JABŁKO NEWTONA

Bibl. Publ. m. st. W-wy
Nab. 65403

Bibl. Publ. m.st. W-wy

Wymiana

DR 2794

LEONARD KOROWAJCZYK

JABŁKO NEWTONA

O PODSTAWOWYCH PRAWACH MECHANIKI

KRAKÓW 1939

NAKŁADEM SPÓŁDZIELNI WYDAWNICZEJ „CZYTELNIK“

CZYTELNIA
OGÓLNA

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA
im. Jerzego Giedroycia w Białymstoku
FUW0380981

UNIWERSYTET w BIAŁYMSTOKU
BIBLIOTEKA
UNIWERSYTECKA
im. Jerzego Giedroycia

351403

DRUKARNIA NARODOWA W KRAKOWIE

D/122/2013

18000

WSTĘP

Uczeni twierdzą, że człowiek w swym życiu przechodzi te same stopnie rozwoju, co cała ludzkość w ciągu szeregu wieków. Tak samo z nieporadnego zwierzątka powoli staje się rozumniejszą istotą, lecz mało doświadczoną i źle myślącą. Potem przez wychowanie, naukę, obserwację otoczenia — zdobywa coraz większy zasób wiadomości, uczy się logicznie, to znaczy prawidłowo myśleć, aż wreszcie staje się dorosłym człowiekiem. Podobnie było z ludzkością od samego zarania jej bytu, kiedy człowiek z na pół zwierzęcia powoli stawał się istotą, która potrafiła stworzyć to, co nazywamy kulturą albo cywilizacją.

Gdzie jak gdzie, ale w zrozumieniu zjawisk natury, podobieństwo to jaskrawo występuje. Były czasy, kiedy ludzie tłumaczyli sobie całą otaczającą naturę przez wszelkiego rodzaju ukryte duchy i bóstwa, podobne zresztą do nich samych, tylko obda-

rzone nadprzyrodzoną mocą. Na każde pytanie dlaczego — była zawsze gotowa odpowiedź:

— Bo taki czy inny bóg powoduje to zjawisko.

Dlatego to religie pogańskie miały tak licznych bogów: dla każdego zjawiska natury był bóg i wobec tego nie trzeba było wiele tłumaczyć. Wszystko sprowadzało się do kaprysów bogów. Na przykład starożytni Egipcjanie nie łamali sobie głowy nad sprawą zachodu słońca. Gdyby kto o to pytał, to by się dowiedział, że bóg Ozyrys-słońce kładzie się spać. I cóż tutaj można było więcej powiedzieć, skoro ten wspaniały bóg tego sobie życzył: taka była jego boska wola.

Starożytni Grecy wyruszając na morze, zanosili modły do groźnego boga oceanu Posejdona. Gdy gniew ogarniał tego władcę morza, uderzał swym berłem-trójzębem o powierzchnię wody a spiętrzone fale morskie dawały znać struchlałym żeglarzom, że Posejdon jest w złym humorze.

Nawet najwięksi ówcześni mędrcy nie mogąc wytłumaczyć wiele zjawisk w sposób naturalny wprowadzali pomoc bożków. Jeden z największych, imieniem Tales z Miletu rozważając tajemnice otaczającego świata zawołał: „Wszystko jest pełne bogów". Inny znów filozof, żyjący 100 lat później,

uważał powietrze za istotę wprawdzie nie boską, lecz obdarzoną rozumem, podobnie jak człowiek.

A przecież i w naszych dawnych wierzeniach pogańskich bóstwa wypełniały cały świat. Kto rozsyłał błyskawice i grzmoty na świat, jak nie potężny bóg Perun? Iluż innych dobrych i złych duchów wypełniało lasy, bory, osiedla ludzkie i każdy kąt natury, gdzie tylko się działy rzeczy dziwne, tajemnicze, dla człowieka niezrozumiałe?

Trzeba było całych wieków, nieraz wielkich trudów i ofiar, aby odważnie powiedzieć, że tłumaczenie otaczających zjawisk, jako działania różnych bogów, nie jest ani jasne ani prawdziwe, że trzeba szukać w tych zjawiskach przyczyn naturalnych, przyczyn, które możemy poznać, a przez to zrozumieć, od czego jakieś zjawisko zależy, przewidzieć nawet naprzód wydarzenia w naturze. Jeszcze dzisiaj ludy nieoświecone wierzą, że zaćmienie słońca to sprawka złego ducha. Gdy to nastąpi płaczą i modlą się, aby nie zabrano im życiodajnego światła. Tymczasem astronomowie umieją obliczać na setki lat naprzód wszelkie zaćmienia, więc w zjawisku tym nie ma nic tajemniczego ani nadnaturalnego.

Jeżeli wyzwoliliśmy się z przesądów pogańskich bóstw, to dlatego, że ludzi zawsze trawiła ciekawość

poznania natury. Człowiek zawsze, od kiedy tylko zaczął jako tako myśleć, lubił zadawać pytanie „dlaczego". Na otrzymaną odpowiedź zadawał nowe pytania — i tak wciąż domagał się coraz lepszych, gruntowniejszych odpowiedzi. W ten sposób powstała nauka i naukowe badanie przyrody.

Stawianie pytań jest również sztuką. W Grecji starożytnej żył w V wieku przed Chrystusem mędrzec imieniem Sokrates, który tak dobrze umiał zadawać pytania, że nawet największych swoich przeciwników w ten sposób doprowadzał do przyznania mu słuszności. Kto umiejętnie zadaje pytanie, ten otrzymuje najlepszą odpowiedź.

Badanie natury podobne jest do zadawania pytań. W tym wypadku pytanym jest sama natura. Tylko, że jest to rozmówca milczący. Na nasze pytanie: dlaczego coś dzieje się w taki, a nie inny sposób, musimy odpowiedzieć sobie sami; przyroda tę odpowiedź albo potwierdza albo jej zaprzecza. Gdy potwierdza, to wszystkie fakty, dotyczące danego zjawiska, są zgodne z naszym tłumaczeniem.

Zobaczymy w dalszym ciągu, jak trudno było ludziom odpowiedzieć na krótkie pytanie: dlaczego przedmioty spadają na ziemię? Gdy zadano sobie to pytanie, to przez długi czas wypadały odpowie-

dzi mylne — i właśnie natura w swoich zjawiskach często zadawała kłam tym tłumaczeniom. Przez długie wieki ludzkość żyła w błędnym przekonaniu o tym, co to jest w rzeczywistości spadanie. Dopiero gdy przyszli ludzie, którzy zaczęli bardzo dokładnie podglądać różne zdarzenia w przyrodzie tj. jak gdyby umiejętnie zadawać tej przyrodzie pytania — znaleźli odpowiedź na wszystkie niemal zagadnienia, z którymi ich poprzednicy nie mogli dać rady.

Rozdział I.

WSZYSTKO ZALEŻY OD DOBREJ ODPOWIEDZI.

Z naturą to tak jak z sułtanem Muradem. Śniło mu się pewnego razu, że stracił wszystkie zęby. Natychmiast rozkazał wezwać opowiadacza snów i zapytał, jak ma taki sen rozumieć.

Wykładacz snów, padając przed władcą na twarz, zawołał:

— Nieszczęście panie! Każdy utracony ząb oznacza stratę jednego z twych krewnych.

Ogarnięty gniewem sułtan zawołał:

— Ty psie! jak śmiałeś powiedzieć mi coś podobnego? Wziąć go! Za takie tłumaczenie sto pałek w pięty!

Gdy ofiarę odprowadzono na miejsce kaźni, sułtan kazał zawołać innego tłumacza. Ten rzekł:

— O co za szczęście, panie! Cześć i chwała Allachowi! Przeżyjesz, potężny władco, wszystkich swoich krewnych!

Uradowany Murad odrzekł:

— Jesteś mądry, mój przyjacielu! Niech skarbnik mój wypłaci ci sto sztuk złota, które się tobie należą.

Można więc to samo powiedzieć, lecz w inny sposób. I wtedy groźny sułtan wypogodzi swoje oblicze.

W dawnych wiekach badacze natury, zwani filozofami, nieraz dawali na rozmaite zagadnienia trafne odpowiedzi, często jednak gruntownie się mylili. Każda zła odpowiedź wprawdzie nie przyprawiała ich o śmierć, dawała im jednak wiele powodów do zmartwień, ponieważ otaczająca przyroda prędzej czy później wykazywała całą błędność domysłów uczonych mężów.

Zjawiska w naturze po prostu nie zgadzały się z tym, co jakiś filozof o nich twierdził. Tak na przykład przez długi czas mniemano, że ziemia nasza jest płaska jak stół. Nawet Kościół odrzucał mniemanie, jakoby mogła ona być kulą. Jeszcze w wieku XIV spalono na stosie kilku uczonych za to, że dowodzili kulistości ziemi. A jednak później wielcy podróżnicy wykazali, że istotnie tak jest, bo ziemię można objechać naokoło i wrócić do tego miejsca, z którego się wyjechało, tylko z przeciwnej strony. Za złą odpowiedź sułtan Murad dawał sto pałek, przyroda natomiast na każde mylne tłumaczenie dostarczała setek i tysięcy innych zjawisk,

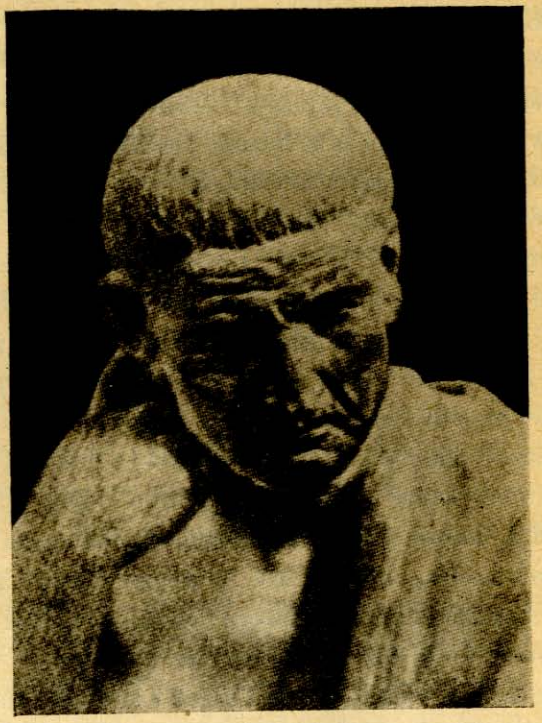
które najwyraźniej przeczyły poprzednim przypuszczeniom. Czasem sprostowanie pomyłki mędrca następowało bardzo prędko. W wielu jednak wypadkach mijały długie wieki, zanim wykryto, że takie lub inne tłumaczenie nie odpowiadało prawdzie.

Tak było właśnie ze zjawiskiem spadania przedmiotów.

Bardzo często widzimy dokoła siebie, że różne przedmioty spadają. Spadają w jesieni liście z drzew, spadają na ziemię krople deszczu, spada kamień wolno rzucony itd. Aby obserwować zjawisko spadania, można wziąć każdy dowolny przedmiot. Trzeba tylko chwili zastanowienia, aby zdać sobie sprawę, że jest to zjawisko godne uwagi.

Kiedy orzech kokosowy spada małpie na głowę, prawdopodobnie nie zastanawia się ona nad przyczyną spadania, tylko drapie się w to miejsce, gdzie nabiło jej guza. Człowiek tym się różni od małpy, że kiedyś w dalekiej swej przeszłości poza przykrością, jaka wynikała dla niego ze zjawisk spadania ciał, potrafił doszukać się w niej rzeczy ważniejszych i ciekawszych. Dlatego może dzisiaj stał się panem stworzenia, że jedyny ze wszystkich istot żyjących zadał sobie trud zbadania otaczającego świata.

Najstarsze znane nam tłumaczenie zjawiska spadania ciał dali filozofowie greccy, a spośród nich



Rys. 1. Mędrzec grecki Arystoteles.

najznakomitszy — Arystoteles. Żył on w IV wieku przed narodzeniem Chrystusa. Był to jeden

z największych umysłów jakie wydała ludzkość. Nauki jego częściowo przetrwały aż do dzisiejszego dnia. W czasach średniowiecznych w ogóle cała filozofia w Europie, a z nią i inne nauki, były całkowicie pod urokiem pism tego mędrca starożytności. Powaga jego wśród uczonych średniowiecznych była tak wielka, że nieraz w bardzo zawiłych sporach wystarczało rzec: „sam Arystoteles powiedział...", aby sprawę ostatecznie rozstrzygnąć.

Zrozumiałe jest, że taki umysł nie mógł się zadowolić byle jaką odpowiedzią na pytanie, dlaczego ciało spada, dlaczego nigdy nie zatrzyma się w drodze, zanim nie dosięgnie ziemi. W celu wyjaśnienia tej zagadki grecki mędrzec pouczał, że w naturze każde ciało ma wyznaczone sobie miejsce. Miejscem ciał, które zawierają w sobie ziemię i wodę, jest dół, natomiast ciała, złożone z powietrza i ciał lotnych muszą przebywać w górze. Każdy przedmiot zawsze dąży do swego miejsca, jeżeli jakaś przeszkoda nie stoi mu na drodze. Dlatego też wszelkie ruchy ciał Arystoteles dzieli na dwa rodzaje: 1) naturalne, 2) przymusowe. Gdy kamień opuszczony spada, czyli dąży do swego miejsca w przyrodzie — mamy ruch naturalny. Gdy ten sam kamień podnosimy w ręku do góry,

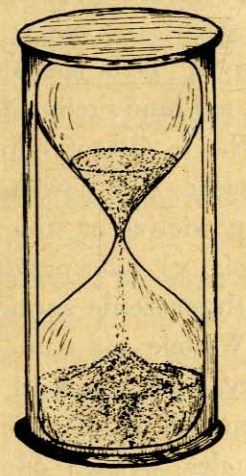
a więc pod przymusem zdąża on do miejsca, wcale nie dla niego przeznaczonego — mamy ruch przymusowy.

Nie uszło uwagi Arystotelesa, że ciała spadające poruszają się coraz prędzej. Jak to wytłumaczyć? Dlaczego poruszając się w kierunku swoich miejsc „naturalnych" ciała spadają ruchem zawsze przyśpieszonym, zaś inne ruchy odbywają się w sposób rozmaity? Na to filozof odpowiada, że przyczyną tego zjawiska jest powietrze: gdy rzucony przedmiot leci, powietrze za nim się zamyka i nadaje mu pchnięcia, co stale przyśpiesza jego ruch.

Dzisiaj takie tłumaczenie sprawia wrażenie bardzo naiwnego. Wydaje się nam to takim samym „prawem" natury, jakie wymyślił sobie jeden leniwy uczeń wstępnej klasy: gdy stoją dwie nierówne góry, to wierzchołek wyższej odpada i góry stają się równe.

Nie śmiejmy się jednak z greckiego mędrca. Dobrze nam krytykować, gdy mamy za sobą doświadczenie dwóch i pół tysięcy lat. Gdy Arystoteles zastanawiał się nad zjawiskami natury, to ludzkość była w swoim wieku niemowlęcym. I tak należy podziwiać, że ten starożytny uczony mając za narzędzie te kilka zmysłów i parę własnych rąk, potrafił

jednak opisać i tłumaczyć zjawiska natury, może nie bardzo trafnie, ale jak na tamte czasy bardzo przenikliwie i mądrze. Przecież były to czasy, gdy nie tylko nie było teleskopów, mikroskopów, elek-



Rys. 2. Przyrząd do mierzenia czasu w starożytności, t. zw. klepsydra. Miarą upływającego czasu był piasek (czasem woda) przesypujący się równomiernie z górnej połowy naczynia do dolnej.

tryczności ani radia, lecz nawet do mierzenia czasu nie było dokładnych przyrządów. Jako zegarek musiała służyć tak zwana klepsydra, którą dzisiaj sprzedają w sklepach z naczyniami, jako miernik czasu dla kucharki na ugotowanie jaj.

Tak sobie i innym tłumaczył Arystoteles przyczynę spadku ciał. Odpowiedź jego była zła, mylna, lecz na wykazanie tej omyłki trzeba było długo czekać, bo aż blisko 2 tysiące lat.

Poważną wadą greckich badaczy natury, było to, że za mało robili doświadczeń. Dużo rozumowali, kładli wielki nacisk na to, aby wszystko pięknie w rozsądną, albo, jak mówimy inaczej, logiczną całość się układało, lecz nie chcieli porównać dokładnie, swoich rozumowań z rzeczywistością. Za mało podglądali naturę w jej zjawiskach, za mało zmuszali tę naturę, aby w pewnych z góry obmyślonych doświadczeniach, zechciała potwierdzić lub zadać kłam rozumowym przypuszczeniom. I dlatego cały szereg faktów — drobnych, nieuchwytnych od pierwszego wejrzenia, wymykał się ich uwadze i utwierdzał w błędnym przekonaniu o słuszności własnych poglądów na przyrodę.

Przykładem takiego błędu, przez wieki całe niezauważonego, było twierdzenie Arystotelesa, że ciała cięższe spadają prędzej, lżejsze — wolniej. Dzisiaj wiemy, że tak nie jest, że nie ciężar, lecz najczęściej kształt przedmiotu wpływa na wolniejsze jego spadanie. Gdyby Arystoteles i inni filozofowie przerobili wszystkie te doświadczenia,

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA im. Jerzego Gladreycia

jakich dopiero w XVI wieku dokonał uczony mąż włoski Galileusz, to by może ludzkość wcześniej była wyprowadzona z tego mylnego poglądu na sprawę spadających ciał w naturze.

Warto nad tym się zastanowić...

1. Rzucamy kamień pionowo do góry. Obserwujemy pilnie jego ruch. Widzimy, jak leci coraz wolniej, aż się chwilowo zatrzyma i z początku powoli, potem coraz prędzej spada ku dołowi z powrotem. Czy szybkość jego przy ziemi będzie większa niż w górze, w tym miejscu gdzie zawracał?
2. Zbadamy czy ciało, spadając z większej wysokości, ma większą szybkość. — Zrobimy z miękkiej gliny kulę wielkości kurzego jaja. Spróbujemy zrzucać ją kolejno z okien: parteru, 1-go piętra, 2-go piętra itd. Czy rozpłaszczenie się kuli będzie coraz większe? Jeżeli tak, to o czym to świadczy?
3. Proszę ukręcić 2 zupełnie jednakowe kulki: jedną z gliny, drugą z waty. Zrzucić następnie jednocześnie z pewnej wysokości. Zaobserwować, czy obie jednocześnie spadną na ziemię. Warto zrobić to samo doświadczenie z trzema kulami.

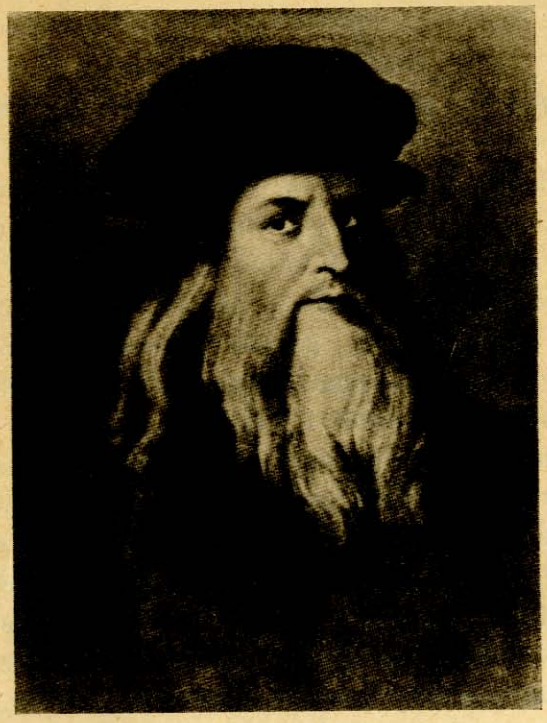
Rozdział II.

DO CZEGO SIĘ PRZYDAŁA WIEŻA PIZAŃSKA

„Zanim wysnujesz z tego wypadku prawidło ogólne, doświadcz go dwa lub trzy razy, bacząc czy doświadczenie wywołuje te same skutki".

Słowa te wyrzekł Leonardo da Vinci, jeden z największych geniuszów ludzkości. Znakomity malarz, rzeźbiarz i architekt, wielki uczony, przyrodnik, inżynier i budowniczy łączył w sobie talent artysty z głęboką wiedzą przyrodniczą. Żył w XV wieku i pozostawił po sobie nie tylko wiekopomne dzieła malarskie, lecz wiele płodnych dociekań przyrodniczych. Między innymi on pierwszy badał lot ptaków, aby zdobyte doświadczenie zamienić w praktyczny wynalazek maszyny latającej. On po raz pierwszy zrozumiał, że niektóre kamienie stanowią skamieniałe resztki zwierząt przedpotopowych i że badanie tych skamielin może nam opowiedzieć historię stworów żywych na ziemi. On również dokonał bardzo wielu ciekawych obserwacji

fizycznych. Nade wszystko zaś dla nas w tej chwili jest ważny fakt, że Leonardo da Vinci jeden



Rys. 3. Leonardo da Vinci (czyt. da Winczi), żył w latach 1452—1519
Jest to portret własny (namalowany przez niego samego).

z pierwszych zwrócił uwagę na to, że kto chce badać przyrodę nie powinien tylko rozmyślać nad nią,

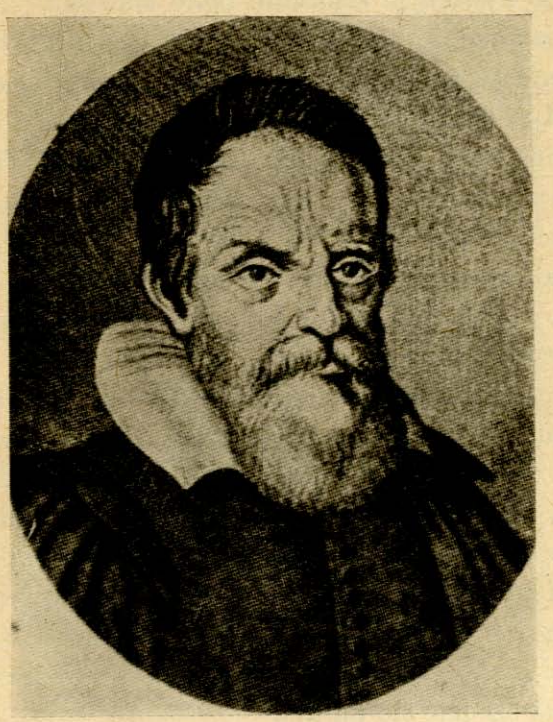
lecz musi przede wszystkim badać ją praktycznie, pilnie obserwując zjawiska natury, a jeżeli można, nawet wywołując sztucznie takie zjawiska.

Powtórzenie jakiegoś zjawiska przez człowieka, jedynie po to, aby lepiej mu się przyjrzeć nazywamy doświadczeniem. Leonarda da Vinci możemy nazwać ojcem doświadczenia w fizyce, bowiem on pierwszy zrozumiał, że prawa natury można z całą pewnością tylko wtedy ustalić, gdy potrafimy wykorzystać je w doświadczeniu. Często Leonardo mówił do swoich uczni: „mądrość jest córką doświadczenia".

Ci, co byli następcami Leonarda da Vinci w naukach fizycznych, całkowicie przyjęli i zastosowali zasady głoszone przez wielkiego poprzednika. Jego, testamentem dla nich były słowa: „Żadne badanie ludzkie nie może zwać się wiedzą prawdziwą, jeżeli nie przeszło próby doświadczenia matematycznego. A jeśli powiesz, że umiejętności, które zaczynają się i kończą w głowie, są prawdziwe, nie można zgodzić się na to".

