozpoczyna się szczęśliwem stosowaniem obserwacji i indukcji w badaniach astronomicznych Kopernika, Tychona Brahe i Keplera; ale pierwszym eksperymentatorem, pierwszym i istotnym przedstawicielem metody doświadczalnej był Galileusz, którego badania nad spadkiem ciał dają początek fizyce obecnej. W poszukiwaniach tych wybija się duch nauki nowożytnej, który usuwa na plan dalszy pytanie, dlaczego ciała spadają, a przedewszystkiem wykryć usiłuje, jak ciała spadają, jak ruch ten się dokonuje, wedle jakiego odbywa się prawa. Odpowiedź na pytanie to dać może doświadczenie tylko, które też odtąd staje się początkiem każdego badania natury. Zwrot ku doświadczeniu sprowadził fizykę na grunt realny, rzetelny; dał jej treść istotną.

Doświadczenie wszakże naukowe na innym mieści się stopniu, aniżeli doświadczenie pospolite, czyli dostrzeganie zwykłe, które jest sprawą naszą powszednią i stanowi niejako dziedzictwo całej ludzkości. Dostrzeżenia niejasne, pobieżne, prowadzić mogą jedynie do wyobrażeń mylnych, rzekomych; dlatego doświadczenia, na których możnaby opierać wnioskowania naukowe, muszą być pewne i dokładne. W dawniejszej filozofji—mówi Bacon,—który dla nowej metody nowy organon ułożył—postępowano z doświadczeniem, jak w państwie, gdzieby działania polityczne przedsiębrano nie według listów i rad wiarogodnych posłów, ale według pogłosek miejskich. Doświad-

czenie pospolite jest jedynie macaniem w noc ciemną stosowniejsza wszakże czekać dnia, lub latarnię zapalić. Przez doświadczenie zmagamy przyrodę do odpowiedzi na pytanie, jakie jej zadajemy, ale odpowiedź umożliwić i ułatwić jej musimy przez wywołanie zjawiska w warunkach odpowiednich, przez ustrzeżenie od okoliczności ubocznych, gmatwujących, wprowadzających niejasność i dwuznaczność, przez staranne usunięcie wszelkich możliwych źródeł błęd. Takie zaś wykonywanie doświadczeń wymaga przyrządów, narzędzi pomocniczych; odtąd więc też pracownia fizyka zawiązać musiała stosunki z warsztatem mechanika.

II.

Tego, co się dziś przyrządem naukowym nazywa, potrzebowali w starożytności właściwie astronomowie tylko. Już warunki pierwotnego bytu koczowniczego zmusiły człowieka do obserwacji gwiazd, a gdy dokładniej położenie ich oznaczyć zapragnął, zbudować musiał przyrządy miernicze. Sfery armilarne i astrolabia dawnych astronomów są to też właściwie kątomiary tylko, do pomiarów na sferze niebieskiej zastosowane, a prostym tym przyrządom astronomja wczesny swój rozkwit zawdzięcza. Ludzi nas Matejko, przedstawiając na obrazie swym Kopernika z rękoma ku niebu wzniesionemi, jakby świadomość porządku układu słonecznego objawieniem mu spłynęła w zachwycie nagłym; Thordwaldsen słusznie dzieło wielkiego astronoma ocenił, dając posą-

gowi jego mierniczą sferę obrączkową w rękę. Widzielśmy, że pracę tę astronomów filozofowie w pogardzie mieli; podobnież gromi Plato i współczesnego Pytagorasowi Archytasa z Koryntu, że do rozwiązywania zadań geometrycznych przyrządy mechaniczne stosował. Pomimo biegłości mechaników ówczesnych, nauka z usług ich korzystać nie chciała. Własne nawet swe wynalazki mechaniczne, jak twierdzi Plutarch, lekceważył Archimedes tak dalece, że o nich zgola w dziełach swoich nie wspomina, chociaż miały to być maszyny osobliwe i zdumiewające,—prócz bloków złożonych, szrub bez końca, szrub wodnych, zwierciadeł palących, jeszcze sfery odtwarzające bieg ciał niebieskich, potężne katapulty i balisty wojenne, przeobrażone legendą późniejszą w olbrzymią rękę żelazną, która z murów Syrakuzy chwytala okręty rzymskie i o skały nadmorskie rozbijała. W czasie późniejszym nieco zasłynęły w Aleksandrii pierwsze przyrządy, w których znalazła zastosowanie prężność powietrza i pary, jak wytrysk Herona i eolipila, a już na samym schyłku nauki greckiej, gdy wielkie jej niegdyś ognisko dogasało, tłumione naciskiem prądów nieprzyjaznych, na ostatniej karcie fizyki starożytnej zapisał się wynalazek areometru. Jest to wprawdzie skromny tylko probierz do cieczy, ale dotąd dobrze nam służy. Chciano wynalazek ten przypisać Hypatji, pięknej protoplastce przyrodniczek dzisiejszych, ale historia, tak niegrzecznie szperająca po starych szpargałach i dydaktycznych poematach greckich, stanowczo temu zaprzeczyła, chociaż istotnego wynalazcy nie wyszukała. Wiemy tylko, że areometr służył pierwotnie do celów lekarskich; ówczesni już zatem medycy, prócz typowego instrumentu, którego

