

FELIKS KUCHARZEWSKI

MECHANIKA

W SWYM ROZWOJU HISTORYCZNYM



WARSZAWA 1924

INSTYTUT WYDAWNICZY
„BIBLIOTEKA POLSKA“

Eugeniusz Olszewski

M E C H A N I K A
W SWYM ROZWOJU HISTORYCZNYM

0.11.4: 415

Po:

f m 36

210
-30

FELIKS KUCHARZEWSKI

MECHANIKA

W SWYM ROZWOJU HISTORYCZNYM



WARSZAWA 1924

INSTYTUT WYDAWNICZY
„BIBLIOTEKA POLSKA“

531/534(091):53(091):620.01

*Na książkę tę złożyły się wykłady,
wygłoszone przez autora w Politechnice Warszawskiej
w lutym i marcu 1921 roku.*



nr. 2775

Zakłady graficzne Instytutu Wydawn. „Biblioteka Polska” w Bydgoszczy.

BZ080K/001-11

I. PIERWSZE NARZĘDZIA I MASZYNY.

ARYSTOTELES. — ARCHIMEDES.

Sztuki i rzemiosła, będące poszczególnymi gałęziami techniki, opierają się na różnych działach nauk matematyczno-fizycznych i przyrodniczych, stanowiąc zastosowanie tych nauk do pożytkowania sił przyrody, a to w celu zaspokajania potrzeb życia ludzkiego. Gałęzie techniki, uprawiane na wydziałach inżynierskim i mechanicznym politechnik, są przeważnie zastosowaniami mechaniki. Powstały one wszakże znacznie wcześniej od tej nauki, wytworzonej dopiero przez poznanie i uogólnienie zasad, na jakich się opierają pierwotne narzędzia i maszyny.

Sporządzenie pierwszych narzędzi było punktem wyjścia rozwoju cywilizacji. Z ich pomocą wzniosł się człowiek ponad świat zwierzęcy i mógł przystąpić do pożytkowania plodów przyrody; robił je, równie jak pierwszą swą broń, z drzewa, kości i krzemienia. Znakomity stanowiące postęp zastąpienie kamienia metalem pozwoliło mu ulepszyć te narzędzia i ułatwić sobie walkę o byt. Gdy pierwotnie zajmował się tylko polowaniem i rybołówstwem, wystarczały mu: maczuga, oszczep, łuk, strzała i topór; dla zajęć rolnych i hodowlanych sporządzić musiał: rydel, plug, sierp i nożyce. Pierwsze rzemiosła umożliwiły

zostały wynalazkami: piły, świdra, dłuta, obcę i struga (hebla).

Ślady używania tych narzędzi odnalezione zostały wśród wykopalisk Egiptu i Babilonu. Z epoki kamiennej pozostało w Egipcie stosunkowo mało pamiątek; najczęściej, obok kamienia znajdowano tam ślady równoczesnego stosowania metalu do sporządzania narzędzi. Na odkopanych powierzchniach granitu widnieją dawne rysy dłuta i spotyka się wywiercone otwory, rowki na parę cali głębokie, wyłobione w skale, i ślady gwałtownego odrywania całych bloków skalnych. Odkopane rysunki i płaskorzeźby przedstawiają sposoby obrabiania kamieni i wygładzania ich powierzchni. Kamieniarze używali dłuta i dziobaka, które się składały z małego ostrza, może stalowego, oprawionego w drzewo, i wątpić należy, aby Egipcjanie, przy budowie pomników, jakie zostawili, posługiwali się tylko narzędziami kamiennymi. I dawniej jeszcze Assyryjczycy używali narzędzi z żelaza i bronzu, jak tego znaleziono dowody w wykopaliskach pałacu króla Sargona w Niniwie.

Do najdawniejszych zadań mechaniki technicznej należy przewóz ciężarów i dziś jeszcze wywołujący nowe wynalazki. Starożytni używali w tym celu kolei drewnianej, to jest dwóch szeregów bali, ułożonych równolegle i związanych poprzecznymi łątami. Zachowane na pomnikach egipskich rysunki przedstawiają przewożone w ten sposób wielkie posągi z kamieniołomów na miejsce ustawienia. Herodot opowiada, jak zniewoleni przez króla Cheopsa Egipcjanie wydobywać musieli kamienie w górach arabskich, przesuwać je do Nilu, a gdy ustawione tam zostały na statkach, to je znów wieziono w góry libijskie. Co trzy miesiące stawać musiało do tej roboty 100 000 ludzi, sama zaś budowa drogi, po której przesuвано kamienie, trwała lat dziesięć. Herodot uważa, że była to praca nie

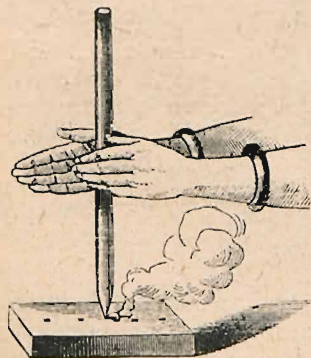
mniejsza od samej budowy piramidy, bo droga miała blisko kilometr długości, 25 *m* szerokości a wysokość nasypu dochodziła do 20 *m*.

