

## II. HERON Z ALEKSANDRII. — JORDANUS NEMORARIUS. — LEONARD VINCI.

W połowie ubiegłego stulecia rozprawiano i pisano wiele, o tem czy istniał Heron i kiedy żył; lecz ta tak nazwana „kwestja Herona“ nie została dotąd stanowczo rozwiązana. Najwięcej danych pozwala wnosić, że Heron żył pod koniec II w. przed Chrystusem w Aleksandrii, gdzie był uczniem wynalazcy organów, zegarów i różnych przyrządów hydraulicznych, Ktezybjusza.

O tym mistrzu Herona opowiada Witruwjusz w swem dziele *O Architekturze*, że jako młody chłopiec, odznaczał się wielką przemyślnością. Był synem cyrulika i w razurze ojca urządził zwierciadło, wiszące na sznurze a zrównoważone ciężarem ołowianym, który przy podciąganiu wgórę zwierciadła opuszczał się w rurze, umieszczonej w kącie pokoju. Traf zrządził, że ciężar, opuszczając się w rurze, wypychał z niej powietrze przez mały otwór, co wytwarzało dźwięk, jak w piszczałce. I dalej tak mówi Witruwjusz: „Dostrzegłszy więc Ktezybjusz, że z działania i ciśnienia powietrza głosy powstają, na tych zasadach najpierwsze maszyny hydrauliczne urządził; potem przez działanie wody maszyny, same się poruszające, i inne różnego rodzaju, do zabawy służące, a między niemi i klepsydry

wodne do mierzenia czasu sporządzał.“ Przytoczyłem dosłownie tekst Witruwiusza, dotyczący wynalazku pierwszych maszyn hydraulicznych, dla zaznaczenia, że mowa tam nie o silnikach wodnych, lecz o instrumentach muzycznych, organach, które przed zastosowaniem miecha potrzebowały ciśnienia wody do wprowadzania powietrza do piszczałek i do wydawania dźwięku. To też nazwa hydrauliki, pochodząca od wyrazów greckich: *h y d o r* woda i *a u l o s* flet, oznaczała u starożytnych sztukę budowania organów, a dopiero w późniejszych czasach nadaną została hydromechanice stosowanej.

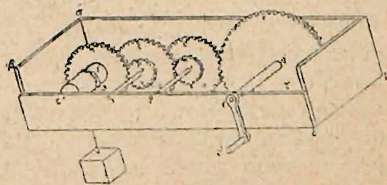
Jeżeli Arystoteles był filozofem a Archimedes matematykiem, to Heronowi Aleksandryjskiemu należy się miano inżyniera ze względu na treść dzieł, których przypisywane mu jest autorstwo. Najważniejsze z nich odnoszą się do miernictwa, mianowicie wykład geodezji oraz traktat o dioptrze. Dziś nazywamy dioptrą — zwykłą celownicę, t. j. linjał z przeziernikami, ale narzędzie Herona było więcej złożone. Na jego tarczy, dającej się ustawiać poziomo lub pionowo, obracał się linjał z przeziernikami i narzędzie służyć mogło do mierzenia kątów, na płaszczyźnie poziomej lub pionowej, tak jak astrolabjum Hipparcha; nadto, przy poziomem umieszczeniu tarczy, linjał zastępowała waga wodna i narzędzie służyło wtedy do poziomowania.

Z urywków tylko, przytaczanych przez późniejszych autorów, znane jest pismo Herona *M e c h a n i k e S y n t a x i s*, które było prawdopodobnie encyklopedją wiadomości inżynierskich. Dwa inne pisma Herona, *O p n e u m a t y k a c h* i *O a u t o m a t a c h*, rzucają wiele światła na ówczesny rozwój techniki. W piśmie *O p n e u m a t y k a c h* opisane są między innymi: lewar, to jest rurka zakrzywiona do przelewania cieczy, z naczynia wyższego do niższego, — eolipil, bania zamknięta z dwiema

zakrzywionemi rurkami, obracająca się przy wypływie pary przez rurki skutkiem oddziaływania pary, — oraz pompa dwutłokowa, bez dzwonu powietrznego, z wentylami klapowemi. Mimochodem nadmienić trzeba, że o przyrządach, opartych na działaniu ciśnienia powietrza, zostawił także pismo drugi uczeń Ktezybjusza, Philon z Bizancjum.