wynalazcą miał być ibis święty, czy też inny ptak długoszyjny, a który rozślawił Molière, posiadali i inne przyrządy fizyczne, ale gabinet fizyka z kresem wieków starożytnych nie był jeszcze zaopatrzony.

Nie z bogacili go i Arabowie, którzy, wspaniałością nauki greckiej olśnieni, metod jej zmieniać nie myśleli. Przewyższyli wszakże mistrzów swoich starannością i ścisłością pomiarów, o czym świadczy zwłaszcza waga, zbudowana przez Alkhazinię, i dla szczególnych swych zalet nazwana przez niego wagą mądrości. Zresztą na cały ciąg wieków średnich przypada za ledwie zaznajomienie się z własnościami igły magnesowej i wprowadzenie okularów, co dało początek szlifierniom szkła, które się następnie stać miały ogniskami ożywionej działalności technicznej. Nieskrępowana więzami nauki ścisłej fantazja pisarzy ówczesnych wylewa się w pomysłach niedorzecznych, dziecinnych. Robią oni wynalazki, ale na papierze tylko; opisują maszyny, przyrządy, które działać mają w sposób najdziwniejszy, ale nie troszczą się bynajmniej, czy to wszystko da się wykonać, urzeczywistnić, pozostawiają mózół ten praktykom, rzemieślnikom. Czytelnikom przypadają do smaku utwory takie, jak romanse za czasów naszych. W ten sposób fizyka wyradza się w magję, nauka zlewa się z baśnią, a średniowieczny okres nauki,

„Gdy mnich, przez szyby patrząc barwione,
„Światu nadawał tych szyb kolory”,

o całe stulecie jeszcze przetrwał epokę, od której historia dzieje nowożytne liczyć zaczyna.

Z brzaskiem dopiero wieku szesnastego świta

jutrzienka nowożytnej wiedzy przyrodniczej. Nauka oswobadza się od ucisku scholastyki, zdziera zasłonę zakrywającą jej świat rzeczywisty, nieci światło dookoła, rozgląda się, obserwuje. Drobnym dotąd zasób wiadomości rozrasta się, mnoży; poglądy rozjaśniają się, utorowana droga badań rozpościera się szeroko. Uderzony widokiem rozbujanej lampy kościelnej, zawieszanej na długiej linie, biciem własnego tętna równocześnie wachnięć wyczytuje Galileusz i kładzie tem podstawy dynamiki, mechaniki nowej; społecznie ukazuje się w Anglii pierwsza praca naukowa o magnetyzmie i elektryczności, a z Holandji przybywa luneta, która zaraz daje moc nauce Kopernika i tajemnice światów dalekich odsłania. Optyka rozszerza swe granice przez odkrycie praw załamania światła, a ujawnienie ciśnienia atmosferycznego prowadzi do budowy barometru i pompy powietrznej, umożliwia badania dalszych własności gazów i skłania do dostrzeżeń meteorologicznych. W pokrewnych działach wiedzy też samo tryska ożywienie; fizjologia osiąga pierwsze swe wielkie odkrycie podwójnego obiegu krwi, alchemja przeradza się w chemję.

Tak doniosłe odkrycia i wynalazki, tak niesłychany dotąd w nauce postęp, tak nagły jej przewrót i rozwój wznieca wszędzie zapal do doświadczeń; uczeni wiążą się w stowarzyszenia, by spółdzielaniem wzajemnem trudności badań eksperymentalnych pokonywać. Przyrząd staje się pomocą niezbędną każdego fizyka, każdego badacza natury. Pierwotne te przyrządy pierwszych przodowników nauki doświadczałnej są skromne jeszcze bardzo, doskonałą się stopniowo, ale historia ich zespala się z dziejami nauki i nie da się od niej wyodrębnić samodzielnie.