Wkrótce po śmierci Leonarda da Vinci zjawił się jeden z największych fizyków wszystkich czasów, twórca podstaw współczesnej nauki fizyki Galileo Galilei. Urodzony w roku 1564

w mieście włoskim Pizie od wczesnego dzieciństwa zdradzał wielkie zamiłowanie do nauk, w szczególności nauk przyrodniczych. Zajmowały go wszelkiego rodzaju zjawiska fizyczne, których tysiące ob-



Rys. 4. Galileo Galilei, żył w latach 1551—1642.

serwował dokoła siebie. Gdy chodził do szkół, to uczono go jeszcze według dawnych sposobów. Powaga Arystotelesa była podówczas nadal bardzo wielka i każdy uczony w swoich dociekaniach dbał przede wszystkim o to, aby każda jego myśl była zgodna z pismami greckiego filozofa. Po tylu setkach lat, jakie minęły od czasów Arystotelesa — a przypominamy sobie, że ten żył w IV wieku przed Chrystusem — nauka, której jedyną troską było, aby nie stanąć w sprzeczności z pismami starożytnego mędrca, musiała być jałowa. Trudno było coś nowego odkryć w takich warunkach. Uczeni często spierali się o nazwy, często o brzmienie samych wyrazów, lecz żaden nie zatroszczył się o to, aby sprawdzić jakieś twierdzenie w praktyce, zrobić jakieś doświadczenie. A jeżeli czasem stawali wobec jakiegoś nowego faktu, który pismami Arystotelesa nie dawał się wytłumaczyć, to i na to znajdowali wybieg. Po prostu mówili o tak zwanych „własnościach ukrytych". Na przykład wiadomym było, że magnes przyciąga żelazo. Jak to wytłumaczyć? Dlaczego tak się dzieje? Odpowiadano: żelazo w pobliżu magnesu nabiera pewnej zdolności przedtem ukrytej; zdolność taka wyraża się w tym, że w obecności magnesu kawałek żelaza przy-

ciąga się do niego siłą tej właśnie zdolności. Tłumaczenie to było akurat takie same, jakby kto na zapytanie: dlaczego żelazo rdzewieje odpowiedział: — bo ma własność rdzewienia.

Młody Galileusz bardzo wcześnie zrozumiał, że tak postępując, do niczego się nie dojdzie. A ponieważ w młodości czytywał pisma Leonarda da Vinci i innych wielkich a zupełnie zapomnianych myślicieli, więc prędko doszedł do przekonania, że podstawą nauk przyrodniczych jest dokładna obserwacja i doświadczenie. Zaczął więc robić doświadczenia i opisywać ich wyniki w swoich dziełach.

W roku 1589 Galileusz został powołany na profesora uniwersytetu w Pizie. Na tym stanowisku pracując dalej nad zagadnieniami fizycznymi, wzbogacił swój dorobek całym szeregiem bardzo doniosłych odkryć. Wtedy to postawił on sobie za zadanie zbadać dokładnie w jaki sposób zachodzą różne zjawiska w naturze. Sądził słusznie, że zanim się odpowie na pytanie „dlaczego", trzeba sobie dokładnie uświadomić: „jak" coś się odbywa.

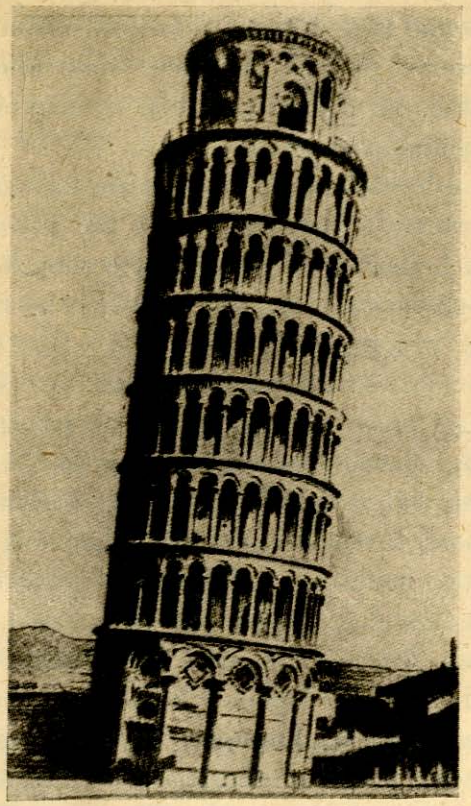
Zajął się przede wszystkim ruchem ciał. Gdy rozpoczynał swoje wykłady w Pizie wyrzekł następujące słowa:

„O przedmiocie bardzo starym rozpoczynamy naukę całkowicie nową. Nie ma w przyrodzie nic starszego nad ruch i pisma filozofów o nim są liczne i obszerne. Jednak poznałem wiele właściwości jego, w których liczbie znajdują się niektóre nadzwyczaj godne poznania".

Przez tyle wieków patrzyli ludzie na wszelkiego rodzaju ruchy w naturze i nigdy nie potrafili dokładnie ich zbadać. W wyżej przytoczonych bardzo skromnych słowach zaznacza Galileusz, że on pierwszy przystąpił do gruntownego zbadania zjawiska ruchu, przyczyn które go wywołują i praw, według których on przebiega.

Piękne i sławne jest rodzinne miasto Galileusza: Piza. Już w czasach starożytnych słynęła jako wielki port, a w średniowieczu była jedną z wielkich potęg handlowych. Gdy Piza utraciła swoją potężną flotę i podpadła pod panowanie jednego z licznych państw półwyspu Apenińskiego, zachowała jednak swoje piękno i była przez długi czas ośrodkiem życia naukowego i artystycznego.

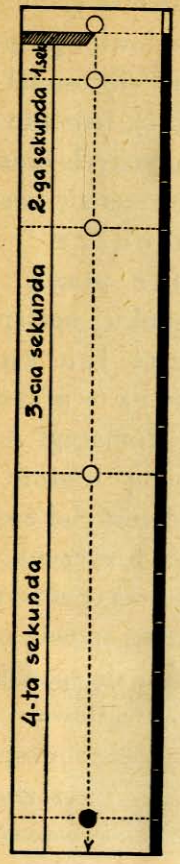
W środku miasta do dzisiejszego dnia stoi wspaniała katedra, zbudowana w XI wieku. W wieku XII niedaleko od niej postawiono potężną 8-piętrową wieżę, wznoszącą się na wysokość 55 metrów.



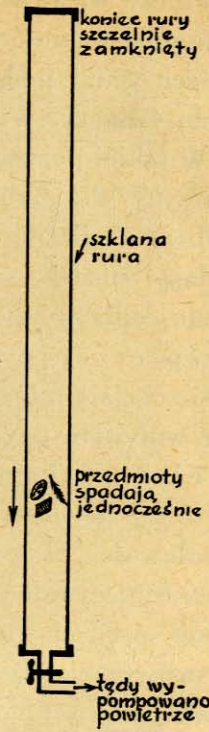
Rys. 5. Pochyła wieża w Pizie.

Budowniczy wieży widocznie źle zbadał grunt, na którym miał wznieść tak okazałą budowlę: po paru stuleciach grunt pod fundamentami się osunął na przeszło 4 metry. Wieża pochyliła się, lecz nie runęła. W takiej pozycji dotrwała do naszych czasów. Ten przykry dla architekta wypadek stał się bardzo szczęśliwą okolicznością dla Galileusza.

Badając spadek ciał Galileusz pragnął koniecznie obliczyć w jakim stosunku następuje przyśpieszenie ciał podczas ich spadku. Nie chciało mu się wierzyć, aby na to przyśpieszenie wpływało powietrze, jak to tłumaczył Arystoteles. W każdym razie, gdyby istotnie tak było, to nie powinno być przy spadaniu ciał żadnej prawidłowości. Skoro tak kapryśna przyczyna, jak powietrze, decyduje o tym, czy ciało ma spadać wolniej czy prędzej, to trudno przecież mówić o jakiejś uchwytnej regule w zachowaniu się spadającego ciała. Gdyby natomiast jakąś prawidłowość można było stwierdzić, to byłoby to oczywistym zaprzeczeniem teorii Arystotelesa. Aby rzecz zbadać należycie, trzeba ciało spadające obserwować na dłuższej przestrzeni. Pochyła wieża pizańska nadawała się doskonale do tego doświadczenia. Toteż wkrótce rozpoczął Galileusz zrzucanie różnych



Rys. 6. Ciało przy spadaniu w każdej następnej sekundzie przebiega coraz większe odcinki drogi.



Rys. 7. Doświadczenie, które wskazuje, że w próżni wszystkie ciała spadają jednocześnie. W szczelnej rurze szklanej umieszczono monetę, kawałek papieru i piórko. Zwykle najprędzej spada moneta, za nią papier, a następnie dopiero piórko. Jeżeli jednak wypompować z rury powietrze, to wszystkie trzy przedmioty spadną jednocześnie.

ciężarków z najwyższego tarasu wieży. Ustawieni na dolnych kondygnacjach pomocnicy notowali czas, kiedy ciężarek przelatywał przed ich oknem.

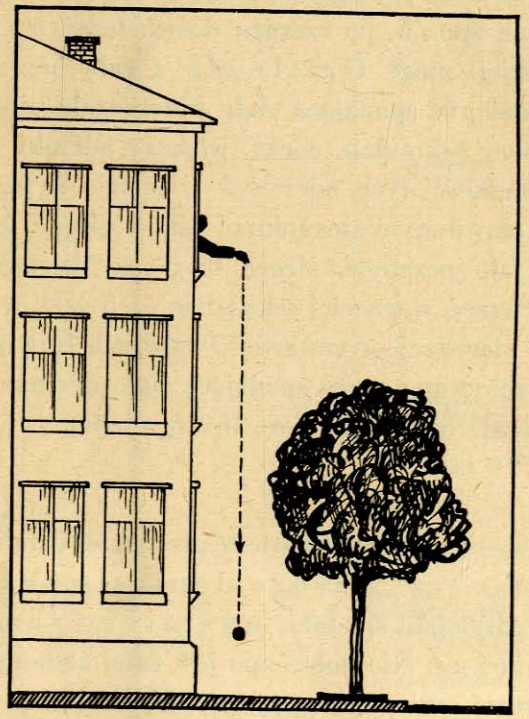
W ten sposób, po szeregu doświadczeń na wieży pizańskiej, mógł Galileusz z całą pewnością stwierdzić, że spadające ciała przebiegają w każdej następnej sekundzie coraz większe odcinki drogi, i że wielkości tych odcinków wzrastają w pewnym ściśle określonym stosunku. I tak w drugiej sekundzie ciało przebywa drogę trzy razy większą niż w pierwszej, w trzeciej sekundzie — 5 razy większą niż w pierwszej, w czwartej 7 razy itd. Innymi słowy przebywane przez spadające ciało odcinki drogi zwiększają się jak kolejne liczby nieparzyste t.j 1, 3, 5, 7, 9 itd.

W wyniku badań na wieży pizańskiej ustalił Galileusz trzy bardzo doniosłe prawdy.

1) Aby ciało spadało, wystarczy sam tylko ciężar. Nie potrzebna jest tutaj żadna pomoc powietrza, ani też z góry przewidziane i ustalone przez naturę, niby przydział służbowy, miejsce — jak to dotychczas wszyscy za Arystotelesem mniemali.

2) Wszystkie ciała spadają po linii prostej.

3) Wszystkie ciała mają jednakowe przyśpieszenia.



Rys. 8. Ciała, wolno puszczone, spadają po linii prostej.

A więc znów wbrew temu, co twierdził Arystoteles, że im cięższe ciało, tym prędzej spada.

Trzeba było wielkiej odwagi ze strony Galileusza, żeby tak nieoczekiwane wiadomości publicznie ogłosić. Jego koledzy z uniwersytetu nie mogli dopuścić nawet myśli, aby się znalazł taki śmiałek, który powadze Arystotelesa chciałby przeczyć.

Lecz Galileusz miał za sobą liczby — tego niezawodnego kontrolera wszelkiego doświadczenia. Wszak jeszcze mistrz Leonardo mówił, że „nie ma zgoła pewności tam, gdzie nie można zastosować jednej z nauk matematycznych, lub tych, które związane są z matematyką". Galileusz to wiedział i rozumiał, toteż liczby i wzory matematyczne, jakie ze swoich doświadczeń ustalił, były mu najlepszą tarczą przed sądem potomności. Bo przed współczesnymi nie zdołały go obronić. W roku 1592 za swoją nową „naukę o przedmiocie bardzo starym", za swoje prawdy, które pozostały dotychczas jako podstawowe w fizyce, został zmuszony do opuszczenia Pizy. Przeniósł się do Padwy, gdzie miał większą swobodę w głoszeniu swoich poglądów na zjawiska fizyczne.

Nie jedyny to raz Galileusz znosił przykrości od swoich współczesnych za głoszenie nowych prawd. Jedno z największych cierpień zadano mu u schyłku życia, gdy przez inkwizycję zmuszony zo-

stał do uroczystego wyrzeczenia się wyznawanej przez siebie nauki Kopernika o obrocie ziemi dokoła słońca, ponieważ naukę tę uznano za herezję. Pod koniec życia, zgnębiony podobnymi przejściami, usunął się w zacisze swej willi Arcetri, gdzie pozostawał pod nadzorem inkwizycji. Nie przestał jednak oddawać się umiłowanym przez siebie naukom, przede wszystkim astronomii, dopóki w r. 1637 nie utracił wzroku. Nie mając możności oglądania natury bezpośrednio, zgłębiał jej prawa myślą, mając zresztą za sobą tyle doświadczeń i tyle lat strawionych na badaniu zjawisk w naturze.

Galileusz dokonał wielu doświadczeń. Doświadczenia te były nieraz wprost odkryciami nowych faktów. Jeżeli była poprzednio mowa o podglądaniu natury, to on właśnie czynił to po raz pierwszy w dziejach nauki w sposób uparty i systematyczny. Jego prawa spadku ciał wytknęły nowe drogi badaczom. Nie wysnuł jednak on praw ogólniejszych. Nie mógł jeszcze stwierdzić tej prawdy, że to co się dzieje z kamieniem rzuconym ze szczytu pizańskiej wieży, to samo zachodzi z księżycem i innymi planetami. Że prawa spadania ciał były wyrazem jakiegoś jednego, powszechnego prawa natury — tego Galileusz nie wykrył.

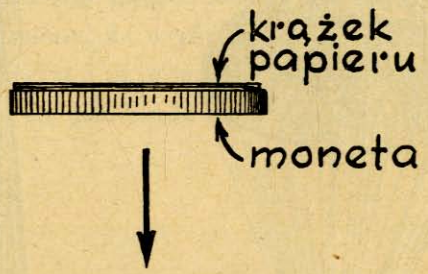
Złożyły się na to różne okoliczności. Czasy, jak widzieliśmy, nie były po temu, aby śmiałość dociekań posunąć dalej poza to, co Galileusz głosił. Teorię Kopernika o obrotach ciał niebieskich, potępiono jako herezję. Wielki myśliciel Giordano Bruno, głoszący nowoczesny pogląd na ustrój przyrody, został spalony na stosie. Każde dzieło które nie było zgodne z obowiązującymi zasadami, było palone uroczyście. Wszystkie przejawy innego sposobu myślenia, niż był ustalony od wieków, tępiono niemiłosiernie, wietrząc w każdej nowości herezję i kacerstwo. Ponadto wielkie odkrycia nie zjawiają się nagle i niespodziewanie. Nieraz zdarzało się w historii, że całe pokolenia gromadziły swoje doświadczenia i spostrzeżenia, zanim jakiś genialny uczony potrafił na podstawie bogatego zbioru prac swoich poprzedników wysnuć rzecz podstawową, nową, ogarniającą w jedną całość rozstrzelone myśli i uwagi żyjących przed nim badaczy. Galileusz nie miał przed sobą zbyt wielu poprzedników swojej myśli. Toteż musiał z początku sam zgromadzić jak najwięcej faktów niezbitych, sprawdzonych doświadczeń, wniosków niewątpliwych, zaś wypracowanie ogólnej teorii dotyczącej ruchów w naturze musiał pozostawić swoim na-

stępcom. I tak jak na jednego człowieka dokonał bardzo wiele. W historii ludzkości jest to postać jedna z najświatlejszych.

Warto się nad tym zastanowić...

1. Dwie monety: 5-groszowa i 1-groszowa różnią się oczywiście pod względem ciężaru, pierwsza jest cięższa od drugiej. Sprobujemy jednocześnie zrzucić je na podłogę. Czy uderzenie o podłogę będzie jednoczesne? Jeżeli tak, to czy jest prawdą, że ciała cięższe spadają prędzej?
2. Na wolniejszy spadek ciał wpływa ich kształt, który często powoduje zbyt wielki opór powietrza. Proszę wziąć kartę papieru i szpilkę. Papier oczywiście jest cięższy od szpilki. Staramy się jednocześnie opuścić te przedmioty na podłogę. Szpilka spadnie prędzej. Czy to znaczy, że ciała lżejsze prędzej spadają? Jeżeli nie, to czym wytłumaczyć wolniejszy spadek kartki papieru?
3. Gdy powietrze nie przeszkadza, wszystkie przedmioty spadają jednakowo. Oto jak można o tym się przekonać. Bierzemy monetę np. 50-groszową, wycinamy zupełnie taki sam (a nawet trochę mniejszy) krążek z papieru. Niewątpliwie papier

jest o wiele lżejszy od monety. Podobnie jak poprzednio jednocześnie opuszczamy te przedmioty na ziemię. Moneta doleci prędzej, bo papierkowi bardziej zawadzało powietrze. Za drugim razem jednak kładziemy krążek papieru na

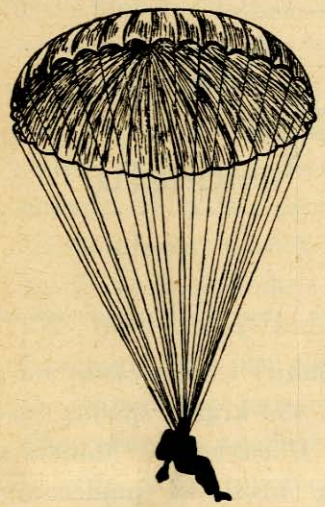


Rys. 9. Tak należy ułożyć monetę i krążek papieru przy doświadczeniu.

monetę (jak na rysunku) i opuszczamy na ziemię. Zauważymy, że oba krążki spadną razem, jakby były sklejone. Dlaczego? — Moneta niejako torowała drogę krążkowi papierowemu, który, nie potrzebując pokonywać oporu powietrza, nadąża za monetą.

4. Na czym polega pożytek spadochronu dla spadającego na ziemię lotnika?
5. Dlaczego kropla deszczu, chociaż spada z bardzo znacznej wysokości, nie ma zbyt dużej siły uderzenia?

6. Dlaczego bombom lotniczym, przeznaczonym do zrzucania z samolotów, nadaje się kształt podłużny, zaostrzony czyli, jak zwykło się mówić, kształt spadającej kropli.



Rys. 10. Spadochron.

Rys. 11. Bomba ma kształt spadającej kropli.

7. Wiadomo, że spadające ciało przebywa w pierwszej sekundzie spadania 5 m drogi. Ile sekund spadały ciężarki Galileusza, zrzucane z wieży pizańskiej, jeżeli wysokość jej wynosiła 55 m?
8. Ile sekund będzie spadał kamień ze szczytu wieży Eifla w Paryżu, jeżeli jej wysokość wynosi 300 m?
9. Lotnik wyrzucił z samolotu bombę, która spadła na ziemię po 10 sekundach. Sprobujmy obliczyć z jakiej wysokości musiała spadać bomba, aby na swoją podróż zużyć właśnie tyle czasu, skoro wiemy, że w pierwszej sekundzie spadała ku dołowi o 5 m, a w dalszych sekundach zachowywała się jak każde inne spadające ciało.

Rozdział III.

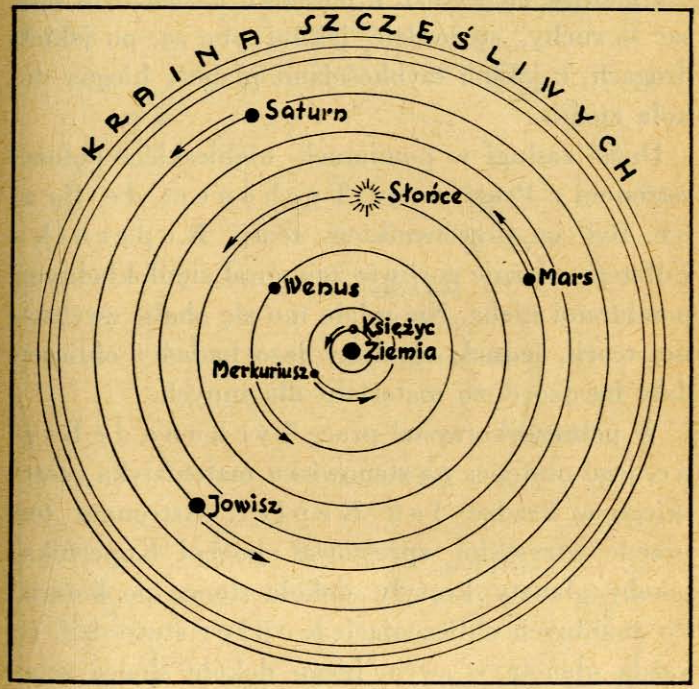
HISTORJA JEDNEGO SPADAJĄCEGO JABŁKA

Wiele wybitnych umysłów pracowało po Galileuszu, a nawet i współcześnie z nim, nad zagadnieniem ruchów ciał w przyrodzie. Jedni zajmowali się obserwacją ruchów na ziemi, inni starali się stwierdzić, w jaki sposób ciała niebieskie poruszają się w niezmierzonej przestrzeni wszechświata.

Przedtem uważano, że wszystkie ciała niebieskie krążą dokoła ziemi, umieszczonej w samym środku świata. Ruch ten miał się odbywać po drodze kołowej. Świat się wydawał bardzo prosty, więc uczeni astronomowie zajmowali się przede wszystkim obserwacją i przepowiadaniem ruchów gwiazd na niebie.

Gdy jednak Kopernik orzekł, że ziemia wcale nie jest środkiem świata, lecz sama, podobnie jak inne planety, od wieków krąży dokoła słońca, uczonym przybyło wiele nowych zmartwień. Trzeba było

teraz ruchy niektórych gwiazd zwanych planetami, jakoś inaczej wytłumaczyć. Wszystkie kalendarze



Rys. 12. Tak sobie wyobrażano przed Kopernikiem rozmieszczenie wszystkich ciał niebieskich we wszechświecie.

astronomiczne trzeba było pozmieniać. Rozumiemy teraz dlaczego współcześni tak niechętnie godzili się na nowy kopernikański ustrój wszechświata.