Ostatnie wreszcie dzieło Herona Aleksandryjskiego, *O podnoszeniu ciężarów*, zawiera opisy maszyn, używanych za jego czasów. Obok treści wszystkich tych pism jeden szczegół jeszcze usprawiedliwia dane Heronowi miano inżyniera. W ciągu rozpraw nad kwestją Herona zaznaczano, że jego greczyzna zawiera wiele zwrotów, zdradzających jego egipskie pochodzenie, a znów wyraz *heron* po egipsku znaczy inżynier. Wnioskowali stąd niektórzy, powątpiewający o istnieniu Herona, że przypisywane mu dzieła są spisane przez różnych profesorów kursami technicznymi szkoły Aleksandryjskiej.

Dzieło *O podnoszeniu ciężarów* doszło naszych czasów w rękopisie arabskim, znajdującym się w bibliotece w Lejdzie. Po *Problematach* Arystotelesa i traktatach Archimedesów jest to trzecie pismo starożytne, mające znaczenie w dziejowym rozwoju mechaniki. Podczas gdy filozof Arystoteles rozważał działanie drąga, jako pierwowzoru maszyn prostych a matematyk Archimedes wywodził ściśle prawo równowagi, inżynier Heron na wstępie pierwszej księgi traktatu *O podnoszeniu ciężarów* podaje opis zespołu kół zębatach, służącego do poruszenia danego ciężaru daną



Rys 7.



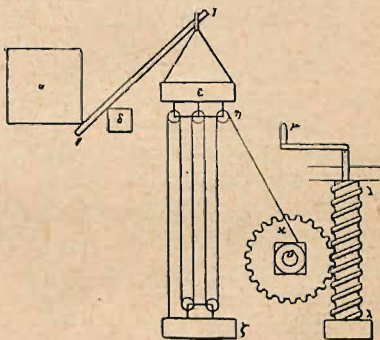
siłą (rys. 7). Nie wiąże się z tym wstępem dalszy ciąg księgi, w którym Heron rozważa: ruchy kół zębatach, składanie dwóch ruchów punktu, różne zadania geometryczne, ruchliwość ciężarów na równi pochyłej, spływanie wody po tej równi, ruch ciężaru zawieszonego na krążku, ruch walca wciąganego po równi pochyłej, wreszcie, powołując się na Archimedes, teorię środka ciężkości. Objaśnia następnie, jak się podpira i przenosi ciężary, i mówi, że przedmiot ten traktował ściśle Archimedes, w swej księdze *Opodporach*, a on podaje tylko to, co jest potrzebnem dla zrozumienia innych rzeczy i zastosuje otrzymane wyniki w zakresie odpowiednim dla studjujących. Wymieniona księga Archimedes nie znajduje się w zbiorze dochowanych dzieł wielkiego matematyka — a wzmianka o studjujących zdaje się usprawiedliwiać przypuszczenie, że przypisywane Heronowi pisma były podręcznikami szkolnemi. Wreszcie rozważa kwestję, któremi się zajmował Arystoteles, mianowicie ciśnienie obciążonej belki na pewną liczbę podpór, uginanie się pręta, trzymanego za jeden koniec, oraz równowagę drąga, obciążonego nierównymi ciężarami. Powtarzając nieraz, lub parafrazując rozumowania Arystotelesa, nigdy jednak nie wymienia jego nazwiska.

Księgę drugą swego traktatu zaczyna Heron temi słowy: „Maszyny proste, służące do wprowadzania w ruch pewnego ciężaru przy użyciu pewnej siły, są w liczbie pięciu; należy wskazać ich postacie, sposoby użycia i nazwy. Maszyny te opierają się na jedynej zasadzie naturalnej, jakkolwiek napozór są nader różne. Oto ich nazwy: kołowrót, drąg, krążek, klin i śruba bez końca.“ Heron opisuje szczegółowo te pięć maszyn, stosując teorię drąga do objaśnienia ich działania. O klinie mówi, że wprowadzany jest w ruch przez uderzenie, które następuje w jednej chwili, lecz nadaje klinowi ruch, przez pewien czas trwa-