Jak murzyn, gdy zadanie swe spełnił, odejść już może, tak też i przyrząd naukowy ustępuje, skoro dzieła swego dokonał, gdy powiódł do wielkiego może odkrycia, gdy doniosłe prawo natury wykazał. Odtąd wartość już historyczną tylko posiada. W starych ogniskach naukowych szczątki tych instrumentów dawnych przechowują się, jakby relikwie szacowne. W wielkich muzeach, które zgromadziły zabytki wieków ubiegłych, gdzie uderza nasze oczy pełny obraz życia, zwyczajów, zabiegów pokoleń minionych, znajduje się też często i kryjówka niewielka, mieszcząca nieliczne takie pamiątki naukowe, przyrządy tak różne od dzisiejszych, prostsze, roboty rzemieślniczej, bez zawilosci żadnej i bez ścisłości dziś tak niezbędnej, niekiedy zdobne ornamentami, przypominającami ówczesne wyroby ślusarskie lub tytuły druków starych. Gdy jednak przed zbiorem tym drobnym stoisz, a wzrokiem rzucasz dokoła na otaczające cię mnóstwo spłowiałych szat pańskich i zardzewiałych zbroi rycerskich, spokojnych sprzętów domowych i narzędzi tortur okrutnych, przypominasz sobie owo proroctwo Wiktora Hugo: „ceci tuera cela”, to zabije tamto, stąd bowiem dochodzi cię powiew przyszłości, masz przed sobą początek życia nowego, zaród, do wielkiego rozwoju przeznaczony. Gdy i ponad nami przejdą stulecia dalsze, gdy miejsce nasze na ziemi zajmą pokolenia odległe, muzea, które czasy nasze odtworzyć zechcą, na miejscu najokazalszem, najwybitniejszym, dzisiejsze przyrządy naukowe rozłożą.

W drugiej połowie wieku siedemnastego nauka doświadczalna mężnieje, postępuje dalej, a dawno upragniony wynalazek zegarów i rozszczepienie światła na barwy są to najwybitniejsze zapewne okresu

tego trofea. Wiek ośmnasty bardziej do matematyki należy, ale udoskonalenie maszyny elektrycznej nową kategorią przyrządów gabinet fizyka zapełnia i nową podniętą zapal powszechny do doświadczeń elektrycznych budzi. Maszyna elektryczna wydobywa się poza ściany pracowni fizycznej; elektryzują się wszyscy, w salonie i w budzie jarmarcznej, podziwiają blask i trzask iskry elektrycznej, w której właśnie zdobniały obraz pioruna dostrzeżono. Poza tą wrzawą elektryczną spokojniej rozwijają się inne działy fizyki. W szczególności zaś wykończenie termometru dało wtedy dopiero możliwość dokładnego badania objawów ciepła, za czem poszło rychło i udoskonalenie maszyny parowej, która zyskuje już dzisiejszą swą postać i rozpoczyna trumfalny, zwycięski swój pochód. Spółcześnie na schyłek wieku ośmnastego przypada i nagły rozwój chemii, która przez wprowadzenie ścisłych badań fizycznych zdobywa trwałą i mocną podstawę naukową.

Jakkolwiek tedy doniosła i podziwu godną była już praca minionych lat dwustu, stanowi ona wszakże prolog tylko, przygrywkę, przygotowanie do tego olbrzymiego i wspaniałego rozwoju, jaki oczekiwał wiedzę przyrodniczą w naszym stuleciu. Jakby jego zapowiedź, u otwierających się wrót wieku dziewiętnastego zawitał stos galwaniczny. Nie oceniony w pierwszej chwili dostatecznie, nabiera on w ciągu stulecia znaczenia coraz wybitniejszego, coraz bardziej górującego, i zapełnia gabinet fizyka coraz liczniejszym orszakiem zawisłych od niego przyrządów, z których każdy coraz bardziej zdumiewający stanowi wynalazek. Jedne po drugich następują tak szybko, tak nieprzerwanie, że jeszcze nie zdążyliśmy

się z jednym oswoić, gdy nas już nowy olśniewa. Te elektromagnesy i induktory, elektrometry i galwanometry, telegrafy i telefony, maszyny magneto-elektryczne i dynamo-elektryczne, lampy żarowe i lampy łukowe, te rury puste i dziwacznie pokręcone, gdzie wytwarzają się osobliwe objawy świetlne i skąd wybiegają te promienie zagadkowe, same niewidzialne, a które nam wewnątrz ciała naszego rozpatrzeć dozwalają, same już dostateczne składają świadectwo, jak doniosłe, podstawowe stanowisko zdobyły sobie przyrządy w nauce. A gdy obok tych aparatów elektrycznych rozłożymy wszelkie inne przyrządy fizyczne, astronomiczne, meteorologiczne, chemiczne, fizjologiczne, przekonamy się, jak bogato uposażone są dzisiejsze pracownie naukowe, jak zasobny być winien sklep mechanika, by żądania te zaspakajać.