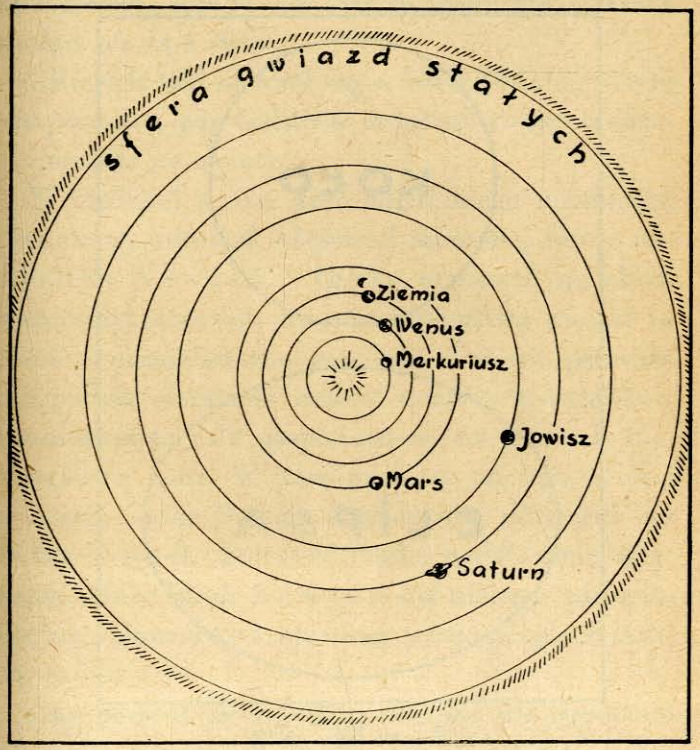
I oto uczeni zabrali się do pilnych obserwacyj nad ruchami ciał niebieskich. Znów, podobnie jak dla zjawisk ziemskich, z początku trzeba było opisać te ruchy, stwierdzić jakimi one są, po jakich drogach, z jakimi szybkościami planety biegną dokoła ziemi.

Duże zasługi w pomiarach niebieskich położył astronom z Pragi zwany Tychonem de Brahe. Był on przeciwnikiem teorii Kopernika i dlatego właśnie gorliwie zajmował się dokładnymi pomiarami nieba. Nie udało mu się obalić zwalczanej teorii, jednak rezultaty jego badań i obliczeń dały bardzo dużo materiału dla innych.

W pełni wykorzystał pracę Tychona de Brahe, jego następca na stanowisku matematyka cesarskiego w Pradze Jan Kepler. Astronom ten przede wszystkim sprostował pogląd Kopernika, jakoby planety krążyły dokoła słońca po kołach. Po żmudnych obliczeniach Kepler stwierdził, że każda planeta w swym biegu dokoła słońca zatacza elipsę. Ponadto ustalił Kepler prawa ruchów planet, ich czasy obiegu i stosunki jakie wiążą czas obiegu z odległością planety od słońca.

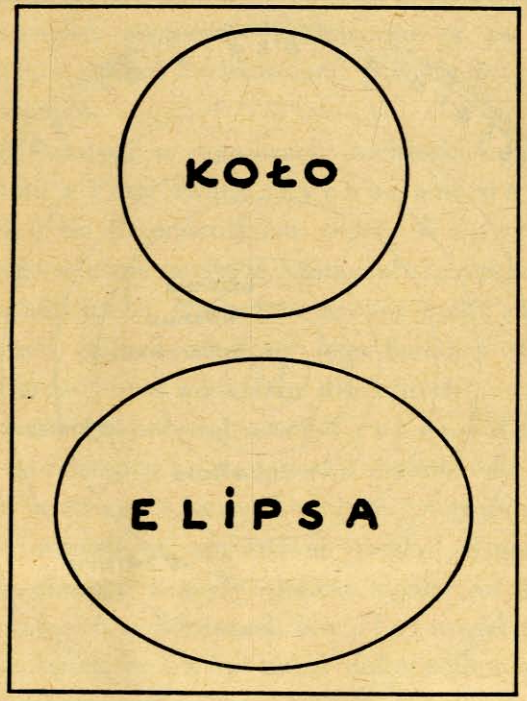
Szereg innych uczonych dorzucało swoje wyniki do obserwacyj i obliczeń tych wielkich astronomów.

Wszystko to składało się na coraz mocniejsze ugruntowanie systemu Kopernika. Wszechświat, z poruszającymi się w nim ciałami stawał się coraz dokładniej znany, coraz wszechstronniej zbadany.



Rys. 13. W rzeczywistości nasz układ słoneczny wygląda tak, jak to opisał i udowodnił Kopernik.

Wyniki badań wielu uczonych nie były ze sobą powiązane. Każdy ustanawiał jakiś niewątpliwy fakt, niezbitą prawdę, lecz świat czekał na wytłumaczenie wszystkich znanych zjawisk przez jedną, wszechogarniającą teorię. Świat czekał



Rys. 14. Koło elipsa.

na narodzenie człowieka, któryby rozstrzelone wysiłki uczonych mężów zebrał w jeden wielki i piękny system, stanowiący zwarty, jednolity i prosty pogląd na nasz świat.

Człowiek taki urodził się w roku 1642 tj. w tym samym roku, gdy Galileusz zamknął swoje strudzone powieki na zawsze.

W niedużej wiosce koło angielskiego miasteczka Grantham, mieszkał właściciel skromnej fermy nazwiskiem Newton.[1] Ciężko pracował na chleb codzienny, więc też przyrost potomstwa uważał za rzecz w gospodarstwie pożądaną. Los nie pozwolił mu jednak doczekać dzieci: zmarł przedwcześnie, pozostawiając całe gospodarstwo na barkach nieszczęśliwej żony. W parę miesięcy po jego śmierci w czasie świąt Bożego Narodzenia przyszedł na świat — synek, któremu matka nadała imię ojca: Izaak. Mały Izaak Newton był słabego zdrowia; drobny, chorowity i nerwowy wymagał pieczołowitej opieki.

Gdy poszedł do wiejskiej szkółki nie wyróżniał się zgoła niczym. Również, gdy zaczął uczęszczać do szkoły w Grantham, bynajmniej nie był pierwszym uczniem, często jednym z ostatnich. Pilnością

[1] czytaj: Njuton.

nie grzeszył, z arytmetyki zawsze miał zły stopień, a był tak nieuważny, że tylko słabe zdrowie ratowało go przed zbyt częstym wystawaniem w kątach klasy. W ogóle robił wrażenie dziecka, z którego ani na roli ani przy książce pociechy nie będzie. Okazało się jednak, że właściwa natura małego Izaaka była jakby w uśpieniu. Pewnego dnia dostał on porządne lanie od chłopca, który był prymusem w klasie. Izaak był chłopcem bardzo ambitnym. Nie mogąc napastnika pokonać siłą, postanowił zwyciężyć go w nauce. Postanowił zostać prymusem. Zaczął się uczyć, pracy nie żałował, a jak się okazało zdolności mu wcale nie brakowało. Cel swój osiągnął i wkrótce dokonał szlachetnej zemsty na chłopcu, który go pobił. Stał się prymusem klasy.

Odtąd Newton zasmakował w nauce. Odkrył w sobie skłonności do gruntownego badania różnych zjawisk, do zgłębiania ich przyczyn i robienia doświadczeń. Gdy inni chłopcy bawili się wesoło w towarzystwie kolegów, Newton był pogrążony w rozmyślaniach nad budową wiatraczków, zegarków wodnych i słonecznych i innych zabawek, które go pociągały wykrytymi nowymi własnościami.

Gdy Newton miał lat 15 matka powtórnie

owdowiała. Trzeba było pomyśleć o pomocy osamotnionej pani Newton. Izaak wrócił na wieś. Niewielka była jednak z niego pociecha. Nie nadawał się do pracy fizycznej, nie miał też żadnych po temu chęci. Toteż zarząd sprawami gospodarskimi w jego ręku szedł nieświetnie. Gdyby nie matka, prawdopodobnie prędko byłoby po fermie. Jeździł czasem w sobotę na targ do miasta sprzedawać zboże, ale i tam robotę całkowicie zdawał na parobka, a sam zasiadał gdzieś w ustroniu pod płotem do rozwiązywania zagadnień matematycznych. Albo szedł do swego znajomego pana Stokesa, który miał niezły księgozbiór i zagłębiał się na długie godziny w czytaniu dzieł z dziedziny filozofii i przyrodoznawstwa.

Miał Newton wuja, wykształconego pastora. Ten rozumiał najlepiej, że miejsce Newtona jest nie w gospodarstwie rolnym, lecz na uniwersytecie. Namówił też matkę, aby spróbowała oddać syna do sławnej już podówczas wyższej uczelni w mieście Cambridge.[1] Kariera Newtona została zdecydowana: trafił tam, gdzie natura go przeznaczyła.

Na uniwersytecie szybko uzupełnił braki w posiadanych wiadomościach, a nawet zwrócił

[1] czytaj: Kembridż.

uwagę profesorów swymi zdolnościami. W tym czasie dokonał już paru ważnych odkryć naukowych.

Rys. 15. Izaak Newton, jeden z największych uczonych wszystkich czasów, żył w latach 1642—1727.

Mając 23 lata uzyskał pierwszy stopień naukowy, mianowicie tak zwanego bakałarza. W tym czasie wybuchła w Cambridge epidemia dżumy, wobec czego Newton wyjechał na wieś do matki. Tutaj długie godziny spędzał na rozmyślaniu nad swoimi pomysłami, które zrodziły się jeszcze na uniwersytecie.

Podanie głosi, że gdy tak pewnego dnia siedział na swoim ulubionym miejscu w ogródku pod jabłonią, zasadzoną ręką ojca, spadło mu pod nogi dojrzałe jabłko. Nasunęło to Newtonowi na myśl pytanie: dlaczego jabłko spada? Pytanie, na które od wieków prawdopodobnie ludzie odpowiadali, że spada dlatego, bo wszystkie ciała nie zatrzymywane przez jakąś siłę, spadają na ziemię. Fakt to był zapewne taki zwykły, naturalny, że samo pytanie: dlaczego coś spada? musiało się wydawać nie bardzo mądrym. Newton jednak sobie takie pytanie zadał — i postanowił na nie gruntownie odpowiedzieć.

Podejrzenie jakie nasunął mu fakt spadającego jabłka to była myśl, że ziemia przyciąga je ku sobie. Przyciąganie ziemi zmusza jabłko do tego, aby podążyło w kierunku tej ziemi. Ziemia przyciąga wszystkie ciała, dlatego wszystkie ciała muszą „spadać" na ziemię. To samo przyciąganie musiałoby trzymać jak na uwięzi ciała, które od

ziemi chcą uciec. Takim ciałem jest wierny (pod przymusem siły przyciągania) towarzysz ziemi — księżyc.

Lecz jeżeli ziemia trzyma na tej uwięzi księżyc, to chyba również sama jest trzymana na podobnej uwięzi przez słońce, skoro dokoła niego od wieków musi krążyć. A więc prawdopodobnie siła przyciągania jest własnością wszelkiej materii we wszechświecie, niezależnie od tego czy to będzie jabłko, czy bryła planety lub słońca.

Taka była pierwsza myśl Newtona. Należało ją teraz sprawdzić rachunkiem.

Gdy tylko czas zarazy minął i można było bezpiecznie wrócić w mury Cambridge, Newton natychmiast zasiadł do rozwiązania zagadnienia spadającego jabłka.

Należał on do ludzi, którzy swej pracy oddają się całkowicie. Gdy go jakieś zagadnienie pochłonęło — zapominał o całym świecie. Nieraz zdarzało się, że udając się na spoczynek, po całodziennej znojnej pracy, w trakcie rozbierania się siadał na brzegu łóżka, z utkwionym w jeden punkt wzrokiem i zostawał w bezruchu. Brzask poranka zastawał go w tej samej pozycji, pogrążonego w głębokim zamyśleniu. Można by dosłownie powiedzieć, że wytężona praca umysłowa spędzała mu sen z powiek. W tym również czasie przytrafiła mu się następująca zabawna historia.

Pewnego dnia nowy pomysł wpadł Newtonowi do głowy. Rozpoczął obliczenia. Kartki papieru jedna po drugiej pokrywały się cyframi, wzorami, rachunkami i różnymi tajemniczymi kreskami. Uczony siedział, zagrzebany w obliczeniach, nie pamiętając o Bożym świecie. Przyszła pora śniadania. Służąca znając obyczaje swego pana, przyniosła mu posiłek do gabinetu.

— Proszę pana, śniadanie na stole.

— Dobrze, dobrze, za chwilę zjem.

— Niech pan zje zaraz, bo znów wystygnie.

— Idę, idę — już za chwilę...

Służąca odeszła. Oczywiście Newtonowi niesposób było oderwać się od rozpoczętych rachunków. Z tej okoliczności skorzystał ulubieniec Newtona pies Diament, który zawsze dostawał swoją porcję przy jedzeniu swego pana. Widząc widocznie, że nie zanosi się na to, aby prędko mógł dostać przypadającą mu rację, wlazł na stół i rozporządził się jadłem tak, jak uważał za stosowne to znaczy, że zjadł wszystko.

Gdy Newton po dobrych paru godzinach wreszcie zakończył swoje rachunki, postanowił coś zjeść. Przypomniał sobie o zastawionym śniadaniu. Lecz gdy podszedł do stołu zobaczył tylko puste talerze.

— To dziwne, zdawało mi się, że nic nie jadłem, tymczasem widzę, że śniadanie dawno już spałaszowałem.

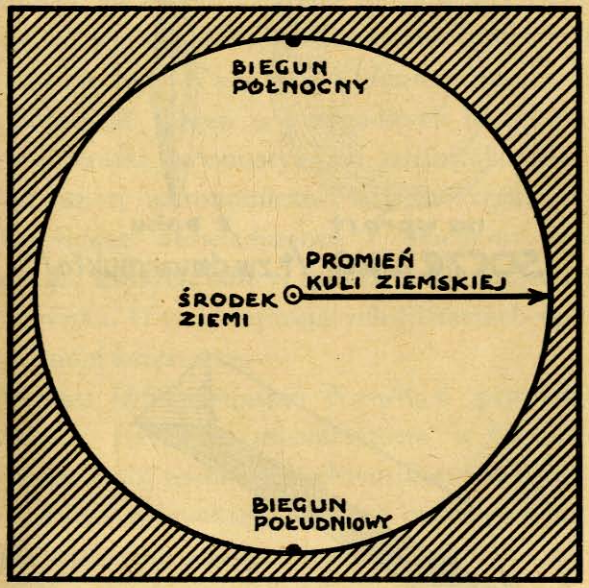
Z tymi słowy nabił sobie fajkę, jak to zwykł był czynić po jedzeniu, i zasiadł do dalszej pracy.

Niestety jednak wyników pożądanych nie osiągnął. Rachunki nie doprowadziły do spodziewanych rezultatów. Pierwsza myśl, dla której położył tyle pracy okazała się mylną — w każdym razie tak mogło się zdawać, bo rachunek nie potwierdził przypuszczenia, powziętego pod jabłonią na wsi.

Newton nie należał do ludzi, którzy łatwo się zrażają. Z natury był człowiekiem cichym i łagodnym, jednak w pracy zawziętym, upartym i wytrwałym. Niepowodzenia nie hamowały jego rozpędu i nieraz do tego samego zagadnienia brał się kilkakrotnie. Z jakim spokojem reagował na swoje niepowodzenia, świadczyć może następująca historia.

Pewnego razu siedział uczony nad swoimi książkami i zwojami zapisanych kartek. Diament niespokojnie uwijał się po pracowni. W pewnej chwili

pies fajtnął ogonem i wywrócił lichtarz z palącą się świecą na papiery, zawierające wyniki kilku tygodni obliczeń. Większość notatek spłonęła. Na to

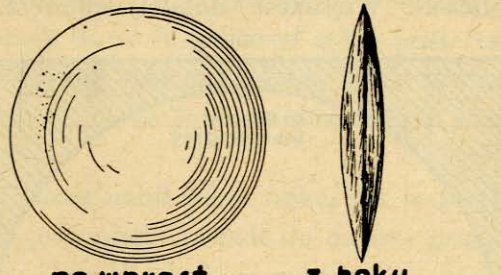


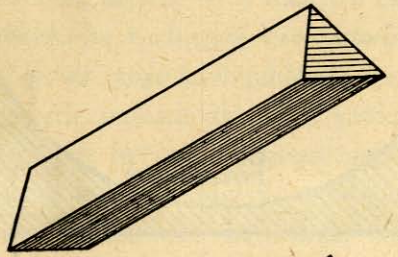
Rys. 16. Promień kuli ziemskiej jest to odległość od powierzchni ziemi do jej środka. Wynosi on średnio 6378 kilometrów.

Newton spokojnie odezwał się do swego ulubieńca:

— Ty, biedaku, nawet się nie domyślasz, ile pracy zniszczyłeś jednym machnięciem swego ogona.

Niespodzianka jednak, jaką sprawiły mu rachunki, rzekomo zadając kłam powziętej teorii, była tak





Rys. 17.

wielka, że Newton na dłuższy czas zaniechał tej pracy. Dopiero po 15 latach zabrał się na nowo do tej roboty. Jak się potem okazało przyczyna niepo-

wodzenia leżała w tym, że źle był zmierzony promień kuli ziemskiej. Wielkość ta odgrywała w rachunkach Newtona bardzo ważną rolę. Nic więc dziwnego, że skoro wziął on do obliczeń fałszywą liczbę, to wyniku dobrego nie można było uzyskać.

Zajął się tedy Newton badaniem natury światła. Kupował nieraz u przygodnych handlarzy na ulicy soczewki, pryzmaty, sam szlifował szkła, budował lunety astronomiczne, a jednocześnie wykonywał liczne doświadczenia z dziedziny światła, w wyniku których odkrył bardzo interesujące i ważne zjawiska. O tych zajmujących historiach opowiemy w innej książeczce.

W roku 1669 obejmuje Newton prowadzenie wykładów fizyki na uniwersytecie w Cambridge, a w roku 1672 zostaje członkiem Londyńskiego Towarzystwa Królewskiego. W tym czasie jest już sławnym uczonym, znanym szeroko w kraju i za granicą. Ma za sobą bardzo dużo cennych odkryć naukowych, w szczególności w dziedzinie nauki o świetle i matematyki.

Przez cały ten czas nie zapomniał jednak o niepowodzeniu, jakie spotkało go przed laty w związku ze sprawą spadającego jabłka. Myśl o tym, że przecież trzeba znaleźć jakąś ogólną teorię na różno-

rodne warunki ruchu w przyrodzie, nie dawała mu spokoju. Tak się złożyło, że w roku 1682 uczony nazwiskiem Picard[1] dokonał bardzo dokładnego pomiaru promienia ziemskiego. Wynik pomiaru różnił się od tego, jaki służył za podstawę do obliczeń Newtona przed 15 laty.

Newton zabrał się na nowo do roboty: wrócił do swych dawnych rachunków, mając nowe podstawy ku temu. Znów śniadania stygły godzinami nie ruszane. I może również nie raz jeden powtórzyła się historia z psem. Wreszcie rachunki dobiegały końca. Wszystko wskazywało na to, że teraz teoria okaże się słuszną. Newton był tym tak wzruszony, że po prostu nie mógł dalej pracować. Wykończenie rachunków pozostawił swoim uczniom, bo zdenerwowanie, jakie ogarnęło go wskutek tak wspaniałych wyników, czyniło go po prostu nieprzytomnym.

Starożytni opowiadają legendę, że bogini rozumu i wynalazczości Minerwa narodziła się w ten sposób, że po prostu wyskoczyła z głowy boga nieba Jowisza. Dlatego dzisiaj często się mówi, że coś „wyskoczyło jak Minerwa z głowy Jowisza“,

[1] czytaj: Pikar, z akcentem na literze »a«.

chcąc przez to powiedzieć, że coś się stało niespodziewanie, bez jakichkolwiek znanych przyczyn.

Otóż teoria Newtona nie wyskoczyła z jego głowy, jak Minerwa z głowy Jowisza. Nawet ta opowieść o jabłku, które pierwsze nasunęło Newtonowi myśl o prawie powszechnego ciążenia, nie koniecznie musi być prawdziwa. Niewątpliwie, że musiał on długo rozmyślać nad sprawą, zanim wpadł na taki a nie inny pomysł. Nawet sam często wyznawał, że zanim coś wykryje lub napisze, uprzednio bardzo długo i głęboko rozważa. „Jeżeli oddałem ludzkości na tej drodze pewne usługi, zawdzięczam to jedynie pilności i cierpliwemu rozmyślaniu“ — pisał w liście do jednego ze swoich przyjaciół. To, że po 15 latach potrafił zabrać się do pracy, którą wydawało się, że zupełnie już zarzucił, świadczy jak przywiązany był do tej idei i jak przez długie lata nie mógł się z nią rozstać. Przyjrzyjmy się jednak bliżej odkryciom Newtona.

Warto się nad tym zastanowić...

1. Jakie zjawiska z życia codziennego świadczą nam o sile przyciągania ziemi?
2. Dlaczego kamień rzucony do góry nie ucieka ku gwiazdom, lecz wraca na ziemię?

3. Jaką siłę muszą pokonywać robotnicy, dźwigając cegły na szczyt budującego się gmachu?
4. Po podniesieniu stawideł młyn wodny rusza. Gdzie tu jest działanie siły przyciągania ziemskiego?

Rozdział IV.

POZNAJEMY PRAWA NEWTONA

W roku 1686 Newton przesłał Towarzystwu Królewskiemu rękopis swego dzieła, które nosiło tytuł „Matematyczne Zasady Filozofii Naturalnej". W owych czasach przez filozofię naturalną rozumiano w ogóle naukę o przyrodzie, w szczególności fizykę. Dzieło zawierało wykład i uzasadnienie teorii powszechnego ciążenia. Teoria ta mówiła, że we wszechświecie istnieje jedna, wszechogarniająca siła, zaznaczająca się tym, że każda cząstka materii w świecie, niezależnie od tego czy jest duża czy mała, wywiera wpływ przyciągający na każdą jakąkolwiek inną cząstkę materii.

Sprobujemy podążyć ścieżką myśli Newtona. Oto widzimy dokoła siebie poruszających się ludzi. Również często oglądamy, jak się poruszają martwe przedmioty. Koń ciągnie wóz ładowny. Chłopak rzuca kamień. Robotnik pcha taczkę przed

sobą, przewozi cegły z jednego miejsca na drugie. Gracz w kręgle rzuca kulą, która daleko się toczy przewracając po drodze ustawione klocki.

Każda taka czynność łączy się w naszym wyobrażeniu z jakimś wysiłkiem. Jeżeli chcemy coś poruszyć, to musimy to uczynić kosztem wysiłku naszych mięśni. Stąd pochodzi również wyrażenie o sile. Powiadamy, że „pchamy z siłą", na to aby to podnieść „trzeba znacznej siły", rzucamy coś „z siłą" itd.

Nieraz jednak i przedmioty martwe powodują ruch. Przecież lokomotywa nie jest żywym stworem, a jednak porusza się. I jeszcze jak! Zegarek, w którym jest ukryta napięta sprężyna, nadaje ruch wskazówkom. Wiatrak pod wpływem wiatru obraca się — nieraz nawet bardzo szybko. Ten sam wiatr nadaje ruch statkom żaglowym.

Ponieważ z własnej praktyki wiemy, że nie można nadać jakiegoś ruchu lub go zmienić bez pewnego wysiłku, więc też i o przedmiotach martwych często myślimy, że wydają z siebie pewien wysiłek, albo częściej: „mają siłę". Dlatego mówimy o sile pary w lokomotywie, o sile wiatru poruszającego wiatrak i żaglowiec, o sile wody obracającej koło młyńskie itd.