jący, „gdyż niema żadnego ruchu bez czasu“. Śrubę uważa za klin, nawinięty na walcu, działający nie przez uderzenie, ale przez obrót. „Obracamy ten klin, powiada, zamiast go wbijać a ciężar podnoszony wydaje się lżejszym. Lecz, ułatwiając podnoszenie ciężaru, śruba działa nie tak, jak klin; klin bowiem działa wewnątrz ciała i rozszczepia to ciało, nie ruszając go z miejsca, podczas gdy śruba, będąca okręconym na walcu klinem, sama pozostaje w miejscu a ciężar do siebie przyciąga.“ Przedstawia także Heron (rys. 8) skombinowane działanie wszystkich maszyn, z wyjątkiem klina, i oblicza, z jaką siłą obracać trzeba korbę  $\mu$ , aby za pośrednictwem śruby  $\lambda$ , koła zębatego  $\kappa$ , osadzonego na wale, wielokrażka  $\epsilon\varsigma$  i drąga  $\gamma\beta$ , mającego podporę w punkcie  $\delta$ , poruszyć dany ciężar  $\alpha$ .

W księdze trzeciej opisuje Heron maszyny, służące do podnoszenia ciężarów, i prasy. Mówi, że cięża-

ry ciągnięte bywają na żółwiu a pod tą nazwą rozumie zwykle małe sanki, pod które, dla ulżenia, podkłada się wałki, lub buduje kolejkę drewnianą; opisuje różne windy do podnoszenia ciężarów, między innymi trójnóg taki, jak używany na ulicach przy robotach kanalizacyjnych, — klamry do zawieszania na windzie wielkich kamieni, wpuszczane w wyłobienia w kamieniach, — prostowanie murów, wygiętych przez trzęsienie



Rys. 8.

ziemi, zapomocą wielokrażka i śruby bez końca, — wreszcie prasę do wyciskania oliwy taką, jak nasze proste prasy drewniane.

Architekt rzymski Witruwiusz, z I-go w. przed Chr., który zostawił opis pierwszego narzędzia poziomniczego i przytoczoną opowieść o wynalazkach Ktezybjusza, podał o maszynach podobne wiadomości, co i Heron, nigdy wszakże tegoż nie wymieniając. We wstępie do księgi X-ej dzieła *O architekturze* określa Witruwiusz maszynę, jako połączenie sztuk drewnianych, bardzo pomocne do poruszania ciężarów a wprowadzanie w ruch zapomocą obrotu kół. Odróżnia trzy rodzaje maszyn: 1) wchodowe, t. j. wieże ruchome, używane w starożytności przy oblężaniu miast, 2) głosowe, w których wtłaczane powietrze wydaje tony i głosy, we właściwym porządku, 3) pociągowe, gdy ciężary są przenoszone lub podnoszone zapomocą maszyn. Jedne z nich uważa za maszyny, drugie za narzędzia i powiada:

„Między machinami a narzędziami ta zdaje się być różnica, że maszyny kilku ludzi i większej siły do poruszenia potrzebują, jako to balisty i prasy, narzędzia zaś, znawiczem działaniem jednego człowieka poruszane, cel zamierzony sprawują; takimi są łuki nakręcane i sprężyn. Maszyny więc i narzędzia do użycia są potrzebne: bez nich bowiem każde przedsięwzięcie przeszkody doznawać musi. Działanie zaś każdej maszyny jest dziełem przyrodzenia, zrobionem podług prawidła tej mistrzyni i nauczycielki z zastosowaniem do niej ogólnego systemu świata. Zpatrzmy się bowiem i zastanówmy nad naturą słońca, księżyca i pięciu planet, które gdyby podług stałego systemu się nie obracały, nie mielibyśmy we dnie światła, aniby owoce nie dojrzewały. Zważywszy to, przodkowie nasi wzory z przyrodzenia wzięli, i naprowadzeni na naśladowanie rzeczy niebieskich, usposobili



wygodne życia potrzeby; dla ułatwienia więc rzeczy jedno poruszaniem machinami, drugie narzędziami robili, i tak potrzeby do życia sztukami i rzemiosłami doskonaląc, stopniowo je wznosząc, nauki z nich kształcili. Zważmy najprzód wynalazki, tyczące się potrzeb życia, jako odzież, jak przez snucie się przędzy z narzędzia, wiązanie wątku z postawą nie tylko zabezpiecza ciała, okrywając one, lecz nawet przyzwoitość łączy ze strojem. Podobnie nie mielibyśmy obfitości pokarmu, gdyby jarzma i pługi na woły i na bydło nie były wynalezione. Gdyby lewarów, drągów i korb do pras nie było, nie mielibyśmy przyjemności, ani z czystego oleju, ani z winogrona, ani byśmy tego wszystkiego przewozić nie mogli bez wynalazku wozów i taczek na ziemi i okrętów na wodzie; podobnie i wynalazek sprawdzania wag na szalach zabezpiecza sprawiedliwe ludzi obyczaje od oszukaństwa. Są także niezliczone rodzaje machin, nad którymi niema potrzeby rozwodzić się, są bowiem w codziennem używaniu, jako to: koła, miechy kowalskie, wozy o czterech i o dwóch kołach, tokarnie i inne, które w zwyczajnem i pospolitem są używaniu.“