Jeżeli trudną byłoby rzeczą napisanie historii przyrządów, to miałby kłopot nie mniejszy, ktoby wszystek ten ogrom rozłożyć chciał na katagorie oddzielne, w pewną ująć je klasyfikację. Przedewszystkiem mają one to na celu, by wzmódz działalność zmysłów naszych, by braki ich, niedostatki, słabości zastąpić, wynagrodzić. Gdy rozglądamy gwiazdy, na niebie nocnem rozsiane, dostrzegamy wprawdzie, że jedne mniej, inne więcej są nad poziom wzniesione, ale gdy dokładnie oznaczyć chcemy położenie każdej z nich na sklepieniu, oko w kątomiar uzbroidź musimy. Tak samo nie wystarczają zmysłowe wrażenia nasze do oceny ciężarów lub temperatury ciał różnych,—odwoływać się musimy do wagi, do termometru. Zmian ciśnienia atmosferycznego nie odczuwamy nawet zgoda, chociaż są one źródłem wszelkich objawów meteorologicznych,—pytać o nie musimy ba-

rometru. Są to wszystko przykłady przyrządów mierzniczych, bez których żadne badanie naukowe nie mogłoby się rozpocząć. Ale i inaczej jeszcze są zmysły nasze ograniczone. Gdy dokoła nas brzmia dźwięki orkiestry, jakżeż wprawnego trzeba ucha, by w zawiłości tej, w tym splocie tonów każdy oddzielnie wyróżnić; ale analizę taką dźwięków ułatwiają nam rezonatory, działające tak wiernie, że samogłoskę każdą rozbierają na tony pojedyncze, które się na właściwe jej brzmienie składają. Bardziej jeszcze pod tym względem upośledzone jest oko, rozmaitość bowiem barw wzajem mieszanych w jednolite łączy wrażenie; rozdziela je wszakże spektroskop, rozszczepia każdy promień świetlny i ze składających go smug barwnych odsłania nam naturę ciała, które go wysłało. Działalność oka i tem nadto jest ograniczone, że nie na wszystkie otwarte jest promienie, siatkówka nasza wrażliwa jest na pewną ich tylko, nierozległą kategorię; poza fioletem tęczy rozpościerają się jeszcze promienie słoneczne, już dla nas niewidzialne. Widzi je jednak płyta fotograficzna, chwytą je i nam odsłania. Odkryła nawet w ten sposób na niebie mgławice, któreby bez jej pomocy zawsze dla nas utajone pozostały. Ale i w szczupłym zakresie dostępnych mu promieni jest oko nasze ograniczone, jakby za stosowane tylko do wymiarów wielkości ciała naszego odpowiadających, nie dostrzega przedmiotów zbyt drobnych i zbyt dalekich; granice te rozsunęły nam dopiero mikroskopy i teleskopy. Pierwsze odsłoniły nam misterną budowę ciała naszego i wydobyły z kryjówek twory najdrobniejsze, w których ród ludzki poznał najgroźniejszych swych wrogów; drugie zapełniły przestrzeń milionami światów, wykryły mgła-

wice, z których się słońca rodzą. Bez pomocy maszyny elektrycznej i stosu galwanicznego nie znalibyśmy nawet zgoła zjawisk elektrycznych, gdyż nie posiadamy zmysłu, któryby nam o nich bezpośrednio świadomość dawał. Podobnie i pompa powietrzna sprowadza zjawiska, któreby bez niej nigdy się nie ujawniły, dobrowolnie bowiem przyroda nie nastrocza nam próżni, a fizycy dawni samej nawet możebności istnienia próżni przeczyli.

Doskonalenie przyrządów wiąże się ściśle z postępem nauki; są to czynniki wzajem sprzężone, tak, że każde istotne ulepszenie przyrządu do nowych odkryć prowadzi, a każdy postęp nauki pomysły nowych przyrządów nasuwa. Podziwiamy słuszenie genialności badaczy, którzy tajemnice przyrody prostymi środkami przenikali, odsłaniając nam nowe dziedziny badań; ale proste takie środki u wstępu tylko do nauki, do pewnej gałęzi wiedzy wystarczać mogą. Do wykrycia praw zasadniczych ruchu wahadłowego dostateczny był ciężarek na sznurku zawieszony, ale by wahadło nieść mogło pomoc przy badaniach postaci ziemi, by przydatnem się stało do ujmowania wszelkich odstępstw od prawidłowego działania siły ciężkości w różnych miejscach, przeobrazić się musiało w przyrząd zawily i ścisły. Pryzmat szklany w ciemnej izbie rozszczepił już promień światła na składowe jego części barwne, ale, by z barw tych odczytywać skład chemiczny brył niebieskich, trzeba było spektroskop zbudować.