Widzimy więc, że słowo „siła" często oznacza nie tylko nasz własny, lecz w ogóle jakikolwiek wysiłek, jeżeli sprawia on jakiś widoczny skutek. Jest to dla nas tak zrozumiałe, że często nawet nie zastanawiamy się nad istotą sprawy tzn. nad pytaniem: co to jest siła i jak ją można zmierzyć? W życiu codziennym taki sposób rozumienia siły zupełnie wystarcza. Lecz w nauce jest tak: jeżeli używam jakiegoś słowa, to muszę dokładnie wiedzieć, co ono oznacza i w jakich wypadkach czy do jakich przedmiotów wolno go stosować. Jeżeli się nie przestrzega tego nakazu, to często rozmowa czy rozumowanie do niczego nie prowadzi. Nieraz zdarzały się takie wypadki i z wielkimi uczonymi, że gdy jeden mówił o jakiejś rzeczy, drugi myślał, że dana nazwa oznacza co innego — i oczywście kłótnia nie mogła dać żadnych wyników i wykazać kto miał rację. Jeżeli się nie zna dokładnie znaczenia wyrazów, to łatwo może się przytrafić to, co się zdarzyło w jednym z austriackich pułków.

Kapitan wydał rozkaz do sierżanta: „Jutro będzie zaćmienie słońca, co nie zdarza się codziennie. Każecie wyruszyć ludziom o 5 rano w zwykłym, codziennym ubraniu. Niech zobaczą to rzadkie zjawisko, które potem wytłumaczę. Jeżeli będzie padał

deszcz, nic nie będzie można widzieć i ludzie pozostaną w sali".

Wachmistrz do plutonowego: „Na rozkaz pana kapitana jutro o 5 rano będzie zaćmienie słońca w codziennym ubraniu. Pan kapitan da wam po zaćmieniu wytłumaczenie, że to nie zdarza się codziennie. Jeżeli będzie deszcz, nie będzie nic widać i zjawisko odbędzie się w sali".

Plutonowy do kaprala: „Z rozkazu pana kapitana jutro o 5 rano będzie przedstawienie zaćmienia słońca przy pełnym ćwiczeniu. Pan kapitan da w sali wytłumaczenie tego rzadkiego zjawiska. Jeżeliby padał deszcz to się nie wydarza codziennie".

Kapral do żołnierzy: „Jutro o 5 rano zaćmi pan kapitan słońce w codziennym ubraniu z wytłumaczeniem. Jeżeli będzie padał deszcz, to rzadkie zdarzenie odbędzie się w sali".

Żołnierze między sobą: „Jutro o 5 rano słońce w pełnym ćwiczeniu zaćmi pan kapitan w sali z wytłumaczeniem. Jeżeli będzie deszcz, to rzadkie zdarzenie odbędzie się w codziennym ubraniu, co się nie zdarza codziennie".

Słowo, oznaczające jakiś przedmiot albo nazwę rzeczy zjawiska, czynności itd. nazywa się w języku naukowym terminem. T e r m i n — to słowo które

powinno być bardzo dokładnie znane przez tego, kto go używa.

Przed N e w t o n e m nieraz był używany termin „siła". Już i L e o n a r d o d a V i n c i często mówił o sile; podobnie G a l i l e u s z w swoich pismach rozważa nawet siły, stara się nieraz je mierzyć. Nikt jednak nie umiał dokładnie powiedzieć, kiedy mamy coś nazywać siłą, a kiedy nie. Każdy używał tego słowa tak jak mu się podobało.

Otóż N e w t o n powiedział sobie, iż trzeba najpierw jakoś wyraźnie określić, co będziemy nazywali w przyrodzie siłą. Uważał, że termin ten powinien być zupełnie jasny, nie może w sobie kryć jakichś dwuznaczności, niedokładności, a nade wszystko trzeba go tak jakoś określić, aby można było podać jego miarę. W fizyce tylko to ma znaczenie, co można zmierzyć, czyli wyrazić w liczbach. Co się nie daje zmierzyć, o tym fizyka nie chce rozmawiać.

Aby dać dokładne określenie siły postanowił N e w t o n przede wszystkim ustalić, co będziemy uważali za p r z y c z y n ę r u c h ó w c i a ł.

Znów wypadnie nam przypomnieć staruszka A r y s t o t e l e s a. On i jego następcy widzieli dokoła siebie i codziennie stwierdzali fakt, że każdy

ruch z czasem ustaje, zamiera. Jak można było tę okoliczność wytłumaczyć? Powiadali więc, że każdy ruch odbywa się dlatego, że jakaś przyczyna stale ten ruch podtrzymuje. Gdy przyczyna znika lub przestaje działać — ruch także ustaje. Ruch więc musi być ciągle podsycany przez jakąś siłę, bo bez niej nie może się odbywać. Tak uczył Arystoteles i ci, co po nim przyszli.

Zresztą co mamy wypominać starożytnemu mędrcowi, jeżeli sami często zupełnie w podobny sposób rozumujemy. Czyż nie wydaje nam się, że gdy jakieś ciało się porusza, to musi być koniecznie siła, która ten ruch podtrzymuje? Do tego stopnia głęboko jesteśmy o tym przekonani, że gdy widzimy ruch, którego przyczyny nie znamy i nie rozumiemy, to gotowiśmy sądzić, że dzieje się coś magicznego. Nie tak dawno nasi przodkowie nie chcieli jeździć lokomotywą, bo to przecież nie wiadomo za sprawą jakiego złego ducha ta cała maszyna — tak bez konia, bez uprzęży — sama porusza się. Dzisiaj nie mamy obaw przed maszynami, niemniej jednak tkwimy często w tym błędzie, że ruch musi być podtrzymywany przez jakąś siłę.

Newton już na podstawie doświadczeń i nauki Galileusza, wypowiedział prawo, które zadało kłam mniemaniom o istotnych przyczynach ruchów ciał w naturze. Prawo to brzmi: „Każde ciało w przyrodzie pozostaje zawsze w spoczynku, albo wiecznie się porusza po linii prostej z niezmienną szybkością, o ile tylko jakaś siła nie zmieni jego stanu tzn. jeżeli nie ruszy go z miejsca albo nie zatrzyma w ruchu, albo w ogóle nie zmusi go do innego ruchu, niż miało przedtem.

Prawo to nazwał Newton „prawem bezwładności". Nazwa to niezmiernie trafna. Rzeczywiście, proszę się wmyśleć w prawdę, jaką to prawo wypowiada.

Newton mówi nam, że każde ciało w naturze jest bezwładne, to znaczy samo, bez jakiejś przyczyny ze strony nigdy nie zmieni swego stanu: jeżeli jest w spoczynku, to pozostaje tak na wieki; jeżeli się porusza, to będzie się poruszało tak do końca świata. Jeżeli jakaś siła nie zmusi go do innego zachowania się.

Na czym więc polegał błąd Arystotelesa? Błąd ten polegał na tym, że uważał on, jakoby do podtrzymania ruchu potrzebna była jakaś siła. Newton wykazał, że w rzeczywistości wcale tak nie jest. Ruch odbywa się sam — zgodnie z prawem bezwładności. Natomiast siły nasze hamują ruchy.

Wśród tych hamulców najważniejszym jest tarcie.

W tym miejscu niejeden mógłby zawołać: „Przepraszam, ale tu nie wszystko jest jasne. Czyż para w lokomotywie nie jest siłą, podtrzymującą ruch tej lokomotywy? Czyż silnik w samochodzie nie jest tym, co ten samochód utrzymuje w ruchu? Czy siła naszych nóg nie jest tym, dzięki czemu się poruszamy? Więc jakże to tak? Fakty najoczywiściej przeczą temu, co chce nam wmówić wielce uczony pan Newton".

Powoli, powoli! Newton jeszcze nam wszystkiego nie wytłumaczył. Pytacie o siły maszyn i naszych mięśni? Zaczniemy odpowiedź znów od przykładów. Proszę wziąć do ręki piłkę. Proszę jej kazać toczyć się po ziemi i dokładnie się przyjrzeć jak się będzie zachowywała. Będzie się poruszała z początku prędko, potem wolniej, coraz wolniej — aż wreszcie się zatrzyma. Dlaczego? Tarcie piłki o ziemię, które działało przez cały czas toczenia się piłki, hamowało jej ruch, aż wreszcie zwyciężyło.

Dlaczego nasmarowany wóz lepiej jedzie? — Ponieważ smar zmniejsza siłę tarcia. Dlaczego po szynach lżej się jedzie, niż po ulicy? — Bo siła tarcia gładkiego metalu jest mniejsza, niż kamienia

brukowego. Dla tej samej przyczyny w zimie ludzie jeżdżą na płozach, czego w lecie żadną miarą czynić nie można.

Z tych przykładów wynika na razie jedna rzecz: ruchy są hamowane przez tarcie. Jeżeli chcemy, aby piłka toczyła się przez cały świat, musimy wstawić do niej coś takiego, co by to tarcie pokonywało — a wtedy zgodnie z prawem bezwładności ruch piłki będzie wieczny. Jeżeli nie będzie wieczny, to tylko dlatego, że po drodze mogą wystąpić inne jakieś siły, które ten ruch zahamują. Nasza piłka może jeszcze w swojej wędrówce światowej napotkać góry, których nie przebije, przepaście których nie przeskoczy, morza, których nie przepłynie. Ale to już inna sprawa. W myśli możemy sobie wyobrazić taką wiecznie wędrującą piłkę, byleby to „coś", cośmy jej do środka wmontowali, zawsze przezwyciężało tarcie.

Teraz możemy już jakoś się porozumieć. Para w lokomotywie, silnik w samochodzie, nasze mięśnie — to wszystko siły, które nie podtrzymują ruchu, tylko przezwyciężają tarcie, które niweczy czasem natychmiast, czasem po dłuższym czasie — wszelki ruch. A więc, żeby jakieś ciało trwało w ruchu musimy dać mu motor, walczący z tarciem.

Siła jakaś może nadać ruch ciału, lecz po tym fakcie gdy przestanie już działać, ciało samo będzie chciało na zawsze zachować ruch, który mu nadano. Gdyby nie opór, jaki stawia jego ruchowi tarcie, ruch rzeczywiście odbywałby się wiecznie. Oto jest sens „prawa bezwładności". Aż dziwno się robi, że ludzkość tyle wieków trwała w tym błędzie, zanim Galileusz i Newton tak gruntownie zbadali sprawę i znaleźli w sobie tyle odwagi, ażeby wbrew temu, co wszyscy uważali za oczywiste i niewzruszone, wypowiedzieć prawdę o przyrodzie, której dotychczas nikt nie obalił — i chyba nie obali nigdy, bo natura była i będzie zawsze taka sama.

Na ziemi tarcie, wszelkiego rodzaju opory hamujące ruchy, występują na każdym kroku. Toteż nie mamy możności przekonać się naocznie o prawdziwości „prawa bezwładności". Natomiast możemy wykonać kilka obserwacyj i doświadczeń, które nam to prawo wykażą z całą oczywistością.

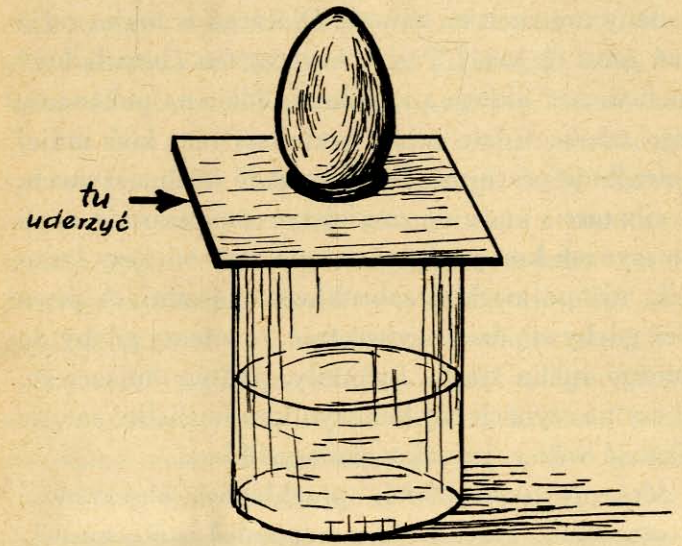
Oto widzę jak koń rusza z ciężko naładowanym wozem. Widać duży wysiłek konia, zanim wóz ruszy. Później jednak również wyraźnie widać, że ciągnąć toczący się wóz koniowi jest lżej. Dlaczego? Prawo bezwładności nam to z całą ścisłością tłumaczy. Wóz stał w miejscu — i chciał tak stać do

końca świata. Koń chce wóz ruszyć — musi przezwyciężyć bezwładność wozu. Lecz gdy wóz już ruszył, to znów chce tak się toczyć do końca świata. Zgodnie z prawem bezwładności wóz chce zachować nadany mu ruch na zawsze. Dlaczego w takim razie koń musi ciągnąć? Tarcie niweczy ten „bezwładny" ruch wozu i dlatego praca konia idzie na pokonanie tego tarcia. Gdzie tarcie mniejsze, tam koń mniej potrzebuje pracować. Jeżeli ustawić wóz na szynach, to siła tarcia może się zmniejszyć ośmiokrotnie, czyli po szynach koń pociągnie osiem razy większy ładunek, niż po zwykłej zabrukowanej jezdni. A przecież gdyby się działo odwrotnie, to znaczy gdyby do samego ruchu trzeba było siły, podtrzymującej go, to czy na szynach czy bez szyn koń musiałby zawsze ciągnąć wóz z jednakowym wysiłkiem.

Możemy setki takich przykładów obserwować w otoczeniu. Trzeba tylko zrozumieć istotę sprawy, a od razu dane zjawisko staje się dla nas dobrym dowodem, potwierdzającym słuszność myśli Newtona.

Zróbmy teraz doświadczenie. Dużo do tego nie trzeba: szklanka, kartonik, jajko i jakieś kółeczko np. od kluczy. I trochę — pół szklanki — wody. Stawiamy szklankę z wodą na stole i nakrywamy

kartonikiem. Na kartoniku chcemy „na sztorc“ postawić jajko. Samo oczywiście stać nie będzie. Więc kładziemy na kartonik kółko od kluczy, a na to



Rys. 18. Doświadczenie z bezwładnością jajka.

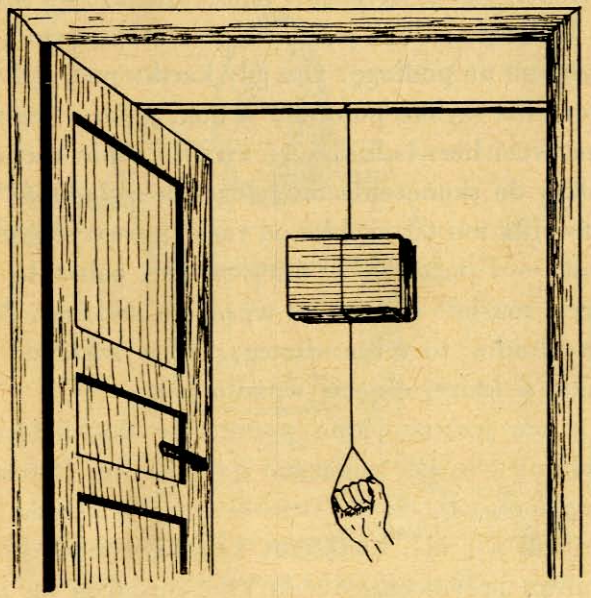
jajko; jeżeli kółko dobrze się dopasuje do wielkości jajka, to będzie ono z pewnością stać. I oto nasz przyrząd czeka na doświadczenie. Teraz tylko trochę zręczności. Postaramy się uderzyć kartonik „w kant“ tak mocno, żeby szybko i daleko sobie po-

leciał precz. Kto umie niech palcami zrobi „prztyczka“. Jeżeli nie tak, to można jakoś inaczej poradzić; byleby uderzenie było krótkie i dostatecznie mocne. Gdy karta wyskoczy, jajko wpadnie do szklanki. Dlaczego jednak jajko nie poleciało razem z kartonikiem na podłogę? Oto gdy kartka pod wpływem uderzenia szybko poleciała w bok, jajko — zgodnie z prawem bezwładności — życzyło sobie zachować spokój do skończenia dni. Jego „bezwładność“ nie pozwoliła mu tak szybko od razu się ruszyć jak kartonik — i pozostało w miejscu. Gdy zabrakło podparcia musiało oczywiście wpaść do szklanki. Że się nie stłukło, to tylko dlatego, że w szklance była woda, w której objęcia wpadło jajko.

A oto jeszcze jedno pouczające doświadczenie. Zrobimy tak, jak pokazano na rysunku. Potrzebne będą nam kij, cienki sznurek, ciężka książka (jedna lub więcej). Związemy książkę i jeden koniec sznurka przymocujemy do kija, opartego na przykład na otwartych drzwiach. Z początku uczynimy to co nikogo nie zdziwi. Pociągniemy powoli za drugi koniec sznurka, zwisający u dołu pod książką. Stanie się to, czego można było się spodziewać: pęknie sznurek w części, która się znajdowała między książką, a kijem, a więc w części górnej. Zrobiliśmy

to tylko dla porównania — magii na razie w tym żadnej nie ma.

Lecz po raz drugi postąpimy nieco inaczej. W ta-



Rys. 19. Doświadczenie z bezwładnością książek.

kich samych okolicznościach szybko, ale to bardzo szybko, energicznie, z całej siły szarpniemy za dolny koniec sznurka. Urwie się nam właśnie ten dolny koniec. Co się stało? Dlaczego teraz sznurek rwie się

inaczej? Przypadek? Powtórzmy jeszcze raz. I jeszcze raz. Zawsze będziemy mieli to samo. Nie ma rady, skoro nie ma w tym oszukaństwa, to trzeba to jakoś wytłumaczyć. I tłumaczymy to sobie tak.

Gdyśmy ciągnęli powoli, to na dolny sznurek działała siła ręki, a na górny — to samo i na dodatek ciężar książki. Jasne, że musiał się urwać górny kawałek. Jednak gdy szarpnęliśmy za sznurek nagle, to szarpnięcie to odczuł tylko dolny sznurek. Górny był „chroniony" przez bezwładność książki. Część siły poszła na to, aby pokonać bezwładny opór książki, która chciała swój spokojny stan między sufitem a podłogą zachować do czasu, ażby sama zgniła i znikła. Dzięki temu zanim sznurek górny odczuł jakieś szarpnięcie, dolny musiał się urwać. Więc jeżeli do kogo ma mieć ten dolny sznurek żal — to tylko do prawa bezwładności.

Które ciało ma większą bezwładność, a które mniejszą? Odpowiedź na to krótka: to ciało ma większą bezwładność, które ma większą masę.

— A to co nowego? Masa? Co to jest masa?

Czyżbyśmy nie wiedzieli, co to jest masa? Nie? No, to będziemy sobie jakoś to tłumaczyć.

Ale zdaje się, że nawet koń rozumie co to jest masa. Gdy ciągnie ładowany wóz, to prawdopodob-

nie sobie w końskiej głowie myśli: „ależ masywny ładunek".

Masywny Ależ my też często tak się wyrażamy, „ten mebel jest masywny"... „on ma masywną łaskę"... „był taki silny, że masywne przedmioty rzucał, jak piórka"... Rozumiemy o co chodzi. Słowem „masywny" oznaczamy coś, co daje się z trudem ruszyć z miejsca. Gdy powiadamy, że coś jest masywne, to chcemy przez to powiedzieć, że na ruszenie tego „czegoś" z miejsca trzeba więcej wysiłku.

Otóż „masa" to jest miara bezwładności ciała. Wielką masę trudno ruszyć z miejsca, ale też równie trudno zatrzymać gdy się porusza. A więc i w jednym i w drugim wypadku występuje ta bezwładność, która jest tym większa, im większa jest masa ciała. To właśnie oznacza miarę bezwładności, tak jak objętość beczki jest miarą zawartego w niej wina.

Masę wyrażamy w tych jednostkach, co ciężar, a więc gramy, kilogramy itd. Oto przykłady niektórych mas w przyrodzie:

1 centymetr sześcienny	powietrza	1/850	część gr.
1 „ „	wody .	1	gram
1 „ „	ołowiu .	11	„

Moneta brązowa 2 grosze . . .	2	gramy
Moneta niklowa 1 złoty	5	„
Człowiek dorosły (średnio) . .	70	kilogr.
Lokomotywa (średnia) . . .	50.000	„
Drapacz chmur	120.000.000	„
Atmosfera ziemi	5×10^{18}	„ *
Księżyc	7×10^{22}	„
Ziemia	6×10^{24}	„
Słońce	2×10^{30}	„

Jak powiedzieliśmy, na ziemi nie ma ruchu, który by nie był hamowany przez tarcie. Toteż we wszystkich naszych doświadczeniach musimy zawsze z tym się liczyć; wpływa to również na przebieg samych doświadczeń, które z racji wmieszania się do sprawy tych właśnie sił tarcia, tracą na wyrazistości. Bezwładnego ruchu, nie zamąconego przez hamulce, na ziemi nie spotykamy.

Natomiast w przestrzeniach międzyplanetarnych mamy ruchy, gdzie siła tarcia nie przeszkadza. Ruch ziemi, księżyca, wszystkich innych planet i samego słońca odbywa się w zupełnie próżnej

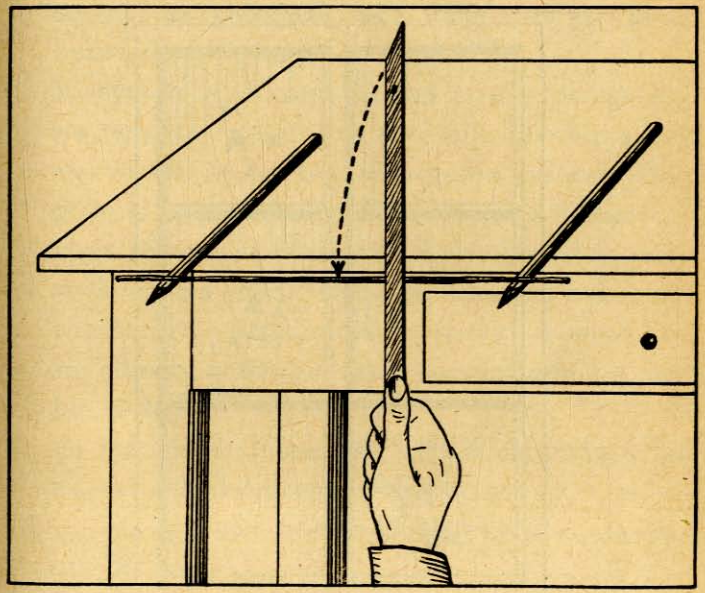
* Jest to skrócony sposób pisania bardzo wielkich liczb. W postaci zwykłej cyfry te należałoby napisać: 5 z 18 zerami t.j. 5.000.000.000.000.000.000.

przestrzeni. Nic nie zatrzymuje księżyca, który krąży dokoła ziemi. Dlatego nie możemy dotychczas stwierdzić, aby ruchy ciał niebieskich stawały się powolniejsze. Nadany im przed wiekami ruch zachowują dotychczas i zachowają go przez długie jeszcze miliony i miliony lat, jeżeli przedtem jakaś katastrofa w tym akurat zakątku wszechświata nie przerwie im ich bezszelestnych, niezachwianych, spokojnych i zawsze takich samych obiegów na drogach, wyznaczonych przez prawa Newtona.

Warto się nad tym zastanowić...