Spostrzeżenie, że przez podkładanie wałków drewnianych ułatwionem zostaje posuwanie ciężaru, doprowadziło do wynalazku wozu. Ale i po tem spostrzeżeniu nie przestano używać kolei bez wałków, gdyż ich podkładanie na znacznych długościach drogi przedstawiało nieraz więcej trudności, aniżeli użycie większego wysiłku do przesuwania bezpośrednio. Wszakże wzmiankowane spostrzeżenie wykazało, że przez odpowiednie urządzenia może człowiek zmniejszać swój wysiłek, i pobudziło go do szukania sposobów stosowania sił większych od tych, jakie ludzie i zwierzęta bezpośrednio mogą dostarczać. Wynikiem tych poszukiwań było wytworzenie maszyny, — dającej możność osiągania zysku nie tylko na sile, ale i na czasie.

Językoznawcy wykazali, że wyraz *maszyna* znany był już wszystkim ludom starożytnym i nie pochodzi od żadnego łacińskiego lub greckiego, lecz od dwóch wyrazów indyjskich: *Man kana* lub *Var kana*, których pierwsza sylaba *Man* lub *Var* oznacza: działanie, pracę, obracanie, a wspólna część druga *kana* jest nazwą prostego wałka drewnianego. Tak więc i lingwistycznie maszyna wywodzi się od wałków.

Przy obecnym stanie poszukiwań archeologicznych należy uważać ruch obrotowy przemienny, jako pierwszy urzeczywistniony przez człowieka w odpowiednich urządzeniach. Urzeczywistnienie to nastąpiło przy nieceniu ognia, uskutecznianem i dziś jeszcze w Indjach, przez obracanie, to w jedną, to w drugą stronę, naprzemian, pręta drewnianego, trzymanego między dłońmi, którego zaostrzony koniec wstawiony zostaje w ciasny otwór drewnianej deski, obłożony próchnem i pakułami. Reu-

leaux, dyrektor dawnej Akademii Przemysłowej w Berlinie, który w swej rozgłosnej *Kinematyce teoretycznej* z r. 1875, obejmującej zasady podstawowe ogólnej teorii maszyn, zajmował się pierwszy zawiązkami mechaniki i techniki w zamierzchłej przeszłości, tak przedstawia ów pierwszy zawiązek maszyny (rys. 1). Pręt



Rys. 1.

drewniany, zgruba ociosany, zaostroszony u spodu i umieszczony pionowo w odpowiednim wydrążeniu, utrzymywany jest między dłońmi obu rąk, które go wprawiają w ruch obrotowy przemienny, bardzo szybki, dopokąd przez tarcie nie zapalą się pakuły, umieszczone wokół wydrążenia. W przyrządzie tym ręce nie tylko obracają pręt (który na rysunku, jak mówi Reuleaux, ma wygląd zbyt europejski) ale także sta-

rają się go wciskać w wydrążenie deski, utrzymywanej nieruchomo między stopami lub kolanami robotnika. Równocześnie więc ma miejsce obniżanie się obu dłoni wzdłuż pręta i gdy drzewo nie zapala się łatwo, przyrząd wymaga spółdziałania dwóch ludzi, z których drugi chwytą górny koniec pręta, podczas gdy ręce pierwszego dochodzą do spodu.

Ulepszeniem tej pierwszej maszyny było nawinięcie na pręt sznura (rys. 2), który ciągniony za końce nadawał mu ruch obrotowy przemienny. Górny koniec pręta, również zaostroszony, wchodził wtedy w wydrążenie deski

górną, utrzymywaną i naciskaną przez drugiego robotnika, podczas gdy pierwszy przeciągał sznur.

Wykopaliska dostarczają dowodów, że ludzie przedhistoryczni używali podobnych przyrządów nie tylko do niecenia ognia, ale i do wiercenia otworów w drzewie, kości i rogu, a nawet w najtwardszych kamieniach.