Pierwotne pompy powietrzne złożyły wprawdzie zdumionym widzom świadectwo o istnieniu próżni, ale gdy rozrzedzenie gazów tysiąckrotnie dalej posunięto, wtedy dopiero poznano osobliwe objawy elektryczne;

w przestrzeni pustej występujące, światło uwarstwiane, promienie katodálne, promienie Röntgena, a każdy z objawów tych przybywał w miarę, jak wzmagal się stopień próżni w rurce, doświadczeniom poddanej. Gdy gazy skraplać zaczęto, różne z nich łatwo uległy i przez słabe już stłoczenie dały się w stan ciekły przeprowadzić; rychło jednak okazały się między niemi odporne, które przemocą ujarzmić się nie dały i pod naciskiem setek atmosfer lotność swą utrzymywały, tak dalece, że je za trwale uznano i bezcelową z niemi walkę zawieszono. Ale gdy odpowiednie urządzenia obmyślono, trwałość ich złudną się okazała, najoporniejsze uległy i w postaci ciecicy ujrzelśmy powietrze.

Co się nam niepodobnem, do urzeczywistnienia niemożebnem wydaje, przyrząd to nieraz wykonać potrafi. Trzysta tysięcy kilometrów przebiega światło na sekundę, co znaczy, że przez krótką tę chwilkę mogłoby siedmiokrotnie równik ziemski okrążyć, a najrozleglejsze na ziemi przestrzenie w ciągu nikłego ułamka sekundy przebywa; dla tak zawrotnej szybkości wymiary planety naszej są już drobne, i niemożliwą chyba wydawało się rzeczą bieg ten uchwycić i doświadczeniem prędkość światła oznaczyć. A jednak przyrząd trudności wszelkie pokonywa i daje rezultat, zgodny z tem, czego nas pomiary astronomiczne nauczyły. Ktoby dziś jeszcze o obrocie ziemi powątpiewał, temu przyrząd naocznie go okaże. Tam nawet, gdzie, zdawałoby się, dostępu zgoła mieć już nie powinien, tam jeszcze daje odpowiedź stanowiącą. Spór wiekowy o istocie światła, czy jest ono substancją, czy też ruchem tylko, rozstrzyga przyrząd,—dwa zwierciadła stosownie umieszczone, rzu-

cające na przegrodę smugi jasne naprzemian i ciemne. A gdy dla pocucia fal elektrycznych zmysłu zgoła nie posiadamy, chwyta nam je i ujawnia znów przyrząd szczęśliwie obmyślony.

Aż dotąd był przyrząd pomocnikiem tylko badacza, teraz wyręczyć go nawet pragnie, zastąpić zupełnie. Mówimy tu o automatycznych, samopiszących przyrządach obserwacyjnych. Wszystkie te termografy i barografy, aktynografy, anemografy, seismografy, i jak się wreszcie nazywają, są to pracownicy niestrudzeni, działają bez wytchnienia dniami i nocą, zapisują spostrzeżenia swe nieprzerwanie, w sposób ciągły, gdy najgorliwszy nawet obserwator termometry swe lub barometry zaledwie trzy, cztery razy na dobę odczytywać może. Z balonem samopaspuszczonym wzbijają się do wyżyn, dokąd aeronauta pod karą śmierci nieuchronnej nie mógłby już sięgnąć, i z niedostępnych tych kresów znoszą nam wiadomości o panujących tam warunkach atmosferycznych. Na szczytach gór wyniosłych pozostają bezpiecznie przez długie miesiące zimowe, a latem znajdujemy na nich nakreślony przebieg wszelkich zjawisk meteorologicznych. Są wszakże i do innych celów przydatne, a w przyszłości niewątpliwie nauka do usług ich częściej odwoływać się będzie.