Tak pisał o znaczeniu i pożytku maszyn Marcus Vitruvius Pollio, budowniczy rzymski za czasów Augusta i Tyberjusza. Inny technik rzymski Sextus Julius Frontinus, późniejszy, bo żyjący w drugiej połowie I-go wieku po Chr., był za czasów Wespazjana dowódcą armji w Brytanji, a za Nerwy — inżynierem wodociągów rzymskich. O tych wodociągach zostawił dzieło: *De aquae ductibus urbis Romae commentarius*, w którym, mówiąc o sposobach rozprowadzania wody z akwaduktów, zaznacza, że wydatek otworu oceniany być winien nie tylko na zasadzie wymiarów otworu, lecz, że należy także uwzględnić wzniesienie zbiornika. Zwraca także uwagę, że rura, mająca odpro-

wadzać część wody z akwaduktu, winna mieć, stosownie do okoliczności, położenie więcej lub mniej ukośne względem biegu wody. Były to pewnego rodzaju przeczucia hydrauliczne, bo też o prawach ruchu wody nie mogło być mowy, gdy nie było jeszcze dynamiki.

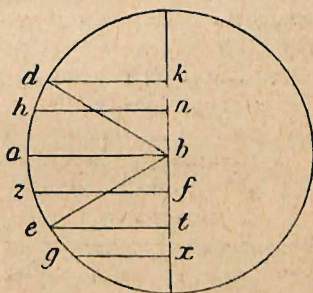
Gdy w 30-ym roku przed Chr., Rzymianie zawładnęli Egiptem, wśród zamieszek wojennych i cywilnych nastąpiło przerwanie wykładów w szkole Aleksandryjskiej; wszakże w pierwszych wiekach naszej ery stała się znów Aleksandrja ogniskiem intelektualnem dla większej części ludów, zamieszkujących brzegi Morza Śródziemnego. W tym drugim okresie swego rozwoju Szkoła Aleksandryjska nie zostawiła śladów zajmowania się mechaniką. Zaledwie u Pappusa z III-go w. po Chr. znajdujemy wadliwą teorię równi pochyłej i streszczenie pisma Herona Aleksandryjskiego O podnoszeniu ciężarów. W VII-ym w. upadła Aleksandrja, Arabowie spalili bibliotekę, a większość uczonych przeniosła się do Konstantynopola. Wśród uczonych bizantyńskich X-go w. pojawia się drugi Heron, który w tak zwanej „kwestji Heronowej“ narobił wiele zamieszania. Ów Heron z Konstantynopola pisał o geodezji i o machinach obłączniczych, pisma jego wszakże nie mają znaczenia w rozwoju mechaniki. Nie zajmowali się nią również uczeni arabscy, których pisma przeszły do Europy, zasłużyli się jednak przechowaniem rękopisu Herona Aleksandryjskiego O podnoszeniu ciężarów.

W rękopisach średniowiecznych bibliotek francuskich odnalazł Duhem szczątki statyki greckiej. Opierali na niej swe wywody uczeni średniowieczni, nie znający Archimedes a tylko przeniesione do Europy przez Arabów zabytki szkoły Aleksandryjskiej. Tych uczonych średniowiecznych wielu było zapewne, ale osoby ich nie są znane. W rękopisach niewiadomych autorów,



kolejno przepisywanych i powiększanych, gromadziły się wywody. Całość tej pracy kilkowiekowej uwydatnia się najlepiej w traktacie O ciężarach Jordana de Nemore, zwanego później Nemorariusem, mnicha żyjącego w XII czy XIII stuleciu. Według Duhema był to włosz Giordano de Nemi, wedle innych — Jordanus Saxo, dominikanin, który w 1222 r. został po św. Dominiku generałem zakonu.