Szeregi wieków zapewne upłynęły, zanim od ruchu obrotowego przemien-

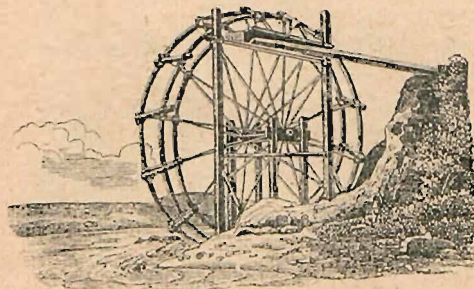


Rys. 2.

nego przeszedł człowiek do ruchu obrotowego ciągłego. Pierwszymi maszynami, urzeczywistniającymi ruch taki, były może koła wodne podsiębierne, świadczące już o znacznym stosunkowo rozwoju cywilizacji. Pojawiły się bowiem przy nawodnieniach u ludów osiadłych, zajmujących się rolnictwem, i służyły do podnoszenia wody, jak koła bambusowe, do dziś używane w Chinach. Takie koło, zbudowane z bambusów, powiązanych sznurami, przedstawione jest na rys. 3. Koło ma trzy korony, nierównej średnicy, z których wewnętrzna, najmniejsza, służy do związania całości koła. Na dwóch koronach zewnętrznych umieszczone są czerpaki, to jest rury bambusowe w jednym końcu zamknięte. Czerpaki ustawione są w ten sposób, że ich końce otwarte są bliższe osi koła. Gdy czerpaki zanurzają się w wodzie, mając otwarty koniec wyższy, woda je napęcza, a jednocześnie popycha w stronę swego biegu, wywołując obrót koła.

Przy tym obrocie, gdy czerpak pełen wody dochodzi do góry, woda się wylewa do umieszczonego nad osią koła koryta.

Ruch obrotowy ciągly mają koła wozu, który, jak sądzi Reuleaux, wziął swój początek od toczącego



Rys. 3.

się pnia, a następnie wałka, podkładanego pod ciężar. Jako zasadniczy element wozu, koło pozostaje do dziś główną częścią składową wszystkich środków transportowych na drogach lądowych i słusznie też, umieszczone między dwoma skrzydłami, stanowi symbol dróg żelaznych. Wozy dwukółowe były bardzo dawno w użyciu w Egipcie, Syrii i wielu innych krajach a równocześnie używano czterokołowych do przewozu ciężarów. Wojownicy greccy walczyli na wozach dwukółowych za czasów Homera i występowali na nich podczas igrzysk. Osie czterokołowych wozów ciężarowych rzymskich obracały się razem z kołami, podczas gdy inne także wozy starożytności miały koła obracające się około czopów, stale umocowanych osi. Dodać należy, że wedle wszelkiego prawdopodobieństwa, koła tarczowe pełne były w dziejach wozu poprzednikami kół promieniowych (szprychowych).

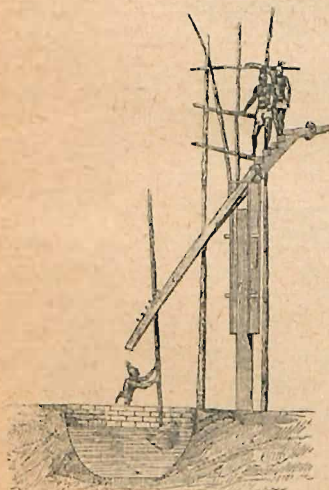
Do podnoszenia ciężarów używano maszyn, o których wspomina Herodot, opisując budowę piramid. Stawiano

Do podnoszenia ciężarów używano maszyn, o których wspomina Herodot, opisując budowę piramid. Stawiano

te budowle warstwami i podnoszono głazy kolejno z jednej warstwy na drugą, maszyn więc musiało być tyle, ile warstw, lub też jedną i tę samą maszynę przenoszono z jednej warstwy na drugą. Były to zapewne maszyny proste, jak krążek z przewiniętym na nim sznurem, przedstawiony na jednej z płaskorzeźb assyryjskich (rys. 4), lub żóraw, używany przez Indjan do podnoszenia wody (rys. 5), tem się tylko



Rys. 4.



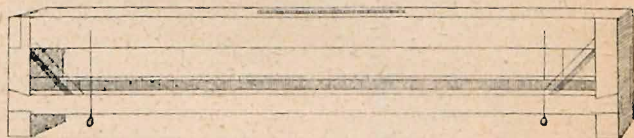
Rys. 5.

różniący od naszych wiejskich żórawi studziennych, że zamiast obciążenia stałego na krótszym ramieniu, ma schodki, na które wchodzi ludzie, czekający na kładce przy rusztowaniu, i ciężarem swym podnoszą wodę.

Obok drąga, krążka i wzmiankowanej już równi pochylej używane były w bardzo dalekiej przeszłości inne maszyny proste, jak kołowrot, wielokrążek, klin i śruba. Spostrzeżenia, czynione przy stosowaniu tych maszyn,

prowadziły do wskazówek praktycznych, jak je należy urządzać, by dawały jak największy pożytek.

Równocześnie gromadziły się spostrzeżenia z zakresu hydromechaniki przy kopaniu kanałów i przeprowadzaniu wody z jednego miejsca na drugie. Zauważono, że poziom wody stojącej utrzymuje się na całej przestrzeni, jaką woda wypełnia, na tej samej wysokości i poziom ten stał się przy robotach hydrotechnicznych pierwszym narzędziem poziomniczym. Wkrótce zapewne, zamiast kopania rowu, od wody do danego punktu, poziom ten urzeczywistniać zaczęto za pośrednictwem pierwszego narzędzia poziomniczego, które pod nazwą *chorobates* opisał później budowniczy rzymski Witruwjusz. Według tego opisu sporządzone rysunki (rys. 6) przy przekładach dzieła



Rys. 6.