Mówimy niekiedy o naukach obserwacyjnych i doświadczalnych, rozróżnianie takie nie jest już wszakże teraz istotnie uzasadnione, przyrząd bowiem utorował sobie dostęp i do takich gałęzi wiedzy, gdzie dawniej wydawał się zgoła niepotrzebnym, niemożliwym nawet. Astronom, odkąd nie zadowolnił się rozpatrywaniem ruchów tylko dalekich brył niebieskich, ale zapragnął też badać budowę ich i na-

ture, musiał do dostrzegalni swej przyłączyć pracownię fizyczną i chemiczną. Istnieje już mineralogia doświadczalna i geologia doświadczalna; fizjologia posługuje się przyrządami w równej mierze, jak fizyka i chemia, a za jej pośrednictwem przedostały się i do badań psychologicznych, chociaż tam pierwsze dopiero, próbne kroki stawiają. Spirytyzm nawet, parodując naukę ścisłą, pragnie sprawy swych duchów czy sobowtórów na gorącym uczynku uchwycić przy pomocy przyrządów, aby ich powagą oczy tumannego ogółu olśnić.

Obok przyrządów, które służą do badań, do dalszego rozwoju nauki, oddzielną ich kategorię stanowią przyrządy demonstracyjne, przeznaczone do pomocy przy wykładach, mające zatem znaczenie pedagogiczne. Zostały tak ulepszone i uproszczone, że korzystać z nich mogą nie tylko szkoły średnie, ale łatwo dostępne są też dla szkół początkowych i ludowych; drobne nawet zbiory przyrządów prostych i dogodnych wyrabiane są tak tanio, że oddawane być mogą do rąk dzieciom, by samodzielnie w użycie ich wprawiać się mogły, rozwijając naukową tą zabawką zdolność spostrzegania i biegłość ręki. Wspaniałością natomiast i okazałością wyróżniają się przyrządy do wykładów publicznych przeznaczone. Szczególniej zaś do przedstawiania doświadczeń znacznej liczbie słuchaczy pożyteczne są przyrządy projekcyjne, będące w istocie rzeczy jedynie udoskonaleniem dawnej latarni czarnoksiężkiej, które pozwalają na ekran rzucić obrazy nie tylko gotowych już malowideł, ale uwidoczniają na nim cały przebieg wykonywanego doświadczenia, którego by bezpośrednio ze wszystkich punktów rozległej sali widzieć nie można było. Ude-

rzające te doświadczenia, w których zarówno wytworność narzędzi, jak i biegłość eksperymentatorów dzisiejszych podziwiać trzeba, nadają urok tak ponętny odczytom przyrodniczym i w rzędzie środków rozpoznawania wiedzy potężnem są ogniwem.

III.

Przed sklepem mechanika nie zatrzymują się panie i panowie. Nie jest to przecież wystawa artystyczna, zbiór utworów sztuki, a upodobania i nawyknienia prowadzą nas tam tylko, gdzie zadowolenie znajdujemy estetyczne; naukowe zaś, mechaniczne przyrządy nie sprawiają bynajmniej wrażenia piękna. Rozprawiano już wszakże nieraz, czy posiadają pewną, właściwą sobie estetykę. Zapewne, nie jest to ten rodzaj piękna, jaki podziwiamy w obrazach lub rzeźbach, ale posiadają może wspólność pewną z pięknem architektonicznym. Zbudowane wedle miary i liczby, jakby gmachy w wymiarach zmniejszonych, w ścisłem zastosowaniu środków do celu, w należytem zużycowaniu i obrobieniu materiału, urzeczywistniają ideę harmonji, ładu, porządku, a idea ta tak wybitnie wyraża piękno wszechświata, że oba te pojęcia Grecy wspólnym terminem „kosmos” obejmowali. Ale sztuka i nauka z odrębnych stanowisk na świat się zapatrują, a utwory artystyczne i przyrządy naukowe są różnicy tej najistotniejszym wyrazem.

Przed sklepem mechanika nie zatrzymują się więc panie i panowie, staje tam tylko uczeń w mundurku szkolnym i ślusarczyk początkujący. Jeden