Świeżość pomysłów cechuje wywody Nemorariususa. Biorąc pod uwagę ciało ruchome, obniżające się po krążnej niepionowej, wprowadza do dowodzenia, jako przedstawiającą jedyną siłę skuteczną, składową ciężaru po kierunku krążnej. Składową tę nazywa ciężkością względem położenia (*gravitas secundum situm*). Związek ilościowy między tą ciężkością względną a istotnym ciężarem nie jest mu znany. Wygłasza przeto prawo jakościowe: im więcej nachyloną do poziomu jest krążna, tem mniejsza jest ciężkość względem położenia. Na prawie tem opiera się dowodzenie jednego z twierdzeń, które wywarło największy wpływ na dalszy rozwój statyki. Ramię drąga *ab*, ruchomie około punktu *b*, obciążone jest w *a*. Ramię to podnosimy, doprowadzając ciężar do punktu *d*, lub obniżając do *e*. W obu tych przypadkach, tak zwana ciężkość względem położenia się zmniejsza. Dowód tego twierdzenia podaje Nemorarius następujący: odetnijmy, pod punktami *a*, *d*, *e*, łuki *az*, *dh*, *eg*, tak małe, jak tylko je mieć chcemy, równe so-



Rys. 9.



do  $eh$ , jest równy stosunkowi  $ac$  do  $cb$  a więc i stosunkowi ciężarów  $b$  do  $a$ ; przeto  $df$  ma się  $gm$  jak ciężar  $b$  do  $a$ , albo jak  $l$  do  $a$ . Siła więc, wystarczająca do podniesienia  $a$  do  $d$ , wystarczylaby do podniesienia  $l$  do  $m$ . Że zaś  $b$  i  $l$  się równoważą, więc przypuszczony ruch drąga nie może mieć miejsca a tak samo i ruch w stronę przeciwną“.

Dowodzenie to prawa równowagi drąga stanowiło wielki postęp w stosunku do dowodzenia Arystotelesa. Temu ostatniemu służył za punkt wyjścia mylny aksjomat proporcjonalności siły do prędkości; podczas gdy dowodzenie Jordana wiąże równowagę drąga z równością pracy, przygotowanej poruszającej, do pracy przygotowanej oporu. Był to pierwszy zawiązek zasady, której rozwinięcie nastąpiło dopiero w końcu XVIII w., w *Mechanice Analitycznej* Lagrange'a.

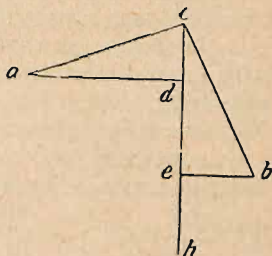
Statyka Jordana wywołała ruch umysłowy zaraz w XIII stuleciu. Pomysły w niej zawarte były roztrząsane, rozwijane i komentowane przez licznych matematyków i filozofów. Przesiewano ją łącznie z dawniejszymi traktatami, przerabiano, wzorując się na Arystotelesie. Jeden zwłaszcza z manuskryptów zasługuje na uwagę. Autora, nieznanego zupełnie, nazywa Duhem poprzednikiem Leonarda Vinci, tak wiele wspólnego znalazł w jego dziele z notatkami wielkiego artysty. Autor ten sprostował niektóre mylne poglądy Jordana, rozwinął nader szczęśliwie rzucone przezeń cenniejsze myśli i wytworzył dzieło oryginalne i wartościowe.

Nemorarius, rozważając drąg łamany o dwóch ramionach nierównych  $ca$  i  $cb$  takich, że punkty  $a$  i  $b$ , jednakowo obciążone, są równo oddalone od pionowej, dochodził do wniosku, że drąg nie jest w równowadze i że ciężar, umieszczony na końcu krótszego ramienia  $cb$ , przeważa takż

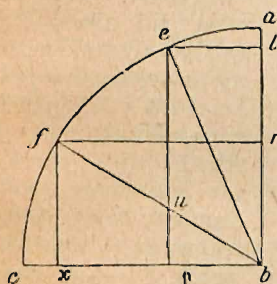




wej  $ch$ , były odwrotnie proporcjonalne do ciężarów w tych punktach przyłożonych." Określił nawet moment ciężaru, mówiąc w innym miejscu: „że ciężar, przyłożony w  $e$  (rys. 13) do ramienia  $be$ , ma się do ciężaru, przyłożonego w  $f$  do ramienia  $bf$ , jak  $el$  do  $fr$ , albo jak  $pb$  do  $xb$ . Ciężar, umieszczony w  $e$  na końcu ramienia  $be$ , ciąży jakby był umieszczony w punkcie  $u$  ramienia  $bf$ . W ten sposób uzupełnił i przedstawił w formie ilościowej prawo znane Nemo-



Rys. 12.