Witruwjusza: francuskim Perraulta i polskim Raczyńskiego, przedstawiają to narzędzie jako rowek w belce drewnianej, której wygładzony wierzch po napełnieniu rowka wodą wyznaczał płaszczyznę poziomu. Dwa piony, które widzimy na rysunku, służyły jako sprawdzian. Naprowadzają one na przypuszczenie, że wcześniej jeszcze od tego przyrządu do poziomowania używaną była krokiewka, taka, jaką dziś widzimy u mularzy i brukarzy. Pion znów wchodził w skład pierwszego narzędzia astronomicznego, gnomonu, złożonego z pręta pionowego, rzucającego cień na płaszczyznę poziomą. W dalszym ciągu spostrzeżeń hydromechanicznych zauważyć musiano,

że woda, wytryskująca przez otwór, usiłuje się podnosić do wysokości, na jakiej się znajduje poziom wody w zbiorniku, z którego woda wypływa, — że żyła wytryskująca uderza silnie o ciała stałe, jakie spotyka w swym ruchu, — że woda bieżąca popycha ciała w niej zanurzone. To ostatnie spostrzeżenie dało początek kołom wodnym podsiębiernym.

Aby z tych spostrzeżeń, poczynionych w dziedzinie praktyki mechanicznej, ludzie dojść mogli do wyciągnięcia pewnych zasad ogólnych, a więc zapoczątkowania mechaniki, jako nauki, należało im oprzeć spostrzeżenia na pomiarach i dać wnioskowaniu matematyczną podstawę. Zawiązki prawd mechanicznych powstać mogły dopiero wtedy, gdy sformułowane były pierwsze prawdy arytmetyki i geometrii. Epoki tej nie zdołała dotąd ustalić historia matematyki. Są tylko domniemania, że liczby znane już były Fenicjanom. W Babilonie znaleziono tablicę kwadratów z szeregu liczb po sobie następujących; używano tam już miar i wag. Pewniejsze są dane odnoszące się do Egiptu. Rękopis kapłana Ahmésa, tak zwany papyrus Rhind, pochodzący z XI w. przed Chrystusem, uważany za poprawną kopję innego, znacznie starszego, nosi tytuł: „Przepisy dla poznania wszystkich tajemnic“, i jest zbiorem zadań z arytmetyki i geometrii. Zadania liczbowe z ułamkami są tam już dość złożone,

bo np. rozwiązuje Ahmes równanie: $x + \frac{x}{7} = 19$ i otrzymuje $x = 16 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$. Z geometrii jest tam już pomiar powierzchni koła z wartością $\pi = 3,1604$; jeszcze zaś przed Ahmesem używali Egipcjanie do prowadzenia prostopadłej sznura AD , podzielonego węzłami B i C na części AB , BC i CD w stosunku liczb: 3, 4 i 5. Część środkową sznura, BC , rozciągano na kierunku, do którego miała być prowadzona prostopadła w B , a części skrajne AB i CD obracano około węzłów BC , umocowanych kołkami,

dopokąd zataczane w ten sposób okręgi kół nie zeszły się w *E*. Ponieważ w trójkącie *BEC* było $5^2=3^2+4^2$, więc trójkąt był prostokątny i *BE* prostopadłe do *BC*. Stosowanie do prowadzenia prostopadłej związku między kwadratami liczb 3, 4 i 5 doprowadzić mogło Pytagorasa do wygłoszenia twierdzenia o kwadracie z przeciwprostokątnej, noszącego jego imię.

Te liczbowe początki nie miały jeszcze wystarczającego uogólnienia, aby służyć mogły za podstawę skromnego choćby zawiązku teorii maszyn prostych. Dopiero matematycy greccy wywodzić zaczęli z nagromadzonych szczegółów ogólne zasady arytmetyki i geometrii, a jeden z tych matematyków, Archytas z Tarentu, uczeń Pytagorasa, a przyjaciel Platona, oprócz miał na nich pierwsze prawdy mechaniki. O mechanice Archytasa wspomina historyk Diogenes z Laerty, żadne wszakże jej ślady czasów naszych nie doszły. Pierwsze pismo o tej nauce, w tytule swym zawierające jej nazwę, to *Problēmata Mechanicē* Arystotelesa. Nie dają one jeszcze nic ścisłego o maszynach prostych, zasługują wszakże na uwagę, mieszcząc w sobie zawiązek ważnej w mechanice zasady prędkości przygotowanych (wirtualnych).