1. Jak przez prawo bezwładności wytłumaczyć fakt, że gdy pociąg gwałtownie ruszy z miejsca, padamy w tył, albo uderzamy głową o ścianę wagonu. Podobnie przy nagłym zatrzymaniu się padamy na przód.
2. Czym się tłumaczy łatwość ścięcia cienkiej łodygi przez ostre uderzenie trzciną, chociaż naciskając tę łodygę powoli nigdy tego nie osiągniemy, najwyżej odchylimy ją ku ziemi.
3. Wykonać następujące doświadczenie. Na brzegu stołu położyć dwa ołówki, tak, aby wystawały poza blat. Na wystających końcach ołówków położyć cienką laseczkę drewnianą

(grubości mniej więcej połowy ołówka). Następnie energicznie uderzyć, ruchem tnącym, w środek laseczki. Przy dobrym uderzeniu la-

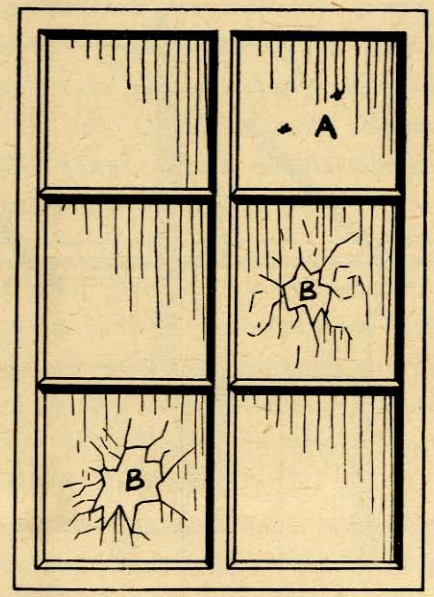


Rys. 20. Doświadczenie z bezwładnością ołówków.

seczka się przełamie, zaś ołówki pozostaną na miejscu. Jak to wytłumaczyć zasadą bezwładności?

4. Dlaczego kula, trafiając w szybę okienną czyni

w niej małą dziurkę, podczas gdy nacisk, wywierany nawet ostrym narzędziem (np. gwoździem, szydłem) powoduje pękanie na kawałki całej szyby.



Rys. 21. Bezwładność szyby szklanej. A — otwór w szybie, zrobiony kulą rewolwerową, B — otwór, wybity kamieniem.

5. Jak można wytłumaczyć, że orzech włoski, który nie daje się rozcisnąć w ręku, można roztłuc mocnym uderzeniem pięści. Czy mięśnie ręki stały się twardsze?

6. Dlaczego cieśla przy nasadzaniu siekiery na trzonek uderza młotkiem nie w siekierę, lecz w przeciwległy koniec trzonka?
7. Dlaczego najczęściej wykolejenia pociągów następują na zakrętach toru. Jaką rolę gra tutaj bezwładność jadącej lokomotywy?
8. W cyrkach pokazują czasem sztukę polegającą na tym, że sztukmistrz zdejmuje serwetę z zastawionego stołu, bez poruszenia zastawy. Nagłym (i oczywiście, zgrabnym) szarpnięciem wyciąga serwetę spod naczyń, które pozostają nieruchome na stole. Czym się tłumaczy takie zachowanie się przedmiotów zastawy? A może kto się odważy przerobić takie doświadczenie u siebie w domu?
9. Co ma większą masę: czy 100 kilogramów żelaza, czy 100 kilogramów wiórów.
10. Co ma większą bezwładność: czy litr ołowiu, czy litr trocin.
11. Wytłumaczyć działanie prawa bezwładności przy ślizganiu się na łyżwach.

Rozdział V.

„JAK TY KOMU, TAK ON TOBIE“ CZYLI PRAWO DZIAŁANIA I TAKIEGO SAMEGO PRZECIWDZIAŁANIA.

Dokładne uświadomienie sobie zasady bezwładności ciał w przyrodzie stanowi pierwszy krok do zrozumienia nowoczesnej mechaniki. Umiemy już określać kiedy jakie siły działają, a kiedy działania tego nie ma. Patrzmy jednak pilnie dalej na zjawiska nas otaczające, a dojdziemy do wykrycia nowych praw. Co prawda łatwo nam wykrywać, kiedy Newton nas tego już nauczył, ale mimo to wielu rzeczy dokoła siebie nie zauważamy i dlatego w myśleniu potocznym często się spotyka takie same mylne tłumaczenie zjawisk, jak z przed kilku stuleci.

Dla zrozumienia, co to jest siła musimy się zapoznać jeszcze z jednym prawem ustalonym przez Newtona. Sam on oznaczył go jako prawo trzecie. Nazywane ono jest przez uczonych „prawem

akcji i reakcji“, albo, mówiąc prościej, prawem działania i przeciwdziałania. Lepiej jednak będzie jeżeli się zapoznamy z nim już teraz. Brzmienie jego jest takie:

„Gdy jedno ciało fizyczne oddziaływuje w jakikolwiek sposób na drugie, to odczuwa takie samo przeciwdziałanie ze strony tego drugiego ciała. To przeciwdziałanie jest zawsze absolutnie takie samo z tą różnicą, że odbywa się w przeciwnym kierunku.

Weźmy przykłady, np. zwykłą huśtawkę. Każdy wie, że aby huśtawka mogła wychylić się w tył, musimy nogi wyrzucić na przód. Im sprawniej to zrobimy, tym lepiej huśtawka daje się rozbujać. Małe dzieci, które w ogóle są nieporadne, nie umieją rozruszać huśtawki, bo nie nauczyły się jeszcze wykorzystywać pewnych praw fizycznych. A tym prawem fizycznym jest tutaj właśnie owo trzecie prawo Newtona. Najlepiej go zaobserwować w taki sposób: siedzimy spokojnie na huśtawce i wyrzucamy przed siebie kamienie. Za każdym rzutem kamienia huśtawka się cofa trochę w tył. Dlaczego? Kiedyśmy ręką cisnęli kamień na przód, on ze swej strony wywarł takie samo działanie na rękę, a przez to i na huśtawkę. Kamień poleciał naprzód, ale huśtawka „poleciała“ w tył. Dlaczego

kamień poleciał dalej niż huśtawka, dowiemy się później. Na razie stwierdzamy fakt, że my działamy na kamień, zaś kamień oddziaływał na nas. Zupełnie ta sama historia zachodzi, gdy wyrzucamy nie kamień, lecz nogi. I dlatego za każdym rzutem nóg huśtawka idzie w tył — a gdy powtarzamy to kilka, kilkanaście lub więcej razy z rzędu, możemy wreszcie doprowadzić do tego, że huśtawka będzie się wahać bardzo mocno.

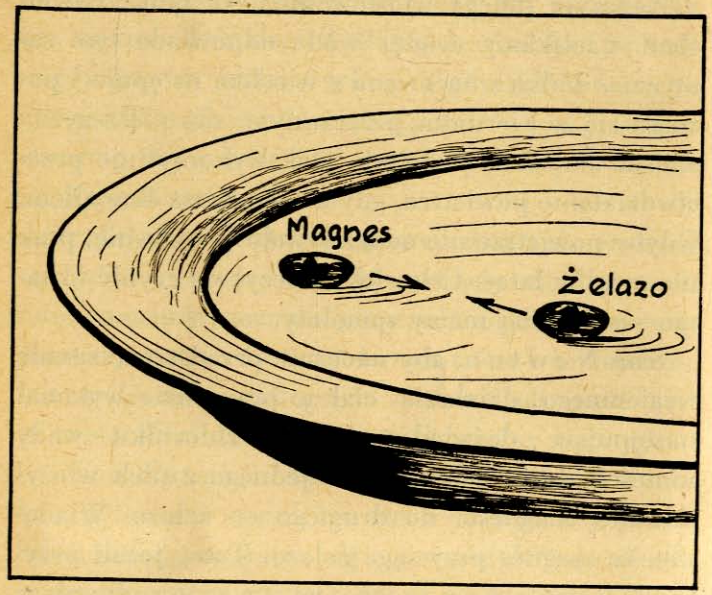
Przykładów działania i przeciwdziałania możemy nazbierać więcej. Gdy popychamy ciężki przedmiot, musimy mocno się oprzeć nogami w ziemię. Nam się wydaje, że to takie naturalne i że zapewne tak trzeba robić dlatego, że siła naszych mięśni jest za mała. Wcale tak nie jest. Opieramy się nogami w ziemię dlatego, że nasz nacisk na przedmiot wywołuje przeciwny nacisk na nas — chcąc aby przedmiot ruszył, musimy się „przyczepić" do ziemi; w przeciwnym razie przedmiot zostanie na miejsu, a my będziemy odepchnięci. Czyż tak czasem się nie zdarza? Proszę ruszyć z miejsca ścianę murowaną! Albo spróbować popychać ciężką bryłę, stojąc na gładkim lodzie!

Takie samo zjawisko obserwujemy w strzelbach lub armatach. Kolba strzelby przy wystrzale uderza w ramię: kula leci na przód, strzelba leci w tył. Uderzając młotkiem na przykład w kamień widzimy, jak młotek odskakuje.

Na czym polega wiosłowanie? Na tym, że wiosłem naciskamy wodę, woda odpowiada tym samym — łódka zmocowana z wiosłem ustępuje i porusza się w kierunku przeciwnym, niż płaszczyzna wiosła. Zupełnie podobnie ptak wykorzystuje przeciwdziałanie powietrza, gdy o nie uderza skrzydłem. Gdyby powietrze nie oddziaływało przeciwnie, ptak nie mógłby latać. Człowiek nauczył się czynić to samo — i dzisiaj mamy samoloty.

Sam N e w t o n, aby naocznie przedstawić zasadę wzajemnego działania ciał w przyrodzie wykonał następujące doświadczenie. W zbiorniku wody umieścił dwa czółenka. Do jednego z nich włożył kawałek magnesu, do drugiego — żelazo. Wiadomo, że magnes przyciąga żelazo. Toteż jeżeli przytrzymać czółenko z magnesem, to wolno pływający kawałek żelaza pod wpływem przyciągania magnesu, przypłynie do tego właśnie czółenka. Lecz to samo będzie, gdy się przytrzyma czółenko z żelazem: wtedy przypłynie magnes. Gdy oba czółenka będą wolno puszczone na wodzie, to jedno i drugie ruszy z miejsca, aż przytkną do siebie. Fakty te

świadczą zupełnie wyraźnie, że przyciąganie jest wzajemne. Gdyby ktoś na upartego twierdził, że to nie żelazo jest przyciągane do magnesu — jak zwy-

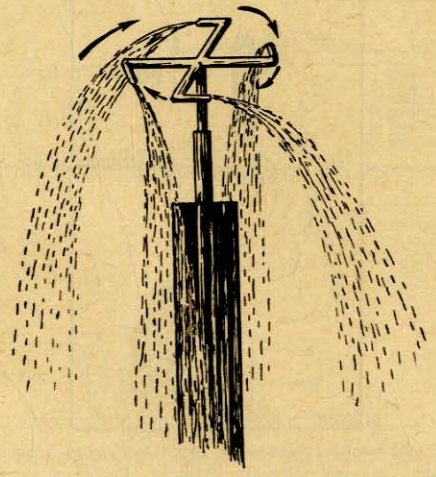


Rys. 22. Doświadczenie Newtona, które dowodzi, że przyciąganie się ciał fizycznych jest wzajemne.

kliśmy uważać — lecz, odwrotnie magnes jest przyciągany przez żelazo — nie potrafilibyśmy mu udowodnić, że mamy większą rację.

Prawo działania i przeciwdziałania wykorzysta-

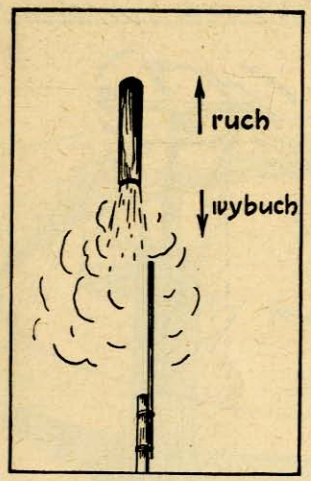
no do wielu rzeczy. Często są spotykane w parkach wodotryski wiatraczkowe urządzone tak, że wypływająca z rurek woda, nadaje tym rurkom ruch w kierunku przeciwnym — i całość wiruje, powo-



Rys. 23. Wodotrysk wiatraczkowy.

dując ruchomy wachlarz wody. Piękne fajerwerki czyli rakiety, które rozsypują na tle nocnego nieba tysiącami piękne smugi, iskry, ogniste kaskady i kolorowe firanki, oparte są również na tej samej zasadzie. Nabój takiej rakiety przy wybuchu, daje pchnięcie całości urządzenia. Gdy uczynimy tak, aby wybuchy te następowały po sobie bardzo czę-

sto, i przez dłuższy czas, to cały nabój będzie stale popychany w kierunku przeciwnym: będziemy obserwować wzniesienie się naboju do góry, a po dro-

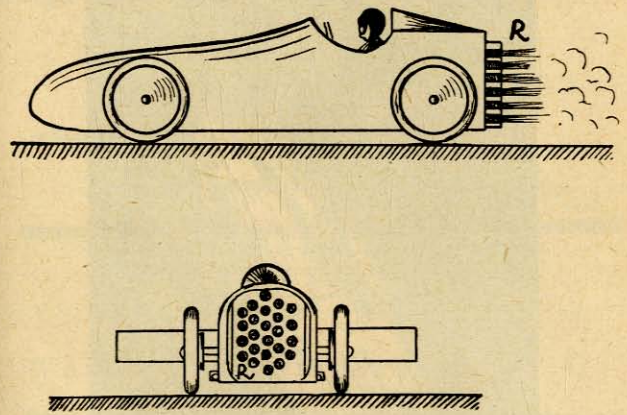


Rys. 24. Pudło fajerwerku naładowane różnokolorowymi ogniami, leci w kierunku odwrotnym, niż się odbywają wybuchy. Pchnięcia gazów spalinowych nadają rakiecie ruch.

dze zauważymy smugę z iskier po wybuchach materiałów naboju.

Zasadą rakiety zaczęto dzisiaj się zajmować bardzo poważnie. Zamiast małej zabawki do fajerwerków, można przecież zbudować cięższą rzecz i nadać jej ruch „rakietowy" w dowolnym kierunku. Fachowcy wojskowi chcą zrobić pocisk rakietowy, któ-

rym by można było ostrzeliwać bardzo odległe miasta. Technicy samochodowi twierdzą, że zamiast silnika lepszy będzie w samochodzie napęd rakietowy, bo szybszy i tańszy. W tej myśli robią dzisiaj liczne

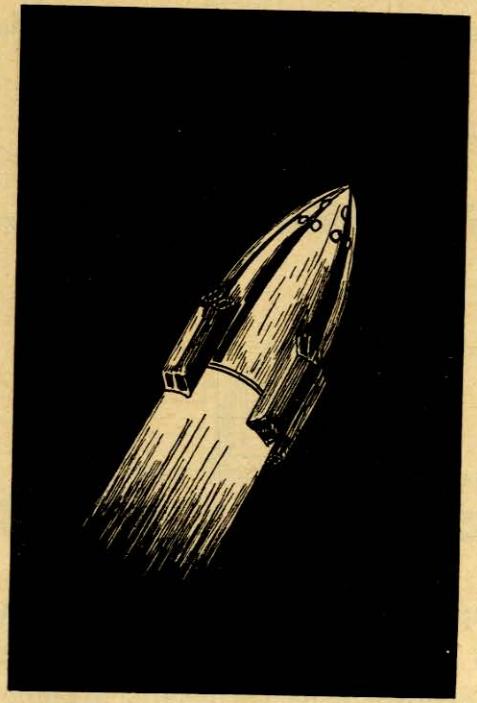


Rys. 25. Samochód rakietowy, zbudowany przez niemieckiego wynalazcę Oppela U góry widok samochodu z boku, u dołu — od tyłu. Widać komory wybuchowe rakiet, oznaczone literą R.

próby i podobno z dobrym skutkiem. A ludzie, których pali ciekawość dalekich światów, chcą zbudować „rakietę międzyplanetarną", która by była statkiem do podróżowania na księżyc i inne sąsiednie planety. Powiadają, że to jedyny sposób na latanie tam, gdzie nie ma powietrza.[1] Sprawa to

[1] Już kilkaset kilometrów ponad ziemią powietrza wcale nie ma.

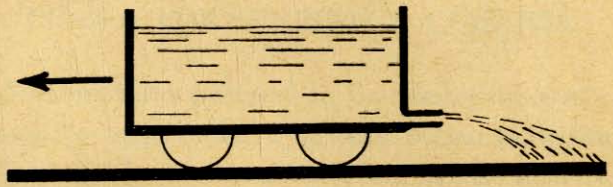
wcale nie taka śmieszna, bo wielu uczonych zupełnie poważnie zajmuje się nią od lat.



Rys. 26. Statek rakietowy przeznaczony do podróżowania w przestrzeni, pozbawionej powietrza (np. międzyplanetarnej), zaprojektowany przez uczonego Obertha.

Oto przykłady wykorzystania zasady działania i przeciwdziałania. Czy można po tym wszystkim

wątpić w słuszność tego prawa Newtona? Zresztą byli tacy, co chcieli wątpić, niestety jednak nic lepszego nie wymyślili. Widocznie Newton mimo wszystko ma rację, więc i nam nie wypada z nim się nie zgodzić.



Rys. 27. Doświadczenie z wagonikiem-cysterną.

Warto się nad tym zastanowić.

1. Można zbudować mały wagonik-cysternę, ustawiony na szynach. W jednej ze ścianek (poprzecznej do toru) powinien być wywiercony otwór. Gdy nalejemy do pudła wody i odkorkujemy otwór tj. pozwolimy wodzie się wylewać — wagonik będzie się toczył po szynach w kierunku, przeciwnym do wypływu wody. Jak to należy wytłumaczyć?
2. Dlaczego, gdy przewoźnik naciśnie wiosłem brzeg, łódka odbija od brzegu?

3. Jak należy tłumaczyć, że gdy ołówek spadnie na podłogę, to lekko podskakuje?
4. Czy w zupełnej próżni tj. tam, gdzie nie ma powietrza, mógłby ptak latać?
5. Jakie przykłady działania i przeciwdziałania możemy zaobserwować w życiu codziennym?

Rozdział VI.

PRAWO POWSZECHNEGO CIĄŻENIA.

Musimy teraz postarać się wyraźniej sobie uświadomić, co to jest siła. Tyle razy o tym mówiliśmy, nieraz tego słowa używaliśmy, lecz zawsze liczyliśmy na to, że przecież każdy z nas domyśla się, albo przynajmniej odczuwa, co trzeba nazywać siłą, a czego nie. W życiu codziennym takie rozumienie siły wystarcza, w nauce jednak trzeba wszystko wyraźnie określić.

Co naprowadziło Newtona na myśl o sile? Była mowa o tym spadającym jabłku, które nasunęło mu wytłumaczenie, że spadanie odbywa się dlatego, że ziemia przyciąga jabłko. Lecz były też i poważniejsze fakty.

Oto prawo bezwładności mówi, że ciało, nie zatrzymywane przez inne siły, będzie się poruszać zawsze tym samym ruchem po linii prostej. Tymczasem co widzimy we wszechświecie. Księżyc

krąży dokoła ziemi po linii zbliżonej do koła. Ziemia również zatacza dokoła słońca drogę podobną. To samo dzieje się z innymi planetami. Dlaczego one nie lecą po linii prostej — hen, w przestrzeń między dalekie gwiazdy. Widocznie coś je trzyma. Lecz co? Newton na to odpowiada:

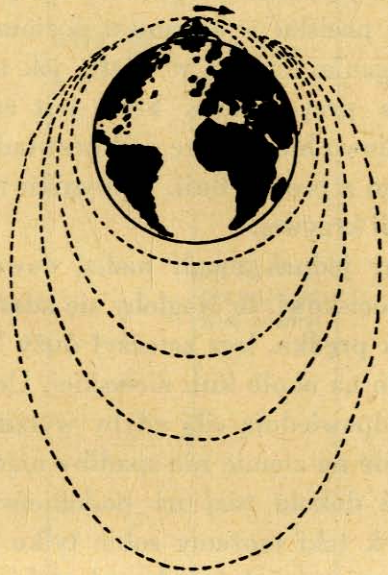
— Siła powszechnego ciążenia.

— Co to jest za siła?

— Jest to siła przyciągania, która istnieje pomiędzy każdymi dwoma ciałami materialnymi, wszystko jedno czy to będą dwa pyłki czy dwa słońca. Siła ta sprawia, że wszystkie ciała w naturze wzajemnie się przyciągają.

Wskutek tej właśnie siły przyciągania jabłko spada na ziemię, a to co Arystoteles nazywał dążeniem do swego właściwego w naturze miejsca, w rzeczywistości okazuje się działaniem siły przyciągania ziemskiego, która przezwycięża bezwładność ciała. Gdyby nie było siły ciążenia, wszystkie przedmioty „wisiałyby" w powietrzu. Przez tę siłę ciążenia przedmioty mają ciężar. Ona również powoduje cały szereg zjawisk w naturze, o których nigdybyśmy nie przypuszczali, że spowodowane są właśnie przez tę siłę, wykrytą przez Newtona, ale o tym pomówimy na końcu.

Również kołowe, lub prawie kołowe, drogi, ciał niebieskich, są wywołane przez siłę przyciągania.



Rys. 28. Ciało, wyrzucone poziomo, spada na ziemię, zataczając łuk. Im większa szybkość zostanie ciału nadana w chwili wyrzucenia, tym większy łuk zostanie przez nie zakreślony.

Newton rozumował tak. Wyobraźmy sobie, że ustawiamy się na jakiejś wysokiej górze i stamtąd wyrzucamy kamienie lub pociski. Pocisk, puszczony wolno, spadnie u podnóża góry. Gdy pchniemy go naprzód, zatoczy łuk, lecz w końcu również spadnie

na ziemię, bo siła przyciągania ziemskiego stale nań działała. Im szybciej wyrzucimy pocisk naprzód, tym dłużej będzie leciał on nad ziemią. Widzimy, że szybkość pocisku w kierunku poziomym kasuje siłę przyciągania. Jednak w miarę, jak ta szybkość maleje, siła przyciągania, która jest zawsze taka sama, stopniowo bierze górę nad bezwładnością ciała i ściąga go z prostej linii. W wyniku mamy ruch ciała po linii krzywej.

Gdybyśmy jednak mogli nadać dowolnie silne pchnięcie pociskowi, to mogłoby się zdarzyć, że nie upadłby tak prędko, lecz zatoczył duży łuk a może nawet i koło na około kuli ziemskiej. Uczeni twierdzą, że z odpowiednią siłą gdyby wyrzucić pocisk, to on w ogóle na ziemię nie spadłby nigdy, lecz zaczął krążyć dokoła niej na podobieństwo księżyca. Wypadek taki możemy sobie tylko wyobrazić, bo w rzeczywistości doświadczenia takiego nie potrafimy wykonać.

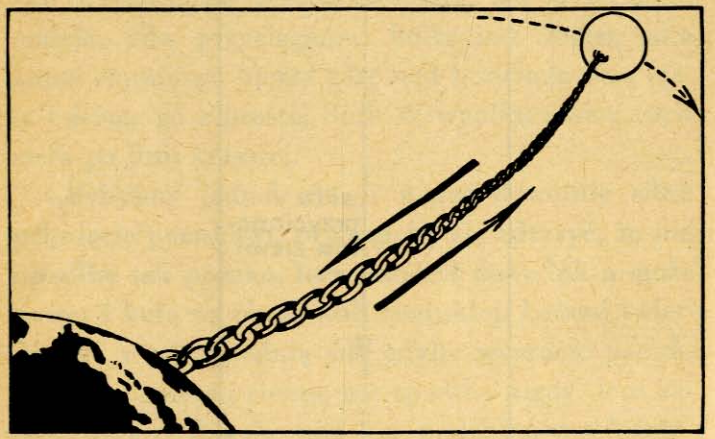
Zupełnie to samo dzieje się z księżycem. Trudno powiedzieć kto i kiedy „rzucił" go w pobliżu ziemi. Dzisiaj niezmiennie krąży dokoła ziemi, która siłą swego przyciągania trzyma go jakby na uwięzi. Gdyby nie ta siła, księżyc na pewno wyrwałby się jak kamień z procy i poleciał w przestrzeń między-

gwiazdową. Leciałby tak w prostej linii aż w nieskończoność.