marzy o chwili, gdy przyrządy te zjawia się w sali szkolnej, gdy doświadczenia zabawia go śród ciągłej, nużącej jednostajności; a może budzi się w nim też pragnienie wiedzy przyrodniczej, której szkoła dzisiejsza tak skąpo mu udziela; drugi zachwyca się pięknem wykończeniem wyrobów i radby dorównać biegłością mistrzom, co to wykonać potrafią. Przedstawiciele dwu różnych warstw społecznych, wiedzy i rzemiosła, myśli i pracy, spoglądają na siebie wzajem z niechęcią, jeden z lekceważeniem, drugi z zawzięcią, nie przeczuwając zgoła, jak blizkie węzły łączą naukę z techniką, jak ściśle zawarły one między sobą przymierze. Rozwój jednej i drugiej równomiernie idzie. Nauka ożywia technikę, każda jej zdobycz, odkrycie każde staje się źródłem ulepszeń w technice, wskazuje jej nowe środki, nowe materiały następcza, nowe działy przemysłu otwiera, uczy oporną przyrodę do potrzeb człowieka naginać. Lędwie w gabinecie fizyka poznano prądy galwaniczne, działaniem magnesów wzbudzone, już budują się potężne maszyny magneto-elektryczne i dynamo-elektryczne, które dają podstawę całej elektrotechnice, z jej światłem elektrycznem i jej kolejami elektrycznemi, z przenoszeniem energii i galwanoplastyką, nie mówiąc już o telegrafach i telefonach, co wszystko razem prowadzi aż do przeinaczenia form zwykłego naszego, powszedniego życia.— Gdy z czarnej smoły, tworzącej się przy suchej dystalacji węgla kamiennego, wydobył chemik nieprzebrane substancje, zalecające się wspaniałem i wielorakiem ubarwieniem, słynne barwniki smołowe różnych nazw, anilinowe, antracenowe, naftalinowe, fenolowe i inne jeszcze, natychmiast rozwinęła się rozległa produkcja fabryczna tych materiałów, która

do cna przeinaczyła przemysł farbiarski i zamiast dawnych kilkudziesięciu barwników roślinnych obdarzyła go tysiącami wspaniałych i olśniewających wzrok nasz barwników, wszelakich odmian i odcieni, dawniej zgoła nieznanych, a których źródłem są nędzne, czarne odpadki, pozostające przy wyrobie gazu oświetlającego lub przy koksowaniu węgla kamiennego. Cały przemysł chemiczny zresztą, tak dziś rozrosły i olbrzymi, jest tylko spotęgowaniem pracowni naukowej, odtworzeniem na wielką skalę robót, które chemik w drobnych swych epruwetkach i retortach przygotowuje. Rozwój teorii mechanicznej ciepła sprowadził bezpośrednio udoskonalenie motorów parowych, a gdy nauka poznała, jakimi drogami zmuszać można gazy do przyjęcia stanu ciekłego, już nabywać można kwas węglany skroplony w butelkach, jak każdą ciecz pospolitą.

Wzajem też technika nauce usługi świadczy i postęp jej w różny sposób popiera, już coraz nowe nastroczając jej zadania, już to budując dla niej na udoskonalonych swych warsztatach coraz lepsze, coraz dzielniejsze przyrządy, które do odkryć dalszych moc jej dają.—Trudności, które przy budowie pomp napotkano, powiodły do wielkiego odkrycia ciśnienia atmosferycznego. Przez połączenie ciemni optycznej z płytą na światło wrażliwą powstała fotografia; ale dopiero, gdy udoskonalony przyrząd fotograficzny zwróciła technika nauce, zyskała astronomja nową metodę badania ciał niebieskich, a fizjologia mogła go użyć do analizy zawitych ruchów zwierzęcych. Niemniej uderzający przykład przedstawia najnowsza historia fabrykacji szkła. Przedziwny ten materiał, dla przezroczystości swej i podatności tak niezbędny

w przyrządach naukowych, okazał się wszakże wadliwym; poznano, że liczne błędy termometrów, które tamowały użycie ich do ścisłych pomiarów, wypływają z pewnych nieprawidłowości w rozszerzaniu się szkła przy zmianach temperatury, a gdy wzrastająca ciekawość dalekich światów zażądała lunet coraz potężniejszych, stanęły temu na zawadzie zakłócenia barwne, wywiązujące się przy przejściu światła przez soczewki szklane. Usunięciem tych wad zajęła się wszakże gorliwie technika i wytworzyła nowe rodzaje szkła, różnego składu chemicznego i różnych właściwości fizycznych, z których każdy danej potrzebie odpowiada. Termometry odzyskały swą powagę, jako przyrządy miernicze, a refraktory astronomiczne przekroczyły potęgą swą granicę, która niedawno jeszcze wydawała się nigdy nieprzebytą. Z podziwem przyglądamy się pracy hutnika, gdy kroplę szkła stopionego wydyma w ponętne, artystyczne nieledwie formy, ale najwytworniejsze, najbardziej mistrzowskie swe dzieła składa on w ofierze nauce, przygotowując dla niej te rury osobliwe, w tak zawity sposób skrócone, że nie wiesz, czy bardziej podziwiać samą ich formę, czy też wspaniałe objawy świetlne, które się w nich działaniem prądów elektrycznych wzbudzają. Gdyby nie ta uderzająca biegłość technika, nie znalibyśmy jeszcze tych zdumiewających promieni Röntgena, dopiero co odkrytych, a które z rur takich właśnie się rodzą.