Arystoteles, uczeń Platona, nauczyciel Aleksandra Macedońskiego, żył w czwartym stuleciu przed Chrystusem i obok znacznej liczby pism filozoficznych zostawił *Problēmata Mechanicē*, przez długi czas niedoceniane przez historyków mechaniki. Dopiero ostatni z tych historyków, współczesny fizyk francuski, Piotr Duhem, profesor fakultetu w Bordeaux, w swem dziele *Les origines de la statique* z r. 1905 określił wysokie stanowisko, jakie w dziejach mechaniki zająć winno to cenne pismo. Arystoteles nie oddziela w niem teorii równowagi od teorii ruchu, nie przyznaje statyce zasad samodzielnych, niezależnych od dynamiki.

Rozważa w sposób ogólny wszystkie ruchy, jakie się odbywają w danym mechanizmie, a jeżeli żaden ruch się nie objawia, to poczytuje mechanizm za pozostający w równowadze. Mechanizmy, jakimi się zajmuje, lub je wymienia, są: drąg, korba, walec, koło, krążek, wielokrążek, wreszcie „koła komunikujące ruch jedno drugiemu, z metalu lub żelaza“, co nasuwa przypuszczenie, że znane były już wtedy koła zębate. Działania tych wszystkich mechanizmów nie objaśnia ściśle, parokrotnie wszakże powraca do myśli, która w dalszym rozwoju mechaniki okazała się tak płodną.

Weźmy pod uwagę drąg prosty, podzielony punktem podpory na dwa nierówne ramiona; na końcach tych ramion umieszczone są dwa nierówne ciężary. Skoro drąg się obraca około punktu podpory, oba ciężary poruszają się z różnemi prędkościami. Ciężar więcej oddalony od podpory zakreśli w tym samym czasie łuk większy; prędkości więc ruchu obu ciężarów mają się do siebie, jak długości ramion drąga. Gdy zatem chodzi o porównanie działania obu ciężarów, należy dla każdego z nich utworzyć iloczyn z ciężaru przez długość tym ciężarem obciążonego ramienia; — ten ciężar przeważy, dla którego ten iloczyn będzie większy, a jeżeli iloczyny są równe, to ciężary pozostaną w równowadze.

Arystoteles tak się wyraża: „Ciężar poruszany ma się do ciężaru poruszającego w stosunku odwrotnym długości ramion drąga, na których ciężary są zawieszone; zawsze bowiem ciężar poruszy drąg tem łatwiej, im więcej jest oddalony od punktu podparcia drąga. Przyczyna leży w tem, że ramię dłuższe zakreśla większe koło, przy użyciu więc tej samej siły ciężar poruszany przebiegnie drogę tem dłuższą, im więcej jest oddalony od punktu podpory“. Rozważania te, dotyczące drąga, nie tracą swego znaczenia w innych przypadkach. Stanowią one metodę ogólną,

obejmują zasadę, stosującą się do wszystkich prawie mechanizmów. Dzięki tej zasadzie matematycy objaśnić mogą działanie tych różnych maszyn, biorąc tylko pod uwagę prędkości, z jakimi są opisywane pewne łuki koła. „Bo, jak mówi dalej Arystoteles, własności wagi sprowadzają się do własności koła, własności drąga do własności wagi, wreszcie większa część innych osobliwości, jakie przedstawiają ruchy mechanizmów, sprowadza się do własności drąga”.

Duhem twierdzi, że Arystotelesa za tę jedną myśl tylko godzi się sławić jako ojca mechaniki teoretycznej. Z tego bowiem ziarna rozwinęły się w ciągu dwudziestu wieków potężne rozgałęzienia zasady prędkości przygotowanych. Lecz Arystoteles nie był matematykiem; z zasady, jaką postawił, nie umiał wyciągnąć ściśle wszystkich wniosków, możliwych do wyprowadzenia; nieraz też usiłował stosować zasadę do zadań zbyt złożonych, aby mogły być z jej pomocą rozwiązane. Na wstępie zresztą swych badań natknął się na niemałą trudność. Linja, którą zakreśla punkt przyłożenia ciężaru do ramienia drąga, jest łukiem koła i nie schodzi się z pionową, według której działa siła ciężkości. Trudność tę usiłował Arystoteles obejść rozumowaniami, nie mogącemi zadowolnić matematyków.

Z zawiązków statyki, zawartych w pismach Arystotelesa, wyciągali jego komentatorzy w wiekach średnich aksjomat zasadniczy ówczesnej dynamiki, głoszący proporcjonalność siły poruszającej do ciężaru poruszanego i do przestrzeni, przebieganej przez ciężar w danym czasie. W innem znów z pism swoich przypisywał Arystoteles utrzymywanie się w ruchu wyrzuconego pocisku ruchowi ośrodka, przez który pocisk przelatuje, a więc ruchowi powietrza. Tym ruchem ośrodka tłumaczył on przyspieszenie przy spadku ciał, oddalając się tym sposobem od przecucia

istotnych zasad dynamiki, wykrytych dopiero przez Galileusza.