Rys. 29. Księżyc krąży dokoła ziemi, utrzymywany przez jej siłę przyciągającą.

Mówiliśmy jednak o tym, że wzajemne oddziaływanie ciał w naturze jest zawsze obopólne. Dlatego też nie byłoby słusznym powiedzenie, że tylko zie-

mia przyciąga księżyc. Księżyc również wywiera siłę przyciągania na ziemię, powodując czasem zjawiska, aż nadto wyraźne i dostrzegalne. Opiszemy je potem.



Rys. 30. Ziemia i księżyc związane są wzajemną siłą przyciągającą.

Jak obliczają uczeni, siła przyciągania między ziemią a księżycem wynosi — uwaga! —

20.000.000.000.000.000.000 ton.

Nazywa się taka liczba dwadzieścia tysięcy trylionów, a pisze się jak widzimy: dwójka z 19 zerami. Jak sobie taką siłę wyobrazić? Można na przykład tak. Wyobraźmy sobie że nie ma siły

przyciągania, lecz chcemy żeby księżyc nadal krążył dokoła ziemi. Cóż można zrobić? Trzeba przywiązać księżyc do ziemi jakąś liną. Lina ta musi wytrzymać siłę tych — ile to tam było? — bilionów czy trylionów ton. Jak się okazuje, stalowa lina musi mieć grubość 600 kilometrów. Myślicie że żartuję? Nic podobnego! Zapewniam, że sześćset kilometrów — słowami, jak w rachunku sklepowym. Jeżeli damy cieńszą linę, to łatwo się urwie i księżyc ucieknie. A teraz proszę poszukać fabryki, która by zrobiła linę o tej grubości i długości 384.000 kilometrów (bo taka jest odległość od ziemi do księżyca).

Prawo powszechnego ciążenia obowiązuje zawsze i wszędzie. Posłuszne jemu jest jabłko, spadające z jabłoni, jak księżyc, ziemia, która krąży dokoła słońca, jak również to samo słońce, które przebiega nieznane dla nas drogi wśród gwiazd wszechświata, kierowane zapewne również tą wszechogarniającą siłą.

Siła powszechnego ciążenia, tak wspaniale przedstawiona przez Newtona, stanowi największy tytuł do chwały. Jego prawo było czarodziejskim zaklęciem, które wprowadziło od razu ład, harmonię, cudowny porządek w całym świecie. Od razu stało

się wszystko zrozumiałe, a gdy gęsie pióra uczonych jęły skrzypieć po pergaminach i obliczać skutki działania sił przyciągania, jak oni nazywali „grawitacji", to się okazało, że wszystko jak najlepiej się zgadza. Na podstawie tego prawa, rachunki były krótkie, poszczególne wyniki ze sobą się nie kłóciły. Zjawiska wydawały się proste i zrozumiałe. Natura żadnym faktem temu nie zaprzeczyła, więc potwierdziła odkrycie Newtona.

Warto się nad tym zastanowić...

1. Dlaczego kamień rzucony do góry nie oddala się w nieskończoność, lecz po pewnym czasie spada z powrotem na ziemię?
2. Dlaczego pod górę trudniej się wspinać, niż iść po równej drodze?
3. Dlaczego człowiek nie może podskoczyć dowolnie wysoko?
4. Wiemy, że tak zwane meteory, pospolicie zwane spadającymi gwiazdami, są to kawałki materii, które przez pewien czas błąkały się w przestrzeniach międzygwiazdowych. Jak możemy wytłumaczyć, że bryły te w pewnej chwili kończą swoją wędrówkę, zagrzebując się w ziemi?
5. Angielski pisarz Wells (czytaj Uells) w jednej ze swoich fantastycznych powieści opisuje, jak jeden wynalazca wytworzył materiał, który niweczył siłę przyciągania: wszystko, co było ponad płytą takiego materiału nie ulegało działaniu przyciągania. Jak zachowałyby się przedmioty w pokoju, który by miał podłogę właśnie z takiego cudownego stopu?

Rozdział VII.

BĘDZIEMY MIERZYĆ SIŁY.

Wszystko dotychczas bardzo pięknie nam się układało, lecz na razie były to tylko opowiadania. Mówiliśmy poprzednio, że fizyk uważa za godne uwagi tylko rzeczy czy zjawiska, które się dają zmierzyć. Sam opis jego nie zadawalnia, bo to, powiada „robią powieściopisarze", a fizyka nie jest literaturą. W fizyce tylko to jest dobre, co można określić jakąś liczbą, a więc ilością centymetrów, gramów albo sekund. Czego nie da się wyrazić liczbą, to będzie tylko dowolnym fantazjowaniem, marzeniem.

A więc jeżeli chcemy, żeby nasze rozważania nie były tylko pięknym opisem, lecz także ścisłą nauką musimy znaleźć miarę sił, od których ruchy w naturze zależą. Dopóki tej miary nie będzie, to mogą nam śmiało mówić, jak Krukowski w swojej popularnej piosence: „To są opowieści Hoffmana".

Tak pewnie sprawę rozumiał też N e w t o n. Dla-

tego ustaleniu co to jest siła i jak ją mierzyć, poświęcił dużo uwagi.

Ciała fizyczne w naturze, jak widzieliśmy oddziaływują na siebie. Przede wszystkim zgodnie z prawem powszechnego ciążenia, wzajemnie się przyciągają. Siła przyciągania nie jest jednak siłą jedyną, jaka istnieje pomiędzy ciałami. W naturze występują bardzo różne oddziaływania. Magnes przyciąga żelazo. Lecz tenże magnes odpycha inny magnes zwrócony doń biegunem — jak to się nazywa — jednoimiennym z nim. Grzebień ebonitowy, potarty o sukno, przyciąga skrawki papieru — jest to oddziaływanie elektryczne, które jednak wywołuje pewien skutek, nazywany mechanicznym, to znaczy związany z ruchem jakiegoś ciała.

Uderzenie, ściskanie, posuwanie, rzucanie itd. wszystko to są działania m e c h a n i c z n e. Wiemy, że w każdym wypadku są one wzajemne, obustronne. Działania te czasem są słabe, czasem bardzo silne. Po skutkach sądzimy o tym, że przy jakimś oddziaływaniu wystąpiła mała, albo duża siła. Lecz „mała" i „duża" siła to są słowa, które każdy może inaczej rozumieć. Urwis gdy trzepnie swego kolegę, to zawsze tłumaczy się, że „ja go tylko dotknąłem". A tamten beczy. Nasz król August Mocny zginał

w rękach podkowy i prawdopodobnie uważał, że do tego nie trzeba dużej „siły".

Musimy więc ustalić miarę sił. Nie jest to wcale sprawa łatwa.

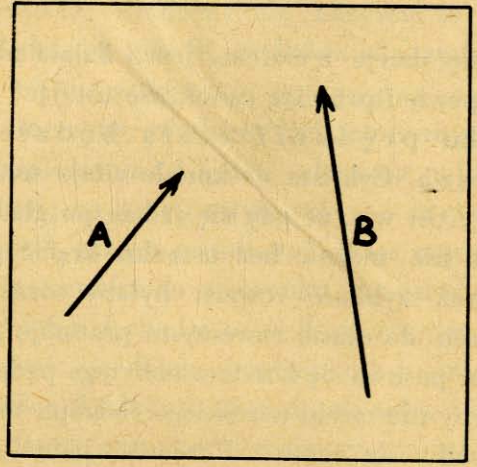
Dla określenia wielkości sił, Newton ustalił przede wszystkim, że siłą będziemy nazywać każde z tych dwóch równych i przeciwnie skierowanych działań, jakie ciała na siebie wywierają. Siły zatem zawsze będą miały określony kierunek i wielkość, którą właśnie mamy nauczyć się mierzyć. Na rysunkach podaje się, aby zaznaczyć działanie jakiejś siły, strzałkę, której długość w umówionych jednostkach oznacza wielkość, a wskaźnik oznacza kierunek w jakim działa siła.

Pomiar sił opieramy na nowym, tzw. drugim prawie Newtona, które brzmi:

„Zmiana ruchu ciała odbywa się zawsze w kierunku działania siły, która tę zmianę powoduje. Jeżeli na to samo ciało kolejno działa kilka sił, to zmiana ruchu tego ciała będzie za każdym razem tyle razy większa (lub mniejsza), ile razy siła działająca była większa (lub mniejsza)".

Przypuśćmy, że gramy w krokieta. Uderzamy kulę młotkiem i notujemy jak daleko się potoczy. Przy-

puśćmy, że kula zatrzymała się w odległości 5 metrów. Robimy to samo po raz drugi, lecz uderzamy mocniej. Kula zatrzyma się, dajmy na to, w odle-



Rys. 31. Umówimy się w ten sposób oznaczać wszelkie siły, działające na ciała fizyczne. Siła B jest większa od siły A i inaczej skierowana.

głości 15 m. Możemy teraz śmiało twierdzić, że siła uderzenia za drugim razem była 3 razy większa. Jeżeli oczywiście, była to ta sama kula, ten sam młotek i ten sam teren, po którym kula się toczyła.

Dlaczego 1 kilogram lżejszy jest od 5 kilogramów? Śmieszne pytanie, prawda? Jednak teraz możemy już odpowiedzieć i na takie pytanie zupełnie rozsądnie:

— Dlatego, że siła przyciągania ziemskiego wywierana na ciężarek z nadpisem „5 kg" jest 5 razy większa, niż siła wywierana na ten drugi ciężarek.

Co się dzieje z ciałem, jeżeli działa na nie siła przez pewien przeciąg czasu, nie ustając? W takim wypadku prędkość ciała będzie coraz większa. Cyklista doskonale zdaje sobie z tego sprawę. On wie, że gdy się jedzie po gładkiej drodze, to nie można bez ustanku kręcić pedałami, ponieważ szybkość roweru byłaby coraz większa. Od czasu do czasu rowerzysta przestaje pracować, a rower posuwa się kosztem nabytego pędu. Wiemy, że gdyby nie tarcia wszelkiego rodzaju, to ruch ten odbywałby się zawsze. Ponieważ jednak owe tarcia (łożysk w osiach, opon o bruk, łańcucha o tryby itd.) zużywają bezwładność roweru, więc po pewnym czasie trzeba „dodać gazu". I tak w każdym wypadku. Maszynista lokomotywy, pędzącej w terenie równinnym, co pewien czas zamyka parę. Kierowca samochodu, gdy jedzie równą szosą, wyłącza w pewnych chwilach silnik. Nawet koń pociągowy rozumie, że gdyby zjeżdżając z góry z ciężkim wozem, ruszył wesoło z kopyta, to by prędko sobie nogi połamał, bo wóz nabrałby szalonej szybkości:

dlatego podczas zjazdu stara się hamować napierający nań wóz.

A więc każde ciało przy działaniu stałej siły nabiera prędkości. Umówmy się nazywać to trochę inaczej. Będziemy mówili, że każda siła, stale działająca na ciało, nadaje mu przyśpieszenie. Czy kula uderzona młotkiem krokietowym nie nabrała przyśpieszenia? Choćby uderzona najsłabiej. Zatoczenie się na parę centymetrów — to przecież jest „prędzej", niż po prostu stać. Więc nawet drobny ruch w stosunku do spoczynku jest przyśpieszonym. Przecież nie chodzi o wielkość różnicy tylko o fakt, że coś się dzieje prędzej, niż poprzednio. Trzeba bardzo dokładnie uświadomić sobie tę sprawę, bo w nauce o ruchu ważniejszym czynnikiem jest przyśpieszenie, niż prędkość. Prędkość ciała to zawsze wynik jakiegoś przyśpieszenia. Znając przyśpieszenie możemy zawsze naprzód obliczyć prędkość w dowolnej chwili. [1]

Z tym przyśpieszeniem to tak jak z procentami. Kupiec, gdy przychodzi do banku, to nigdy nie pyta,

---

[1] Dokładniej można określić przyśpieszenie jako stosunek przyrostu szybkości do czasu. Albo innymi słowy jest to taka wielkość, o którą wzrasta szybkość ciała w ciągu określonej jednostki czasu (np. 1 sekundy).

ile on będzie miał pieniędzy za rok, tylko pyta, jaki procent bank daje. Bo on wie, że gdy się zna procent, to łatwo obliczyć, ile z jego pieniędzy narośnie kapitału za rok, za dwa, czy choćby za tysiąc lat. Jest to liczba dla niego najważniejsza. Podobnie stoi sprawa z przyśpieszeniem w fizyce. Badając siłę, interesuje nas przede wszystkim, jakie przyśpieszenie nadaje ona jakiemuś ciału.

A gdy to wiemy, to potrafimy zawsze obliczyć siłę. Jakże to się robi?

Wiemy co to jest masa. Przypominamy sobie, że jest to miara bezwładności ciała, taka jego cecha, która nam daje wyobrażenie o wysiłku, jaki trzeba włożyć, aby ciało ruszyć z miejsca.

Newton w swoim drugim prawie ruchu, które zostało wyżej przytoczone, wypowiedział myśl, że gdy się pomnoży masę ciała przez przyśpieszenie, jakie ono otrzymało, to otrzyma się siłę, która to przyśpieszenie nadała. To zupełnie tak, jak w sklepiku. Mam ilość towaru i mam jego cenę. Gdy jedno przez drugie pomnożę, to otrzymam „siłę" pieniędzy, jakie muszę zapłacić kupcowi.

Gdy ta sama siła działa na większą masę, to przyśpieszenie będzie mniejsze. Gdy muszę wydać tę samą ilość pieniędzy, a chcę więcej towaru, to biorę towar tańszy: cena musi być mniejsza.

Jeżeli na to samo ciało będzie działać większa siła, to przyśpieszenie nadane ciału będzie większe. I znów jak w sklepiku. Jeżeli za tę samą ilość towaru zapłaciłem więcej pieniędzy, to znaczy, że cena była wyższa.

Zresztą w życiu codziennym coraz to spotykamy przykłady tego prawa fizycznego. Ten sam człowiek ruszy z miejsca cegłę, lecz nie uczyni tego z kamieniem, dużym jak stół. Tam była masa mała i siła człowieka nadała jej pewne przyśpieszenie, ruszając z miejca. W drugim wypadku masa była tak duża, że ta sama siła nie mogła nadać jej żadnego przyśpieszenia. Gdyby kamień był mniejszy, to może by ten człowiek zdołał wolniutko go ruszyć. A im kamień byłby mniejszy, tym ruch ten byłby większy, a więc ta sama siła nadałaby większe przyśpieszenie.

W jakich jednostkach będziemy wyrażali siły? Zależy to od umowy. W myśl tego, cośmy powiedzieli o sile, można za jednostkę siły przyjąć taką wielkość, która masie 1 grama nada przyśpieszenie, wyrażające się również jednością — mianowicie taką, która oznacza, że w ciągu 1 sekundy szybkość

tego 1 grama stała się większa o „1 centymentr na sekundę". Tak np. gdy nasza masa 1 grama poruszała się, dajmy na to, z szybkością 5 cm na sek., to po 1-sekundowym działaniu siły, równej naszej jednostce, masa ta będzie miała już szybkość 6 cm na sek. Taką jednostkę siły przyjęto nazywać d y-n-ą. Dyna jest niezmiernie mała, toteż do pomiarów sił w praktyce trzeba używać jednostek znacznie większych, będących jej wielokrotnością.

W praktyce są stosowane często inne jednostki sił, mianowicie przyrównane do jednostek ciężaru mas, a więc do siły przyciągania tych mas przez ziemię. Za podstawową jednostkę siły w takim układzie miar przyjęto siłę, z jaką ziemia przyciągą masę 1 grama czyli krótko: ciężar 1 grama.

W ciężarowym układzie sił będziemy mówić np. że naładowany wóz koń musi ciągnąć z siłą 50 kilogramów, na podniesienie wiadra wody trzeba użyć siły 10 kg, dany kawak drutu rwie się przy działaniu na rozciąganie siłą 15 kg — itd.

Użycie tych samych nazw nie świadczy jednak wcale, że siła i masa — to jest to samo. Dla odróżnienia często nawet używa się innego sposobu pisania: na oznaczenie masy pisze się skrócone słowo „gram" z małej litery np. 10 gr; na oznaczenie

siły pisze się to samo słowo z litery dużej np. siła 15 Gr.

W następującej tablicy podane są jednostki ciężarów, używanych jako jednostki sił

Nazwa jednostki ciężaru	Ilość gramów	Porównanie
Miligram	1/1000	prawie tyle co 1 dyna
Centygram	1/100	kropla drobnego deszczu
Decygram	1/10	
Gram	1	moneta jednogroszowa
Dekagram	10	w skrócie często mówimy „deka"
Hektogram	100	w handlu nazywają „10 deka"
Kilogram	1000	w przybliżeniu tyle waży 1 l tr czystej wody. Jest to miara siły przyjęta w technice
Centnar	100 kg	
Tona	1000 „	tyle waży w przybliżeniu 1 metr sześcienny wody

Warto się nad tym zastanowić...

1. Wagon kolejowy należy przetoczyć na inne miejsce. Lokomotywy, która by mogła to zrobić, chwilowo nie ma. Jeden robotnik stara się popychać wagon, który wolno rusza. Potem przystąpiło 5 robotników nowych do pomocy tamtemu. Ile razy prędzej wagon się potoczy?
2. Na wzgórzu stoją dwa wiatraki różnej wielkości, lecz skrzydła mają jednakowe. W większym

z nich żarna są 2 razy większe, niż w mniejszym. Czy z jednakową szybkością będą się obracały kamienie młyńskie? Jeżeli będzie różnica, to jaka? Uzasadnić odpowiedź.

3. Dwóch lekkoatletów porównuje swoje siły, biorąc do próby ciężką ołowianą kulę, którą kolejno rzucają przed siebie. Pierwszy z nich rzucił kulę na 20 metrów, drugi na 15 m. Który jest silniejszy i ile razy?

Rozdział VIII.

PRZYGODY JEDNEGO KILOGRAMA.

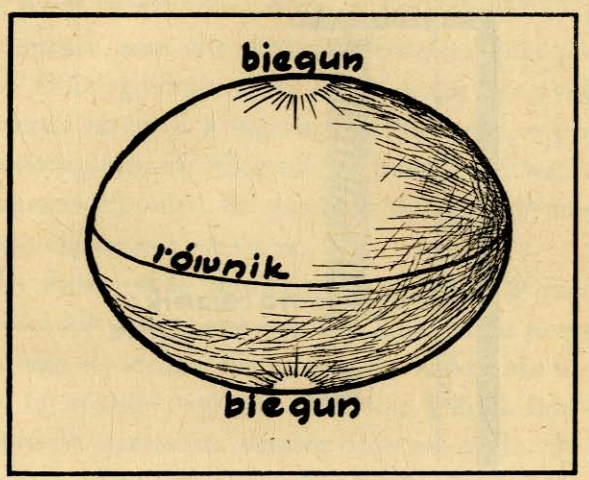
Ciężar ciała też jest wynikiem działania siły, mianowicie siły przyciągania ziemskiego. Ziemia nadaje ciałom zawsze to samo przyśpieszenie, co już wykrył Galileusz, gdy robił swoje doświadczenie na pochyłej wieży w Pizie. Siła, z jaką dane ciało jest przyciągane do ziemi, w życiu potocznym nosi nazwę ciężaru ciała.

Czy masa i ciężar ciała jest to samo? Otóż okazuje się teraz, że to są zupełnie różne rzeczy. Masa to jest rzecz w ciele niezmienna; gdziekolwiek by ciało się znalazło, zawsze będzie miało tę samą masę. Lecz ciężar nie zawsze jest ten sam. Nie trudno zrozumieć, że im dalej od ziemi, tym przyciąganie jej będzie słabsze, bo przecież każde oddziaływanie jest tym słabsze, im z większej odległości występuje. Centrum przyciągania ziemi jest w jej środku. Jeżeli od tego środka się oddalamy, to przyciąganie się zmniejsza. Lotnik

balonowy, który się wzniósł do góry na wysokość 10 km. odczuwa przyciąganie ziemi mniej, niż wtedy, gdy wyląduje na ziemi. Umówiliśmy się jednak wyrażać to inaczej. Przyciąganie ziemi to jest siła, a każda siła działająca wywołuje przyśpieszenie ruchu. Możemy wyrazić się fachowo, że w miarę jak ciała oddalają się od środka ziemi, przyśpieszenie nadawane im przez siły przyciągania ziemskiego, ulega zmniejszeniu. Przypominamy sobie, jak przed chwilą twierdziliśmy, że chcąc mierzyć siłę, trzeba pomnożyć masę ciała przez nadane mu przyśpieszenie. Więc siłę przyciągania ziemskiego będziemy mierzyć tak samo. A to właśnie nazywamy ciężarem ciała.

Skoro ciężar ciała zależy od masy i przyśpieszenia, nadawanego przez ziemię, to zrozumiałym jest, że gdy jedno albo drugie ulega zmianie, to i ciężar się zmieni. Masa jest niezmienna. A czy przyśpieszenie ziemskie ulega zmianie? Oczywiście. Właśnie ten lotnik, który się wzniósł balonem do stratosfery, będzie u góry lżejszy. Górnik, który się opuszcza na dno głębokiego szybu staje się nieco cięższy (lecz tylko do pewnej głębokości). Dokładne pomiary stwierdziły, że przy wznoszeniu się o 1 km. w górę ciało traci 1/5000 część swojej wagi.

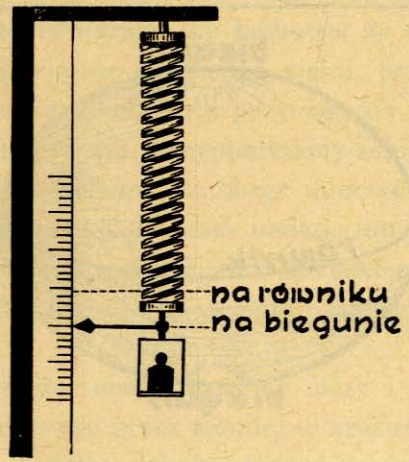
Z m i a n a c i ę ż a r u nie tylko zależy od wzniesienia nad poziomem morza. Występuje ona też ze zmianą miejsca na ziemi. Sekret tkwi w tym, że ziemia nie jest dokładną kulą: jest ona trochę „pękata



Rys. 32. Ziemia nasza jest kulą, spłaszczoną na biegunach, poszerzoną na równiku. Rysunek wskazuje to spłaszczenie ze znaczną przesadą, w rzeczywistości jest ono znacznie mniejsze.

w pasie“ tzn. na równiku, natomiast jakby spłaszczona na biegunach. Wskutek tego, biegun jest bliższy środka ziemi niż równik. Innymi słowy eskimosi, gdyby chcieli się dogrzebać do środka ziemi, to mieliby znacznie mniej roboty, niż murzyni z Kon-

go, albo Indianie znad Amazonki. Do środka ziemi od bieguna jest prawie 22 km bliżej niż od równika. Skoro tak sprawy stoją, to jasnym jest, że na równiku ciała muszą ważyć nieco mniej, niż na



Rys. 33. Różnica siły przyciągania ziemskiego na równiku i na biegunie, którą wykazuje waga sprężynowa.

biegunach. Tak też w rzeczywistości jest, chociaż różnica ta jest niezmiernie mała.