Jak w maszynie dynamoelektrycznej drobny, zarodkowy zaledwie magnetyzm wzbudza słaby najpierw prąd elektryczny, który podsyca z kolei magnetyzm pierwotny, a przyrost ten magnetyzmu staje się znowu źródłem następnego wzmożenia prądu, by

proces ten dalej się powtarzał, aż do granicy, do jakiej zdolną jest zbroja magnetyczna maszyny; tak też nauka i technika wspólnie na siebie oddziałują, a kresu wzajemnego tego potęgowania dziś jeszcze zgola przewidzieć nie możemy. Ścisłą tę zależność dwu wielkich kierunków działalności ludzkiej najlepiej może zrozumiano w Niemczech, gdzie od lat dwudziestu istnieje wielki „Państwowy zakład fizyczno-techniczny”, w którym najwyższe badania naukowe znajdują w każdej chwili wszelkie pomoce techniczne, a technika otrzymuje odpowiedź naukową na pytania, jakie w praktyce swej wciąż napotyka. Dzięki też należytemu pojmowaniu tej wspólnej łączności nauki z techniką wybujał w krótkim czasie przemysł niemiecki tak wysoko, że stary przemysł angielski z zawzięcią i niepokojem nań spogląda, a przemysł francuski już na wielu polach musiał mu ustąpić. Jeżeli zaś uprzytomnimy sobie ten olbrzymi rozwój przemysłu dzisiejszego, jeżeli zważymy, ile tysięcy i setek tysięcy rodzin utrzymanie bytu swego zawdzięcza fabrykom, kolejom, fotografii choćby, zgodzimy się bez wahania, że przymierze nauki z techniką nie ogranicza się w ścianach pracowni, ale posiada też i niesłychaną doniosłość społeczną, potężniejsze jest nad wszelkie przymierza polityczne, potrójne i podwójne.

Wystawa mechanika rzuca nam przed oczy drobny obraz tego przymierza nauki z techniką, ale sprawiałaby nam więcej zadowolenia, gdyby to, co tu widzimy, u nas wyrobione było. Wszystko to wszakże, od precyzyjnych przyrządów mierniczych do aparatów szkolnych i aż do drobnych zabawek dzieciennych, wszystko to z Niemiec przybywa. Nauka nasza wyrosła już wprawdzie w pewnej mierze, zy-

skała moc niejaka; dopóki sobie jednak sama w domu radzić nie potrafi, pozostać musi importem zagranicznym.

Sławiąc tak znaczenie przyrządów w nauce, nie chciałem twierdzić bynajmniej, że są one wyłącznym jej czynnikiem, że cała jej budowa z nich się jedynie wznosi. Widzieliśmy, że w dziejach trojaki brała początek fizyka. Umysł ludzki domagał się wyjaśnienia przyrody kolejno od filozofji, matematyki i doświadczenia, a przedstawicielami tych trzech kierunków byli: Arystoteles, Archimedes i Galileusz. Trzy te czynniki i na dzisiejszą składają się fizykę, ale w porządku odwrotnym. Badanie bowiem każde rozpoczyna się od doświadczenia, a zebrany przez nie materiał ujmuje matematyka w prawa ogólne i z nich drogą dedukcji wnioski swe wyprowadza, gdy filozofja nauki ujawnia się w teorjach ogólnych, w hipotezach, rozległy obszar zjawisk obejmujących. O tych metodach wszakże, o tych drogach nauki nie, miejsce już przed sklepem mechanika prawić.



233837/1

Spis rzeczy.

	Str.
Przedmowa	1
1. Czas	8
2. Zagadka wnętrza ziemi	89
3. Historia gazów i ich znaczenie w nauce dzisiejszej	139
4. Przed sklepem mechanika.	190

W Zbiorach dalszych pomieszczone
będą szkice następujące:

Stulecie metra
O rozwoju sztuki mierzenia
Historja wynalazku i udoskonalenia termometru
Wymiary i budowa wszechświata według pojęć
obecných
O ruchu gwiazd stałych
Gwiazdy zmienne
O wazeniu ciał niebieskich
O wielkości światów zamieszkaných
Pierścień Saturna
Energja
Perpetuum mobile
Na kresach ciepła i zimna
W cieniu i na słońcu
O naturze pierwiastków chemicznych
Eter i jego znaczenie w fizyce dzisiejszej
Atom elektryczny
Stulecie galwanizmu
Okres lodowy w dziejach ziemi
O wysokości atmosfery
Balony po stuletnim rozwoju
O przepowiedniach w nauce
Człowiek i przyroda.