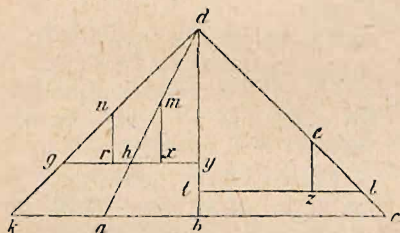
Rys. 13.

rariusowi, który twierdził, że ciężkość względem położenia zmniejsza się w miarę zbliżania ramienia do pionowej.

Prawo równowagi drąga łamanego, otrzymane przez zastosowanie zasady przesunięć przygotowanych i ściśle określone pojęcie momentu, te dwa odkrycia zapewniłyby już poprzednikowi Leonarda zaszczytne miejsce w rzędzie twórców statyki; umiejętność ta wszakże zawdzięcza mu jeszcze rozwiązanie zadania równi pochyłej. W starożytności zadaniem tem zajmował się Pappus, ale dał rozwiązanie niedokładne i uczonym średniowiecznym nieznanie. Nemorarius pomimo, że zastosowanie znanego mu pojęcia ciężkości względem położenia było by znacznie ułatwiło rozwiązanie zadania, nie dotykał

ców statyki; umiejętność ta wszakże zawdzięcza mu jeszcze rozwiązanie zadania równi pochyłej. W starożytności zadaniem tem zajmował się Pappus, ale dał rozwiązanie niedokładne i uczonym średniowiecznym nieznanie. Nemorarius pomimo, że zastosowanie znanego mu pojęcia ciężkości względem położenia było by znacznie ułatwiło rozwiązanie zadania, nie dotykał

go jednak. Dopiero poprzednik Leonarda zwraca uwagę, że ciężkość względem położenia ciężaru, umieszczonego na równi pochyłej, jest ta sama w każdym jego położeniu na równi i podejmuje porównanie jej wartości na równiach niejednakowo nachylonych. Rozważa więc dwie równie (rys. 14),  $dc$  i  $da$ , na których umieszczone są ciężary  $e$  i  $h$  w ten sposób, że gdy jeden z nich opada na dół, to podciąga drugi do góry. Urzeczywistnić to można, łącząc ciężary sznurem, przechodzącym przez krążek w  $d$ . Twierdzi, że gdy  $\frac{e}{h} = \frac{dc}{da}$ , to ciężary są w równowadze. Oto jego dowodzenie. Niech będzie



Rys. 14.

$dk$ , równia tak samo nachylona, jak  $dc$  i na tej równi ciężar  $g=e$ , umieszczony na tej samej wysokości co i  $h$ . Jeżeli przypuścimy, że  $e$  schodzi do  $l$ , to ciężar  $h$  zostanie podciągnięty do  $m$ . Ode-  
tnijmy  $gn = hm = el$ ,  
przez  $g$  i  $h$  poprowadźmy  $ghy$ , a przez  $l$  —  $lt$ , obie prosto padłe do  $db$ , oraz spuśćmy prostopadłe  $nr$  i  $mx$  do  $ghy$  i  $ez$  do  $tl$ . Mamy wtedy w trójkątach podobnych:

$$\frac{nr}{gn} = \frac{dy}{gd} = \frac{db}{dk}, \quad \frac{mx}{hm} = \frac{db}{da}, \quad \frac{mx}{nr} = \frac{dk}{da} = \frac{dc}{da} = \frac{e}{h} = \frac{g}{h}$$

Ale ponieważ  $e$  nie może podciągnąć  $g$  do  $n$ , bo to są ciężary równe na równiach jednakowo nachylonych, a więc nie podciągnie  $h$  do  $m$ , ciężary zatem  $h$  i  $e$  są w równowadze.