Jak można by było fakt ten stwierdzić praktycznie? Ktoś może odpowiedziałby: zważyć tu, zważyć tam — i porównać. Zważyć, ale jak? Na zwykłej wadze szalkowej o dwóch szalkach? Otóż nie! Ten

przyrząd nic by nie wykazał, ponieważ odważniki, które kładziemy na szalki ulegają tym samym zmianom ciężaru, co i przedmiot ważony. Trzeba więc zdobyć się na inny przyrząd. Takim przyrządem będzie waga sprężynowa. Stopień rozciągania sprężyny, wykaże nam siłę, która to rozciągnięcie powoduje. Otóż gdybyśmy tą samą wagą sprężynową zmierzyli ciężar 1 kilograma na biegunie, a potem zajechalibyśmy do Abisynii,[1] i powtórzyli ważenie, to zauważylibyśmy, że sprężyna wyciąga się mniej, a więc ciężar jest mniejszy.

Czy duże jest to zmniejszenie ciężaru? W rzeczywistości jest ono tak niewielkie, że żadnym przyrządem tego stwierdzić nie można, bo żaden nie potrafiłby tej różnicy wykazać. Mimo to jednak fakt ten stwierdzili uczeni na drodze doświadczenia. Pomogła tutaj ta okoliczność, że jeszcze inne czynniki wpływają na zmniejszenie ciężaru ciał na równiku. Wszystko więc razem daje wynik już dostrzegalny na przyrządach. I tak stwierdzono, że każdy 1 kilogram ciężaru na biegunie staje się o 5 gramów lżejszy na równiku. A więc np. korpulentna osoba, któraby ważyła na biegunie 100 kg podczas wycieczki do centralnej Afryki straciłaby pozornie na wadze

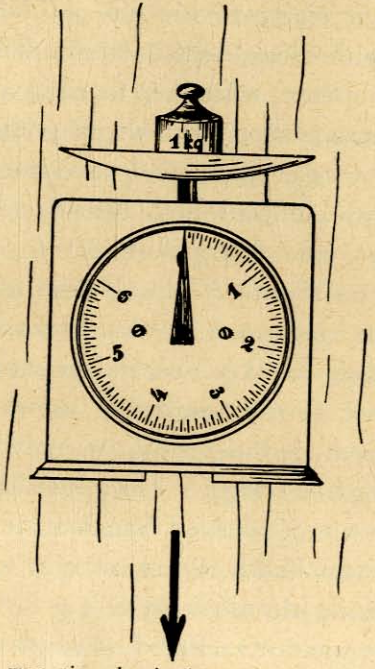
[1] Abisynia leży niedaleko od równika ziemskiego.

½ kg (o ileby ważono ją na tej samej wadze sprężynowej). Okręt, który waży 15 tysięcy ton jeżeli wyruszy z wyprawą polarną z Gdyni na biegun południowy, to w swej podróży będzie ulegał pozornym zmianom ciężaru: raz będzie cięższy, raz lżejszy. Z początku będzie stale tracił na wadze i gdy dojdzie do jakiegoś portu środkowej Afryki, będzie lżejszy o 37 ton. Gdy wyruszy z tego portu w dalszą podróż, zacznie na wadze przybierać i zbliżając się do Ziemi Ognistej w Południowej Ameryce, będzie miał ten sam ciężar, co w Gdyni. Jeżeli uda mu się osiągnąć biegun, to będzie już cięższy o 40 ton, w stosunku do tego, co ważył w Gdyni.

Wszystkie te figle pochodzą stąd, że ciężar — to masa ciała pomnożona przez przyśpieszenie ziemskie. Masa zachowuje się niezmiennie, jest w ciele czynnikiem jego solidności, a kto wyprawia te całe brewerie — to siła przyciągania ziemskiego. Ale my też możemy zrobić tej sile kawał: możemy ją po prostu unicestwić. Siłę ciężkości? Tak jest. Zrobimy tak, że jej nie będzie. To znaczy, że ciało nie będzie miało wagi. Bajki? Nie — tylko najoczywistsza prawda. Proszę się przekonać.

Bierzemy wagę jedno-szalkową i kładziemy, dajmy na to odważnik 1 kg. Widzimy, że wskazówka

wychyliła się na cyfrę 1000 tj. tysiąc gramów, czyli 1 kg. Ujmujemy teraz wagę w ręce i każemy komuś stanąć przed nami i uważać na wskazówkę. Następnie ruchem ku dołowi opuszczamy wagę: jeżeli ruch będzie taki sam, jak przy spadaniu, to w ciągu tego „spadania“ wskazówka wróci na zero. Będzie wyglą-



Rys. 34. Spadająca waga nie wykazuje ciężaru odważnika 1-kilogramowego, który na niej leży i razem z nią swobodnie spada w dół.

dało, że kilogram, który leży na szalce nic nie waży. Omyłka? Robimy jeszcze raz. To samo. Co się stało? Rzecz bardzo prosta.

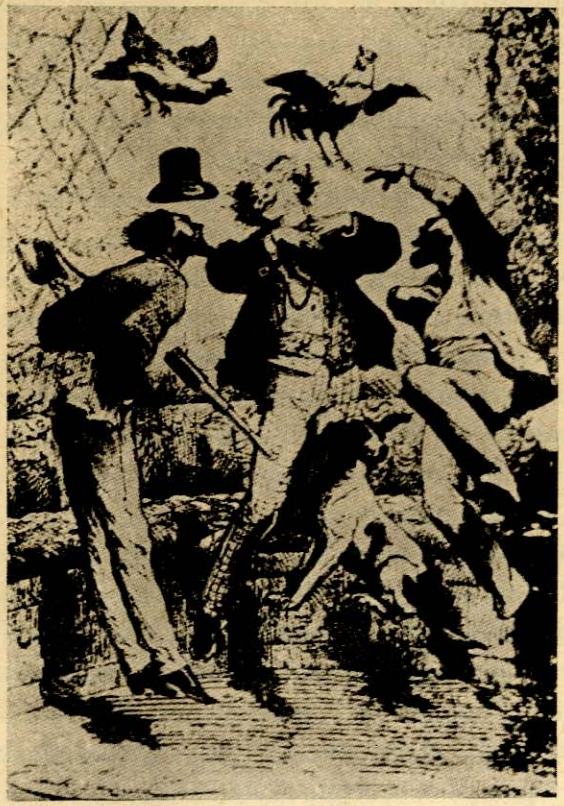
Jeżeli ciężar ciała, to nic innego, jak działanie siły przyciągania ziemskiego, a siła ta działa zawsze, wszędzie i poprzez wszystko, to gdy ciału nie dajemy swobodnie spadać, czyli czymś podpieramy go, musi ono wywierać na tę podstawę nacisk, co doskonale przecież odczuwamy. Nacisk na podstawę, to nic innego, jak chęć pokonania tej przeszkody i spadnięcia na ziemię. Wielkość tego nacisku rejestruje nam na wadze wskazówka, która się wychyla na odpowiednią kreskę. Lecz jeżeli sama waga zaczyna spadać, to czy może być mowa o nacisku. Przecież razem, jednocześnie, w największej zgodzie — odważnik i waga — lecą ku ziemi, więc co na co ma wywierać nacisk? Nacisku nie ma, a więc i waga nam tego faktu nie rejestruje: wygląda tak, jakby odważnik nic nie ważył.

Podobne zjawisko zachodzi w windzie górniczej, w której zerwała się lina. Wypadki takie czasem w kopalniach się zdarzają. Gdy winda spada na dno kopalni, ludzie w niej się znajdujący, niejako przestają ważyć. Gdyby który z nich w takim momencie podskoczył, to jużby tak „w powietrzu" i pozostał:

na podłogę windy nie spadłby. Dopiero na dnie szybu, gdy winda się zatrzyma, wszystko wróci do dawnego porządku. Niestety jednak nieszczęśliwi świadkowie tego doświadczenia nie mogą nigdy swoich spostrzeżeń nikomu opowiedzieć, bo zawsze giną tragicznie na dnie szybu.

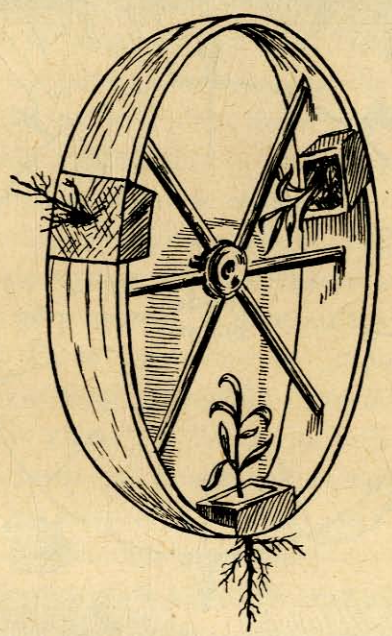
Autor pięknych fantastycznych powieści Juliusz V e r n e opisuje wypadek, gdy również siła ciężkości przestała działać. Stało się to... między ziemią a księżycem, w miejscu gdzie dwie przeciwne siły przyciągania tych planet wzajemnie się kasowały; i ludzie i rzeczy w wagonie międzyplanetarnym zachowały się na wzór aniołów, wznoszących się w powietrzu, lub też fruwających stolików, pokazywanych przez kuglarzy.

Znakomity botanik K n i g h t, który żył w końcu XVIII i na początku XIX wieku, jeszcze dowcipniej zakpił sobie z prawa ciężkości. Wiemy, że rośliny kiełkują w ten sposób, że korzenie puszczają w głąb ziemi, zaś łodygi idą do góry. Otóż uczony ten umieścił doniczki z nasionami na kole, które potem zostało wprawione w ciągły ruch. Szybkość obrotu koła była dobrana tak, aby powstała dosyć znaczna siła odśrodkowa. Przez siłę tę rozumiemy działanie obracającego się ciała na sznurek, którym przymocowa-



Rys. 35. Tak Vernd przedstawił los swoich podróżników międzyplanetarnych, gdy się znaleźli w strefie jednakowego przyciągania między ziemią a księżycem.

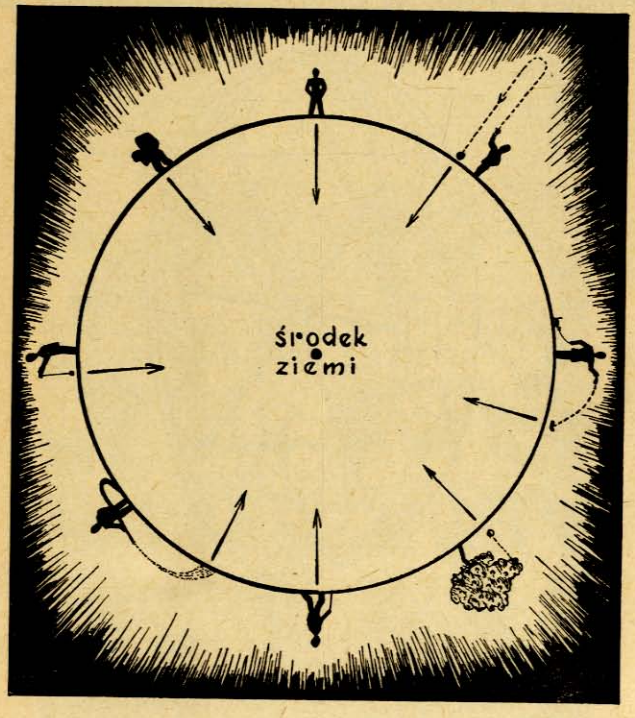
ne jest do środka. Przykład: w procy podczas kręcenia występuje ta siła, napinająca sznurek, który trzymamy w ręku. Na karuzeli również czujemy jak



Rys. 36. Doświadczenie Knighta.

ta siła odśrodkowa wyrzuca nas na zewnątrz. Otóż Knight nadał obroty kołu takie, że siła odśrodkowa „ciągnęła" doniczki na zewnątrz. I cóż się okazało. Kiełkujące w doniczkach nasiona puściły pędy skie-

rowane do środka koła, natomiast wszystkie korzenie wyrosły w kierunku na zewnątrz koła: poszły



Rys. 37. Jesteśmy trzymani na ziemi siłą jej przyciągania. Wszystkie ciała fizyczne dążą w kierunku środka ziemi.

one tam gdzie je więcej ciągnęło. Siła przyciągania ziemskiego została zastąpiona przez siłę odśrodkową

i roślina wydała korzenie w kierunku tej większej siły. Roślina niejako zastosowała się do tej innej, sztucznej ciężkości, bo ta była silniejsza. A może po prostu zdawało się jej, że wszystko jest po staremu, że tam gdzie ją „ciągnie" jest „dół", jest ziemia.

Przykład ten potwierdza starą prawdę, że wszystko na świecie jest względne. Świat nie jest takim, jakim go sobie wyobrażamy — zmysły nasze łudzą nas na każdym kroku tak samo, jak ta roślinka miała złudzenie, że rośnie ku dołowi. Tak samo dziwnym nam się wydaje, że Amerykanie w stosunku do nas są do góry nogami. A przecież tak w rzeczywistości jest. To co nazywamy, że „stoimy na ziemi" w rzeczywistości należałoby mówić „jesteśmy przyklejeni do ziemi". I dlatego na kuli ziemskiej jesteśmy oblepieni jak muchy na wiszącym żyrandolu. Każdy ma swój „dół" i swoją „górę". Lecz we wszechświecie takich miejsc nie ma — są tylko kierunki, w których działa taka lub inna siła, przede wszystkim siła powszechnego ciążenia.

Warto się nad tym zastanowić...

1. Wiadomo, że na księżycu siła przyciągania jest 6 razy mniejsza niż na ziemi. Czy atletę popisującego się w cyrku podnoszeniem jedną ręką

100 kilowego ciężaru, również podziwialibyśmy na księżycu?

2. Murzyn znad rzeki Kongo (nad równikiem) wybrał się w podróż do bieguna południowego. Ważył u siebie w domu 70 kg. Czy po przybyciu na biegun będzie tyleż samo ważył? Jaka będzie pozorna różnica ciężaru?
3. Jakiego rodzaju wagę musiałby ten Murzyn ze sobą zabrać, aby stwierdzić różnicę w swoim ciężarze?
4. Czy kamień spadający na ziemię, podczas spadania coś waży?
5. Pewien podróżnik wyruszył z Warszawy do południowej Afryki, słynnej z bogatych złóż diamentowych. Do podróży zabrał ze sobą bardzo dokładną wagę sprężynową. Po szczęśliwych poszukiwaniach podróżnikowi temu udało się znaleźć ładny okaz diamentu. Po zważeniu na swoim przyrządzie stwierdził, że kamień waży 200 gramów, po czym zapakował i przesłał do Warszawy swemu sekretarzowi, polecając kamień sprzedać. Po tygodniu sekretarz przekazał sumę pieniężną, stanowiącą równo-wartość 200 gr diamentu. Czy sekretarz podróżnika zarobił coś na tym interesie?

6. Samolot bombardujący zabrał na pokład 200 kg bomb. Czy bomby te będą tyleż samo ważyły, gdy samolot wzniesie się na wysokość 5 km? Obliczyć, jaka będzie różnica wagi. Czy ta różnica ma jakiekolwiek praktyczne znaczenie?
7. Gdzie jest trudniej górnikowi dźwigać po równi wypełniony wózek węgla: na dnie kopalni, czy na powierzchni ziemi?
8. Wyobraźmy sobie, że zbudowano armatę, która może strzelać na odległość księżyca. Czy pocisk tej armaty, wystrzelony do celu oddalonego tak samo jak księżyc, ważył by tam tyleż, co na ziemi?

Rozdział IX.

W PRACOWNI PANI NATURY.

A teraz rozejrzyjmy się naokoło siebie i po dalekich światach i zobaczymy, jak prawo powszechnego ciążenia objawia się w naturze. Właściwie cały układ rzeczy, otaczających nas, dlatego jest takim a nie innym, że podlega temu prawu. Gdyby raptem prawo to przestało panować w przyrodzie, na pewno bylibyśmy świadkami bardzo dziwnych rzeczy. I nie tylko świadkami. Sami przecież podlegamy w każdym momencie temu wszechwładnemu prawu i gdyby niespodziewanie przestało nami rządzić odczulibyśmy na sobie tę zmianę bardzo wyraźnie, a może nawet i dotkliwie.

Nie warto się zastanawiać nad takimi zjawiskami, które są zbyt proste, aby można było mieć wątpliwość, czy tam działa siła przyciągania. Runął na przykład dom. Niewątpliwie wytłumaczymy to tym, że z chwilą, kiedy zaprawa wapienna pomiędzy cegłami się rozluźniła, mur nie mógł dłużej wytrzymać przyciągającego działania ziemi i cegły zaczęły pojedynczo i całymi stosami spadać ku tej właśnie ziemi.

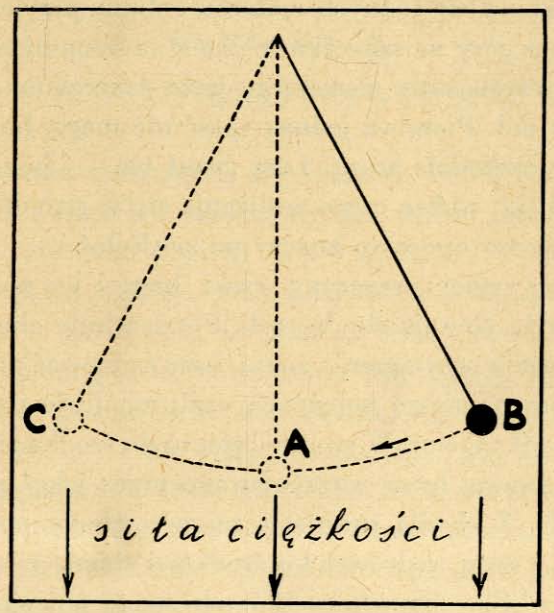
W zimie bez żadnych motorów robimy przyjemne zjazdy z góry na saneczkach. Znów ta sama historia. Siła przyciągania ziemskiego każe saneczkom spadać w dół. Pionowo jednak spaść nie mogą, bo stoi na przeszkodzie grunt. Lecz grunt ten — śnieg — jest śliski, wobec czego ześlizgują się w stronę najmniejszego oporu to znaczy po pochyłości.

Z tej samej przyczyny rzeki biegną ku morzu, strumyki zlewają się do rzek. Powszechnie obowiązująca siła przyciągania ziemi, każe zajmować przedmiotom najniższe położenie, czyli możliwie najbliżej środka ziemi. W swoim dążeniu do środka ziemi, ciało zawsze bywa zatrzymywane przez jakąś przeszkodę. Z chwilą usunięcia tej przeszkody podąża dalej w swej wędrówce ku środkowi ziemi.

Oto kilka zjawisk, w których często ani się domyślamy, że nieraz jedyną przyczyną ich jest właśnie siła przyciągania ziemskiego.

W a h a d ł o. Widzimy w zegarze jak w ciągu nocy i dnia porusza się regularnym ruchem w obie strony wahadło. Wahadło można obserwować nie tylko w zegarze. Każdy ciężarek, zawieszony na nitce,

stanowi wahadło. Ten ruch w jedną i drugą stronę stanowi wynik przyciągania ziemi. Jeżeli wychylimy ręką główny ciężarek wahadła, to przez to pod-



Rys. 38. Ruchy zwykłego wahadła.

nosimy go nieco wyżej. Gdy zwolnimy, to będzie chciał spaść na ziemię. Trzyma go jednak sznurek, którym jest przytwierdzony do punktu zawieszenia, więc pionowo do ziemi spaść nie będzie mógł. „Spada" więc po łuku koła, które sam zatacza. W czasie

tego ruchu dochodzi do tego miejsca, w którym się znajdował, będąc w stanie spoczynku. Nie zatrzyma się jednak, ponieważ w myśl prawa bezwładności będzie chciał gnać dalej. Więc mija w największym pędzie punkt A (patrz rysunek) i podąża do punktu C. Lecz w tej drugiej części wędrówki siła przyciągania przeszkadza mu w tym wspinaniu się do punktu C, aż wreszcie zmoże ten ruch, każe ciężarkowi zatrzymać się w punkcie C i — po chwili namysłu — wracać do punktu A.

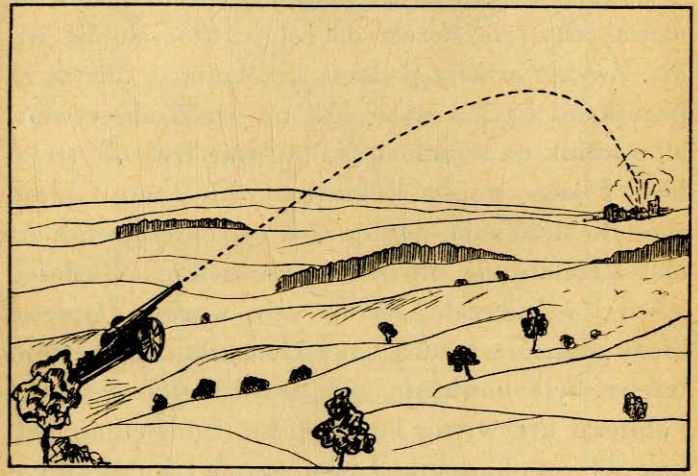
W tym powrotnym ruchu siła ciężkości, ściągając ciężarek ku dołowi, pomaga mu w ruchu, więc ten biegnie do punktu A ruchem coraz szybszym, a więc przyśpieszonym. I znów w pędzie mija punkt A, dąży do punktu B, siła ciężkości znów zaczyna go przytrzymywać, zmusza do zawrócenia itd. Czyli cała historia powtarza się od początku. W ten sposób wahadło poruszałoby się wiecznie. W warunkach rzeczywistych jednak stoi temu na przeszkodzie tarcie w miejscu umocowania nici, na której wisi ciężarek, oraz opór powietrza. Tarcie to, chociażby nawet bardzo małe, działając stale, powoduje to, że za każdym razem ciężarek zawraca w miejscu co raz to bliższym do punktu A, aż wreszcie wahania ustaną zupełnie.

W zegarach ściennych, aby przeciwdziałać tym oporom robi się mechanizm sprężynowy. Sprężyna (nakręcona) podsyca ruch wahadła, niwecząc w ten sposób opóźnienie jakie może powstać wskutek tarcia. Gdy sprężyna się rozkręci, a więc gdy nie ma już siły dodatkowej na pokonanie tarcia, zegar staje. Wiemy to z doświadczenia, że w takim wypadku trzeba zegar na nowo nakręcić.

Widzimy, że w zjawisku wahania odgrywa główną rolę siła ciężkości. Gdyby jej nie było, ciężarek raz wyrzucony obracałby się naokoło punktu zaczepienia stale, bo nic nie zmuszałoby go do zmiany kierunku ruchu. Siła przyciągania ziemskiego powoduje to, że wahadło miarowo porusza się w jedną i w drugą stronę.