W Problematach Mechanicznych Arystotelesa znajdujemy pierwsze wiadomości z dziedziny mechaniki stosowanej, odnoszące się do wytrzymałości tworzyw. Problemat piętnasty zajmuje się złamaniem kawałka drzewa na kolanie. „Dlaczego dany kawałek drzewa, pyta się Arystoteles, łatwiej się łamie na kolanie, jeżeli jest uchwycony rękami za same końce, niż jeżeli ręce zbliżone są do kolana? Również, jeżeli stopa przyciska pręt do ziemi, dlaczego złamać go można łatwiej, chwytając ręką dalej od stopy, niż tuż przy stopie? Czy to nie dlatego, że kolano w pierwszym przypadku, a stopa w drugim, grają rolę środka koła, a każdą rzecz na kole poruszyć można tem łatwiej, im więcej jest oddalona od środka. Żeby zaś złamać przedmiot, trzeba go poruszyć“. Arystoteles chciał tu rozwiązać, opierając się na prawie równowagi drąga, kwestję przekraczającą zakres ówczesnych wiadomości fizycznych, bo podpadającą pod prawa teorii sprężystości, której żaden błysk nie zajaśniał przed XVII w. Wreszcie w problemacie trzydziestym (wszystkich jest 36), pyta się Arystoteles: „Dlaczego dwaj ludzie, niosący ciężar zawieszony na drągu, nie są jednakowo obciążeni“, i odpowiada: „Że niejednakowe obciążenie ma miejsce wtedy, gdy ciężar nie jest zawieszony w środku drąga, bo wtedy człowiek bliższy ciężarowi obciążony jest więcej. Czyż nie dlatego, mówi dalej filozof, że ciężar gra tu rolę podpory drąga, bo z dwóch niosących ten, który jest bliższy ciężarowi, uważany być może jako opór, drugi zaś jako siła, na drąg działająca. Im ta siła jest więcej oddaloną od ciężaru, tem łatwiej wywołuje ruch i tem więcej obciąża drugiego niosącego, podczas gdy ciężar gra rolę oparcia drąga“.

Teoria drąga może istotnie dać odpowiedź na posta-



wione pytanie, lecz stosować ją należy w inny sposób, niż to uczynił Arystoteles. Jeżeli chcemy określić obciążenie jednego z dwóch ludzi, niosących ciężar, przyrównać je należy do siły, działającej na drąg. Punktem oparcia drąga jest ramię drugiego niosącego, podczas gdy ciężar, zawieszony na drągu, gra rolę oporu. To ściśle rozwiązanie prowadzi zresztą do tego samego wyniku, co i rozumowanie Arystotelesa, a mianowicie że: obciążenia mają się do siebie w stosunku odwrotnym odległości ludzi, niosących ciężar, od punktu zawieszenia ciężara.

Okolo trzechsetnego roku przed Chrystusem powstał uniwersytet w Aleksandrii i zasłynął wkrótce nauczaniem matematyki, którego kierunek powierzono Euklidesowi. Do Aleksandrii też podążył, żyjący w trzecim stuleciu, syrakuzanin Archimedes i tam zaczerpnął wiedzę, sformułowaną w pozostawionych przez Euklidesa *Elementach Geometrii*. Nie będę tu powtarzał ogólnie znanych opowieści: o wykryciu przez Archimedesesa oszustwa złotnika, który robił koronę dla króla Syrakuzy Hierona, lub o spaleniu floty rzymskiej, oblegającej Syrakuzę, za pomocą zwierciadeł wklęsłych, koncentrujących promienie słoneczne. Mniej głośnem jest spuszczenie na wodę okrętu, zbudowanego z polecenia Hierona. Skoro nie można było poruszyć wielkiego statku, wezwanemu na pomoc Archimedesowi udało się przemóc trudność za pomocą przyrządu, złożonego z całego systemu wielokrążków, poruszanych śrubą bez końca. Szczegóły ustroju tego mechanizmu nie doszły naszych czasów, — znana jest tylko odpowiedź Archimedesesa na otrzymaną od Hierona pochwałę: „Podniósłbym całą ziemię, gdybym tylko miał punkt oparcia“.

Dwa są główne pisma mechaniczne Archimedesesa, jedno: *O równowadze płaszczyzn i ich środków ciężkości*, drugie: *O ciałach pływających*.

jących. Oba swą ścisłością i jasnością zadowolnić mogą najwybredniejsze wymagania matematyków. Z podstaw, na których oparł swe wywody, Archimedes usunął wszystko, co mogłoby się wydać wątpliwem. Zajmując się w pierwszym z wymienionych pism prawami równowagi drąga prostego, nie czerpie tych podstaw za przykładem Arystotelesa w nauce o ruchu, — bo prawa, rządzące ruchem ciał ważkich, zdają się kryć głęboko pod skomplikowanemi pozorami. Rozbiór tych zjawisk, tak różnorodnych i tak trudnych do dokładnego zaobserwowania, nie wydaje się odpowiednim dla dostarczenia wniosków, na któreby się wszyscy godzili. Przeciwnie, codzienne używanie narzędzi tak prostych, jak waga, odsłania w sprawie równowagi ciężarów parę prawideł, których prawdziwość i ogólność nie mogą podlegać wątpliwości. Stosując więc metodę, użytą przez swego mistrza Euklidesa w *Elementach Geometrii*, Archimedes żąda od pragnącego poznać jego naukę, aby przyjął za pewniki te kilka podań, na których się oprze cała jego teoria:

1. Ciężary równe, zawieszone na równych długościach, są w równowadze.
2. Ciężary równe, zawieszone na długościach nierównych, nie są w równowadze; ciężar, zawieszony na większej długości, przeważa.
3. Jeżeli ciężary, zawieszone na pewnych długościach, są w równowadze, to po dodaniu czegokolwiek do jednego z nich równowaga ustaje i ciężar powiększony przeważa.
4. Podobnież, jeżeli coś odejmujemy od jednego z ciężarów, równowaga ustanie i ciężar, od którego nie nie odjęto, przeważa.

Z tych postulatów i jeszcze paru innych, zbyt widocznych aby je tu powtarzać, wyciąga Archimedes metodą, naśladowaną z Euklidesa, długi szereg podań. Wśród nich podania: szóste i siódme obejmują warunki równowagi drąga prostego.

„Podanie VI. Wielkości współmierne są w równowadze, gdy są odwrotnie proporcjonalne do długości, na których są zawieszone.

Podanie VII. Wielkości niewspółmierne są w równowadze, gdy są odwrotnie proporcjonalne do długości, na których są zawieszone“.

W tych dwóch podaniach zawarte są czysto mechaniczne wnioski pisma Archimedes'a; w następnych twierdzeniach zajmuje się on oznaczaniem środków ciężkości różnych powierzchni, przedmiotem, wchodzącym w zakres geometrii. Badanie równowagi drąga doprowadziło go więc do tegoż samego wyniku, jaki otrzymał Arystoteles, — doszedł wszakże do tegoż samego celu całkiem inną drogą. Nie wyciągnął swych zasad z ogólnych praw ruchu, lecz oparł swą teorię na paru prawdach prostych i pewnych, odnoszących się do równowagi, i wytworzył oddzielną naukę o równowadze, statykę, nie nie zawdzięczającą innym gałęziom mechaniki. Zapewnił swej teorii doskonałą jasność i nadzwyczajną ścisłość, ale tak jasność, jak i ścisłość, osiągnięte zostały kosztem ogólności i płodności. Prawa, rządzące równowagą dwóch ciężarów, zawieszonych na ramionach drąga, oparł na założeniach, odnoszących się specjalnie do tego zadania. Mechanik, rozwiązujący jakie inne zadanie równowagi, nie odnoszące się do drąga, stawiać musi nowe założenia, innej zupełnie natury, a rozbiór pierwszych nie daje mu żadnej wskazówki co do wyboru drugich. Droga, jaką Archimedes poszedł w mechanice, będąca podziwu godną metodą dowodzenia, nie prowadzi do wynalazków. Pewność i jasność jego

zasad pochodzą stąd przeważnie, że zebrane zostały, że się tak wyrażę, na powierzchni zjawisk, nie sięgając do głębi ich przyczyn. Najwybitniejsze też postępy statyki wzięły swe źródło raczej w mglistej nauce Arystotelesa, aniżeli w niezrównanych co do swej jasności teoriach Archimedesów.

Jak z pierwszego pisma Archimedesów wzięła swój początek statyka, tak drugie stało się księgą ustaw hydrostatyki. Z dwóch ksiąg składa się to pismo *O ciałach pływających*. W księdze pierwszej postawiona jest na wstępie następująca hipoteza. Skoro wszystkie części cieczy są jednakowo umieszczone i zachowują ciągłość między sobą, to część mniej naciskana ustępuje swego miejsca części, ponoszącej większy nacisk; na każdą zaś część ciśnienie pionowy słup cieczy, nad nią się znajdujący. Wychodząc z tej hipotezy, dowodzi Archimedes następujących twierdzeń: 1) Powierzchnia każdej cieczy w spoczynku jest kulista, a środek tej powierzchni kulistej schodzi się ze środkiem ziemi. 2) Ciało, mające przy równej objętości ten sam ciężar, co i ciecz, w której jest umieszczone, zanurza się całkowicie w cieczy tak, że żadna jego część nie występuje nad powierzchnią cieczy, ale też nie opada niżej. 3) Ciało, lżejsze od cieczy, umieszczone w niej, wystaje częściowo nad jej powierzchnią; ciało to zanurza się dopotąd, dopokąd objętość cieczy, równa części zanurzonej, nie zaważy więcej od ciała; ciało to, całkowicie zatopione, podnosić się będzie w górę z siłą tem większą, im cięższą jest od ciała równa objętość cieczy. 4) Ciało, cięższe od cieczy, umieszczone w niej, opada na dno, a, pozostając w cieczy, będzie tem lżejsze, im większy będzie ciężar cieczy, mającej też samą objętość co ciało. Tak jest wyrażone w piśmie Archimedesów twierdzenie, noszące jego imię, zwykle głoszone w słowach: ciało zanurzone

w cieczy traci tyle na swej wadze, ile waży ciecz, przez nie wypchnięta.