Lot pocisku armatniego. Pewien żołnierz, dopiero co powołany do wojska, bardzo się zdziwił, że strzelając do nieprzyjaciela, ukrytego gdzieś w oddalonych okopach, mierzy się armatą w niebo. Zdawało mu się, że pocisk powinien prościutko lecieć do wymierzonego celu. Byłoby tak w istocie, gdyby nie istniała siła przyciągania ziemi. Siła ta wywołuje ten fakt, że gdy wymierzamy prosto do celu, wystrzelony pocisk zaryje się w ziemię prawie tuż przed armatą. Nie pozwoliła ona le-

cieć pociskowi po linii prostej, ściągnęła go na ziemię. Cóż więc trzeba zrobić w takim wypadku. — Oczywiście należy tak obliczyć lot pocisku, aby zanim siła przyciągania ziemi zmusi go do upadku,



Rys. 39. Lot pocisku armatniego.

zdążył dolecieć do celu. Dlatego wymierzyć trzeba „wyżej". Nie ma obawy: pocisk na księżyc nie zaleci, ale za to siła ciężkości będzie musiała dłużej pracować i pocisk zdąży dolecieć do celu.

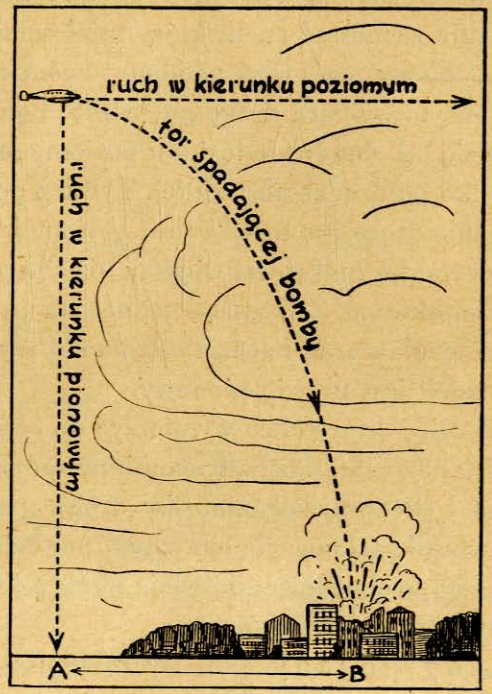
Tor więc pocisku armatniego jest zawsze krzywy. Krzywizna ta zależy zarówno od podniesienia lufy armaty, jak też od siły ładunku wybuchowego, który

wyrzuca pocisk z lufy. Oficerowie, którzy strzelają z dział, umieją obliczać zarówno jeden jak i drugi czynnik, osiągając w ten sposób bardzo dużą celność.

Łukowy kształt toru pocisku pozwolił na to, że dzisiaj artyleria strzela do celów, których nie widzi. Zwykle armaty podczas strzelania są ukryte za pagórkami i tylko wysunięty na przód obserwator, albo lotnik na samolocie, kontrolują trafność strzałów. Jeszcze wojska Napoleona nie znały takiego sposobu strzelania, ponieważ w owych czasach z armat strzelało się na bardzo niewielkie odległości, a więc wymierzało się do celu wprost. Dopiero, kiedy zdołano wyrzucać pociski na kilka kilometrów, trzeba było poważnie się liczyć z siłą ciężkości i obliczać krzywy tor lotu pocisku. Umiejętność jednak takiego obliczania dzisiaj została tak daleko posunięta, że podczas wojny światowej Niemcy potrafili ostrzeliwać Paryż z odległości 120 km.

B o m b a l o t n i c z a. Każdy myśliwy wie, że chcąc strzelać do pędzącego zająca trzeba celować nie w niego, lecz przed niego. Bo zanim kula doleci do zająca, ten przebiegnie już kawałek drogi. Oko dobrego myśliwego umie tę odległość (czyli wyprzedzenie) trafnie ocenić.

Coś podobnego musi czynić lotnik, który chce zrzucić bombę na jakiś cel na ziemi. Jeżeli będzie



Rys. 40. Spadanie bomby z samolotu. Lotnik musi się liczyć z odstępem AB. Jeżeli chce trafić w punkt B, to musi wyrzucić bombę w chwili przelotu nad punktem A.

zrzucał bomby w momencie, gdy przelatuje nad celem — nigdy do niego nie trafi. Dlaczego? Rzecz

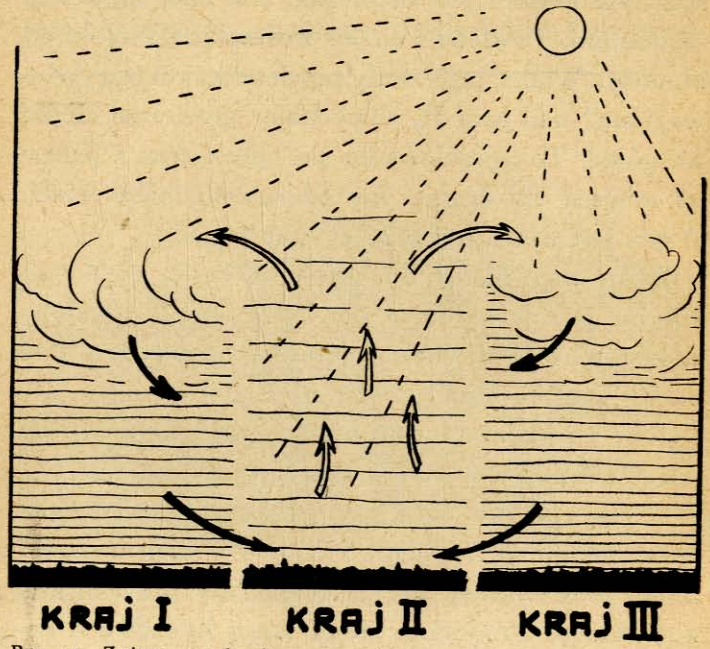
bardzo prosta. Ruch bomby jest wywołany przez dwie siły: siłę przyciągania ziemi i siłę bezwładności. Pierwsza każe lecieć jej pionowo ku ziemi, druga nakazuje zachować ruch, który miał samolot tj. poziomy. Kiedy coś jest poddane dwóm różnym działaniom, to wybiera drogę pośrednią. Bomba zachowuje się tak samo: nie leci ani poziomo, ani pionowo, tylko po drodze pośredniej. Tylko z początku ta pośrednia droga jest bliższa linii poziomej, bo pęd bomby w tym kierunku jest większy niż siła przyciągania ziemskiego. Z czasem jednak ta przeważa i bomba spada coraz bardziej stromo. Przy samej ziemi spadek jest prawie pionowy.

Lotnik więc, który chce wymierzyć do określonego punktu na ziemi, musi tak skombinować szybkość samolotu i siłę przyciągania, aby droga spadającej bomby właśnie zakończyła się w tym punkcie. Pewne przyrządy celownicze ułatwiają zwykle lotnikom wykonanie tych rachunków.

Zmiany pogody. Któż by przypuszczał, że w zawiłą sprawę zmiany pogody również jest zamieszana siła przyciągania ziemi. Nie jest wprawdzie ona głównym winowajcą, jednak przyczynia się do wielu zjawisk w atmosferze ziemskiej.

Przede wszystkim wiatr. Jak on powstaje? Jest

to zjawisko dosyć skomplikowane, w głównych jednak zarysach sprawa przedstawia się następująco.



Rys. 41. Zmiany pogody tłumaczymy różnym stopniem ogrzania powietrza w różnych krajach.

Może się zdarzyć — wskutek bardzo rozmaitych przyczyn, że w jednym kraju słońce więcej nagrzeje ziemię, w innym mniej. Otóż wyobraźmy sobie, że stało się tak, jak pokazano na rysunku 41. Z trzech

krajów, oznaczonych I, II, III, środkowy czyli II został więcej przez słońce ogrzany. Zatem i powietrze nad tym krajem jest cieplejsze, niż nad okolicami sąsiednimi. Powietrze ciepłe zawsze jest lżejsze od zimnego. Wobec tego zwały powietrza zimnego „wlewają się" nad kraj II, wypychając powietrze ciepłe ku górze. To „przelewanie się" powietrza z jednego miejsca na drugie my odczuwamy jako wiatr. A gdy jest wiatr, jest też i zmiana pogody.

Znów więc mamy do czynienia z siłą ciężkości. Gdyby jej nie było, to powietrze ciepłe trwałoby w bezruchu obok zimnego i nie wystąpiłyby żadne ruchy w atmosferze, a więc nie byłoby wiatru, nie byłoby ruchu chmur na niebie, nie byłoby śniegu ani deszczu. Byłoby tylko zamarzanie lub topnienie.

Trzęsienia ziemi. Straszne klęski żywiołowe, jakimi są trzęsienia ziemi, w swoich ostatecznych przyczynach są objawami siły przyciągania ziemskiego. Trzęsienia ziemi mogą być dwóch rodzajów: 1) trzęsienia wskutek wybuchu wulkanu, 2) wstrząsy podziemne, nie mające nic wspólnego z wulkanami (uczeni nazywają je „tektonicznymi" w odróżnieniu od „wulkanicznych"). W danym wypadku chodzi o ten drugi rodzaj zjawiska.

Wstrząsy podziemne związane są z budową sko-

rupy ziemskiej: Wiemy, że gleba czyli to co nazywamy ziemią, pokrywa tylko cienką warstwą (najwyżej paruset metrów) zwały skalne, z których się składają głębsze pokłady powierzchni kuli ziem-

Rys. 42. Trzęsienie ziemi jest wywołane przez zapadające się zwały skalne w głębi skorupy ziemskiej.

skiej. Otóż te zwały skalne nieraz w postaci bezładnie rozrzuconych brył, miejscami nie leżą w zbitej masie, lecz są spiętrzone w sposób bardzo przypadkowy, z dużą ilością pustych przestrzeni pomiędzy skalnymi blokami. Może się zdarzyć, że takie spiętrzenie zostanie nadwerężone np. przez działanie

wód podziemnych, lub wskutek pewnych wiekowych przemian, jakie jeszcze dzisiaj nasza ziemia przeżywa w swoim głębokim wnętrzu. Wtedy spoczywające w niepewnym spokoju olbrzymie odłamy skał zaczynają się walić. Zawalenie się to powoduje wstrząs wszystkich sąsiednich mas ziemi — i oto mamy to, co nazywamy trzęsieniem ziemi. A cóż to jest „zawalenie się" skał. Jest to przecież spadanie ich ku środkowi ziemi, a więc wynik działania siły przyciągania ziemskiego.

P r z y p ł y w y i o d p ł y w y m o r z a. Starożytnym Grekom przytrafiła się pewnego razu dziwna przygoda. Znakomity wódz Nearch zawędrował ze swoją flotą aż do Indyj. Przy ujściu rzeki Indu okręty zostały zakotwiczone, zaś załoga wyszła na ląd zwiedzić nieznany kraj. Jakież było zdziwienie marynarzy, gdy po powrocie ujrzeli swe okręty, zagrzebane w piasku przybrzeżnym. Może uciekło, okręty osiadły na mieliznie. Przerażenie minęło, gdy po kilku godzinach morze znów zalało brzeg i okręty mogły się unosić na falach Oceanu Indyjskiego. Było to zjawisko przypływu i odpływu.

Na wielu morzach mających otwarte połączenie z oceanem zjawisko to występuje z ogromną regularnością. Na zachodnich wybrzeżach Europy w ciągu

doby dokładnie dwa razy morze się podnosi i dwa razy opada. Gdzie indziej zjawisko występuje rzadziej (jeden raz na dobę), albo częściej. Różnica poziomów wody bywa nieraz bardzo znaczna. Tak np. w Anglii przypływy dochodzą do 7 m, we Francji około 5 m, w Ameryce osiągają poziom 14 m.

Czym to się tłumaczy? Długo ludzie się głowili nad tym zjawiskiem, jednak w ciągu całych wieków nie umiano znaleźć dobrego tłumaczenia. Najprościej sprawę wyjaśnił Koran: „gdy anioł, który jest przełożonym nad wodami, wsadzi nogę w ocean, to woda się podnosi, gdy zaś nogę wyjmie — opada". Chińczycy uważali, że woda dla ziemi jest tym, czym krew dla człowieka, więc przypływy i odpływy to był „puls ziemi". Inni chińscy mędrcy uważali zjawisko to za objaw oddychania ziemi. Starożytni Grecy nie bardzo wysilali się na tłumaczenie przypływów morskich, bo w ich krajach nie występowały one wyraźnie. Zauważyli oni tylko, że powtarzanie się przypływów zbiega się z odmianami księżyca.

Dopiero przyjście N e w t o n a rozświetliło mroki, otaczające to dziwne zjawisko. Jego teoria powszechnego ciążenia od razu dała możność wytłumaczenia przyczyn, które powodują podnoszenie się i opada-

nie wód morskich. Okazało się, że sprawcą wszystkiego jest księżyc. Mówiliśmy już poprzednio, że nie tylko ziemia przyciąga księżyc, lecz również jest przezeń przyciągana. To przyciągające działanie księżyca wyraża się w podnoszeniu się wód mor-

Rys. 43. Wpływ księżyca na podnoszenie się wód oceanicznych na ziemi. Przypływy, wywołane przez księżyc, powodują w innych miejscach odpływy.

skich w tym miejscu, naprzeciwko którego w danej chwili znajduje się księżyc. Ponieważ księżyc krąży dokoła ziemi, więc podniesienie się wody wędruje w ślad za jego ruchem, co zostało stwierdzone przez obserwacje na różnych oceanach.

Zjawisko przypływów i odpływów jest w rzeczywistości bardzo skomplikowane, ponieważ wchodzi tutaj w grę również słońce ze swoją potężną, choć z większej odległości, siłą przyciągania. Ponadto ruch obrotowy ziemi i księżyca również wikłają

zjawisko. W ogólnych jednak zarysach sprawa przedstawia się właśnie tak, jak było wyżej powiedziane.

Ż y c i e w s z e c h ś w i a t a. Przeogromny wszechświat z miliardami słońc, które widzimy częściowo na niebie w postaci gwiazd, ma swoje życie. Tym życiem jest nieustanny ruch nieprzeliczonych rojów gwiazd, oraz potężne przemiany, zachodzące na samych gwiazdach — ich promieniowanie, gaśnięcie, nagłe wybuchy itd. We wszechświecie wszystko jest ożywione ruchem. Martwota i spokój jest tylko chwilowym losem zgasłych i zastygłych brył materii. A nawet i na tych powstaje zjawisko życia, jak na przykład na naszej ziemi, która od wieków jest zastygłym globem, lecz na swej powierzchni dźwiga cały wielki świat zwierząt i roślin; z tym wszystkim odbywa swoją wiekową wędrówkę dokoła słońca, podobnie jak pozostała „rodzina“ słoneczna — planety.

Cały system słoneczny pędzi z szybkością około 30 kilometrów na sekundę w niezmierzoną otchłań wszechświata ku nieznanemu przeznaczeniu. Może też krąży dokoła jakiegoś punktu czy miejsca, którego jeszcze nie zdołaliśmy poznać?

Jak przechodnie na ulicy wielkomiejskiej, tak gwiazdy w przestworzach snują się we wszystkich

kierunkach, każda ma swój jakiś cel, każda ku czemuś zdąża. Któż zdoła ustalić cel tych dążeń? Wiemy tylko, że cały wszechświat jest w ruchu.

W tym ogromnym wszechświecie jedno prawo przede wszystkim obowiązuje: prawo powszechnego ciążenia. Ono wyznacza drogi goniącym w nieznane gwiazdom, ono reguluje ruch w tym „zgiełku" wszechświatowym i ono kieruje też tymi potężnymi zjawiskami, jakie na odległych globach zachodzą. Prawo to ożywia cały wszechświat, bo bez niego, jak sam Newton mówi „ciała ziemi, planet, komet i słońca i wszystko na nich zakrzepłoby w zimnie i byłoby masą nieczynną, ustałoby gnicie i rodzenie, roślinność i życie, planety zaś i komety nie mogłyby zachować swego ruchu".

Jest to więc prawo najbardziej powszechne i trudno się nie zgodzić ze słowami angielskiego poety:

„przyroda i jej prawa tonęły w mroku nocy
Bóg rzekł: „niech będzie Newton" — i wszystko
stało się jasne...

SŁOWNIK

trudniejszych wyrazów, użytych w książce.

Architekt — ten, który sporządza plany i kieruje pracą przy budowie gmachów, budowniczy.

Astronom — uczony, zajmujący się badaniem ciał niebieskich, ich ruchów i natury.

Ciało fizyczne — w fizyce oznacza wszelki przedmiot, który można badać przy pomocy zmysłów albo przyrządów.

Cysterna — zbiornik jakiegoś płynu (np. wody, nafty itp.); na kolei są używane wagony-cysterny do przewożenia ropy naftowej, benzyny itp.

Cywilizacja — stan duchowy i materialny ludów albo narodów; mówimy np. że nasza cywilizacja jest wysoka, bowiem mamy potężnie rozwiniętą technikę, nauki itd. w przeciwieństwie do cywilizacji np. murzyńskiej, którą zaliczamy do pierwotnych.

Ebonit — specjalnie przyrządzony kauczuk (guma) w ten sposób, że pozbawiony jest miękkości i rozciągliwości, stanowiąc zrogowaciałą masę; z ebonitu są wyrabiane płyty gramofonowe, grzebienie itp.

Eskimosi — plemiona północne, zamieszkujące podbiegunowe okolice Ameryki Północnej i częściowo Azji nad Morzem Arktycznym.

Ferma — małe gospodarstwo rolne w Anglii, folwark.

Filozof — w starożytności nazwą tą obdarzano każdego, zajmującego się badaniami naukowymi; w ogól-

niejszym znaczeniu używano nazwy tej w stosunku do ludzi uczonych, myślicieli; dzisiaj mianem filozofa nazywamy uczonego zajmującego się filozofią.

Genialny — odznaczający się nadzwyczajnymi zdolnościami twórczymi w jakiejś dziedzinie, posiadający wielki talent.

Herezja — błędna nauka, odszczepieństwo od religii, uznanej za prawowierną; heretykiem w kościele katolickim nazywa się tego, który nie uznaje jakiejkolwiek prawdy, w którą kościół wierzyć nakazuje.

Inkwizycja — urząd kościelny, który miał za zadanie wyszukiwać heretyków i udawadniać im winę.

Kacerstwo — to samo co herezja.

Kalendarz astronomiczny — księga, w której są podane wszelkie możliwe obliczenia ruchów ciał niebieskich na pewien okres czasu (np. na jakiś rok); dawniej w kalendarzach podawano również przepowiednie astrologiczne i wróżby.

Kondygnacja — to samo co piętro w budynkach piętrowych; parter też jest jedną z kondygnacyj.

Koran — święta księga mahometan, w której są spisane objawienia Mahometa; zawiera przypowieści, nauki religijne, pouczenia, upomnienia itd.

Krokiet — gra ogrodowa, polegająca na wbijaniu do różnych bramek drewnianych kul, popychanych drewnianym młotkiem.

Kultura — tyle co cywilizacja; niektórzy używają tego słowa wyłącznie w zastosowaniu do dziedziny duchowej życia narodów.

Luneta — przyrząd, zawierający układ szkieł (soczewek), przeznaczony do obserwacji oddalonych przedmiotów (np. ciał niebieskich).

Matematyka — nauka o wielkościach czyli liczbach; jest to dzisiaj bardzo obszerna nauka, badająca nie tylko własności liczb, lecz także bardzo rozległe dziedziny wszelkich zależności, stosunków, zbiorów itd.

Międzyplanetarna przestrzeń — cała niezmierzona przestrzeń naszego wszechświata, w której poruszają się ciała niebieskie; dzisiaj często się używa też wyrażenia przestrzeń międzygwiezdna; uważamy, że w przestrzeni tej panuje prawie całkowita próżnia.

Oceany — olbrzymie zbiorowiska wody na ziemi, zajmujące ponad 70% jej powierzchni; mamy na ziemi trzy oceany: Spokojny, Atlantycki i Indyjski.

Pergamin — niegarbowana, odpowiednio wyprawiona skóra, głównie barania, używana przed wynalezieniem papieru do pisania ksiąg i pism; dzisiaj używany jest tylko do bardzo uroczystych aktów.

Planeta — ciało niebieskie, zastygłe, ciemne, krążące dokoła słońca; jedną z planet jest nasza ziemia.

Pryzmat — figura w postaci trójgraniastego słupka.

Przesąd — zabobon, wiara w coś, co nie jest oparte na rzetelnych dowodach rozumowych.

Soczewka — okrągła tafla szklana, z obu stron lub z jednej wypukła albo wklęsła; zależnie od rodzaju, soczewka ma zdolność skupiania albo rozpraszania promieni świetlnych.

Stratosfera — górna warstwa atmosfery ziemskiej, rozpoczynająca się na wysokości około 12 km ponad powierzchnią ziemi.

Średniowiecze — czasy historyczne od V do XV wieku po nar. Chr.

Teoria — w nauce zbiór poglądów na jakąś dziedzinę

zjawisk oraz dowodów, które mają wykazać słuszność podanych poglądów, jak również wytłumaczyć przyczyny i związki pomiędzy zjawiskami; np. teoria obrotów ciał niebieskich Kopernika, teoria powszechnego ciążenia Newtona, teoria pochodzenia gatunków zwierzęcych na ziemi Darwina.

Teleskop — luneta astronomiczna.

Zjawisko (w fizyce) — wszelka zmiana, zaobserwowana w jakimś układzie ciał fizycznych; np. spadek, uderzenie, rozgrzanie, świecenie, prąd elektryczny, głos itd.

UNIWERSYTET w BIAŁYMSTOKU
BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA
im. Jerzego Giedroycia
351403

SPIS ROZDZIAŁÓW

		Str.
Wstęp		5
ROZDZIAŁ I.	Wszystko zależy od dobrej odpowiedzi .	10
ROZDZIAŁ II.	Do czego się przydała wieża pizańska .	19
ROZDZIAŁ III.	Historia jednego spadającego jabłka .	38
ROZDZIAŁ IV.	Poznajemy prawa Newtona . . .	57
ROZDZIAŁ V.	„Jak ty komu, tak on tobie", czyli prawo działania i takiego samego przeciwdziałania	78
ROZDZIAŁ VI.	Prawo powszechnego ciążenia . . .	89
ROZDZIAŁ VII.	Będziemy mierzyć siły	98
ROZDZIAŁ VIII.	Przygody jednego kilograma . . .	109
ROZDZIAŁ IX.	W pracowni pani natury	124

Nr. inw. W 14375
2105

WYDAWNICTWA
KRAKOWSKIEJ SPÓŁDZIELNI WYDAWNICZEJ „CZYTELNIK"

Kraków, Grodzka 1, II p., tel. 226-83. PKO 400-080

1. *Prof. Z. Mysłakowski:* Totalizm czy kultura. Str. 80, c. 1 zł
2. *I. Fik:* Rodowód społeczny literatury polskiej. Str. 140, c. 80 gr
3. *L. Kruczkowski:* W klimacie dyktatury. Str. 112, c. 80 gr
4. *St. Thugutt:* Listy do młodego przyjaciela. Str. 48, c. 40 gr
5. *I. Fik:* 20 lat literatury polskiej. Str. 176, c. 1 zł
6. *L. Korowajczyk:* Jabłko Newtona. Str. 140, c. 1 zł

W przygotowaniu:

R. Lessel: Ekspansja gospodarcza hitleryzmu na Wschód
A. Polewka: Prawo mas do kultury
Dr St. Rudniański: Budziciele i gasiciele. Szkice z historii wychowania społecznego w XVIII i XIX w.
Z. Gross: Człowiek i wolność. Wstęp do filozofii socjalizmu
H. Kora: Ziemianin-świętoszek

Cena wydawnictw w prenumeracie:

kwartalnie (3 książki) z przesyłką 2 zł
półrocznie (6 książek) z przesyłką 4 zł