W dalszym ciągu przypuszcza Archimedes, że gdy ciała w cieczy wypychane są do góry, to przebiegają każde wzdłuż pionowej, przechodzącej przez środek ciężkości ciała. Na zasadzie tego przypuszczenia dowodzi następujących twierdzeń: 1. Jeżeli ciało stałe, lżejsze od cieczy, mające kształt odcinka kulistego, umieszczone zostanie na powierzchni cieczy w ten sposób, aby podstawa odcinka nie dotykała powierzchni cieczy, wtedy oś odcinka przyjmuje położenie pionowe; jeżeli nachylimy odcinek w ten sposób, aby podstawa dotknęła powierzchni cieczy, to, pozostawiony sam sobie, nie utrzymuje się w położeniu nachylenem i jego oś wraca do położenia pionowego. 2. Jeżeli takież odcinek, umieszczony zostanie na powierzchni cieczy w ten sposób, aby cała podstawa była zanurzona, wtedy oś odcinka przyjmuje położenie pionowe.

W księdze drugiej wywodzi z tych samych zasad prawa równowagi różnych brył, utworzonych przez obrót przecięć ostrokągowych około ich osi i zanurzonych w cieczach cięższych; bada przypadki, gdy osie tych konoid mogą pozostawać w położeniu nachylenem, gdy muszą przyjmować położenie pionowe, a także gdy dążą do odchylenia się od tego położenia, lub po odchyleniu usiłują do niego powrócić. Podczas gdy ta druga księga stanowi jeden z najpiękniejszych pomników geniuszu Archimedes'a i zawiera w sobie teorię równowagi ciał pływających, do której, jak utrzymywał Lagrange, do końca XVIII w. niewiele co dodano, — to znów twierdzenia, wywiedzione w księdze pierwszej, utworzyły istotny związek hydrostatyki, której Archimedes bezspornym stał się ojcem.

Historyk grecki Polibjusz, z II w. przed Chr., rozwodził się nad wynalazkami Archimedesesa w dziedzinie machin wojennych, chwalać wyjątkową potęgę jego katapult i ballist. Były to ówczesne armaty i moździerz, wyrzucające pociski przez rozprężanie i skręcanie powrozów. Diodor Sycylijski przypisywał Archimedesowi wynalazek maszyny do podnoszenia wody, i dziś jeszcze noszącej nazwę śruby Archimedesesa; maszyna ta wszakże znana była już dawniej w Egipcie i używaną przy irygacjach. Wogóle, tak Arystoteles, jak i Archimedes, w pismach swych nie zostawili żadnego opisu maszyn, używanych za ich czasów. A jednak musiały te maszyny postąpić znakomicie w szeregu wieków od budowy piramid, gdy w III w. przed Chr., w Egipcie, za Ptolomeusza II-go Fildelfa, prowadzone były wielkie roboty inżynierskie, mające na celu osuszenie kotliny Fayum, zalewanej odnogą Nilu Bahr Yussuf. Inżynierowie greccy budowali tam całą sieć kanałów, tam i śluz, a o zakresie tych robót dają pojęcie rachunki i korespondencje kierownika robót, inżyniera Kleona, odnalezione w postaci starych pergaminów, które pozlepiane stanowiły tekturową powłokę mumji, odkopanej na cmentarzu Gurob w Fayum. Wedle tych dokumentów, miał Kleon pod swojemi rozkazami całą armję robotników, kopaczów, kamieniarzów, ceglarzów, cieśli, kowali, przewoźników na statkach i woźniców, kierowaną przez licznych inspektorów, konduktorów i dozorców; pozostawał w ciągłym stosunku z administracją skarbową, biorąc udział w zawieraniu umów z przedsiębiorcami, dysponując funduszem przeznaczonym na roboty i rozdzielając ten fundusz na poszczególne przedsiębiorstwa. Rozpatrywanie tych papirusów dostarczyło wielu interesujących szczegółów. Dowiadujemy się między innymi, że kamieniarze Kleona urządzali już wtedy bezrobocia, a sam Kleon za nieporządki w rachunkach po-

padł w niełaskę u Ptolomeusza Filadelfa i usunięty został od kierownictwa robót.

Opisy machin, używanych w owych czasach, znajdujemy dopiero w pismach trzeciego autora starożytności, piszącego o mechanice, Herona Aleksandryjskiego.