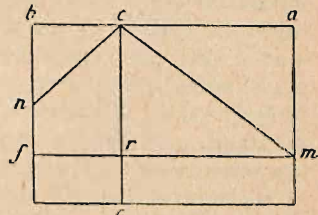
Dowodzenie to podobne jest do dowodzenia Nemorariusza prawa równowagi drąga prostego i posługuje się pośrednio tym samym postulatem: że siła, mogąca podnieść pewien ciężar na pewną wysokość, podnieść może ciężar  $k$  razy większy, na wysokość  $k$  razy mniejszą. Postulat ten pozwolił Nemorariusowi dowieść prawa równowagi drąga prostego a poprzednikowi Leonarda Vinci prawa równowagi drąga łamanego i równi pochyłej. Płodność tej zasady objawiła się więc już w XIII stuleciu i do dziś zasada ta nie przestaje dawać wyników. Stała się ona istotnym początkiem metody przesunąć przygotowanych, tak cenionej przez fizyków nowoczesnych.

Wielki artysta włoski epoki odrodzenia, Leonard Vinci, ur. w r. 1452, zajął pracami swemi pierwszorzędne stanowisko w dziejach nauk ścisłych i techniki. Stosował on stale matematykę do budowy maszyn i do wszelkich prac technicznych, uważał ją za jedyne pewnego przewodnika w badaniu i twierdził, że „niema żadnej pewności w naukach, do których się nie daje przystosować matematyka, lub które w jakikolwiekby sposób od niej nie zależą.“ Mechanikę nazywał Vinci „rajem umiejętności matematycznych“ a pierwsze wiadomości o niej zaczerpnął z traktatu o ciężarach Magistra Blasius'a z Parmy, który w XV w. wykładał w Bolonji i Padwie a w traktacie swoim korzystał z Nemorariusza i z nieznanego autora, zwanego poprzednikiem Leonarda. Zaczerpnięte u Blasiusa myśli świetnie rozwinął Vinci. W jednym z pism swoich mówi, że gdy jakakolwiek maszyna użyta jest do wprawiania w ruch ciała ważkiego, to wszystkie jej części, mające takiż sam ruch jak ciało, ponoszą obciążenie równe ciężarowi tegoż ciała. Jeżeli poruszająca część maszyny ma w tym samym czasie więcej ruchu, niż ciało poruszane, to mieć będzie zarazem więcej siły i to o tyle więcej, o ile prędzej się porusza od tego ciała.



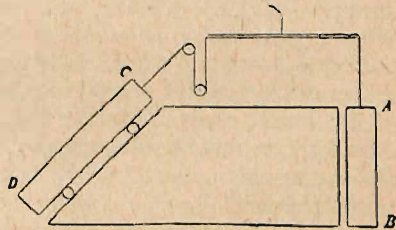
$ac$ , jaką proporcję ma ciężar, unoszony przez długość  $cm$ , do ciężaru, unoszonego przez długość  $cn$ ."

Duhem wykazał, że Leonard znał i używał w dowodzeniach twierdzenia: „Moment wypadkowej dwóch sił zbiegających się względem punktu, położonego na jednej ze składowych, jest równy momentowi drugiej składowej względem tegoż samego punktu," a nawet i wniosku:



Rys. 17.

„względem punktu położonego na kierunku wypadkowej, dwie składowe mają momenty równe ze znakami przeciwnymi." Teorię równi pochyłej naszkicował Leonard (rys. 18) w sposób, zdradzający znajomość prawa rozkładu sił, a ścisłość tej teorii wykazują słowa obok zanotowane „taki będzie na wadze ciężar  $AB$ , jaki jest ciężar  $CD$ ."



Rys. 18.

Przechodząc do poglądów Leonarda Vinci na ruch, zazna-

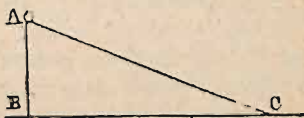
czyć trzeba, że pojęcia o ruchu nie postąpiły ani na krok od czasów Arystotelesa. Filozof grecki nazywał ruchem nie tylko zmianę położenia ciała, ale także pewne zmiany jego jakości, uważane dziś za modyfikacje fizyczne lub chemiczne. Mówiąc o elementach, do których zaliczał: ziemię, wodę, ogień i powietrze, utrzymywał Arystoteles, że każdemu z tych elementów odpowiada



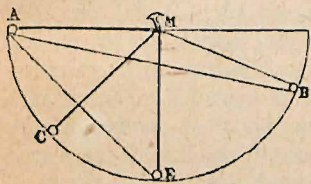
pewne położenie naturalne, które element usiłuje zająć. W spadku ciał ważkich, lub podnoszeniu się ciał lekkich widział objawy tego dążenia do zajęcia położenia naturalnego. Uważał je za przykłady ruchu naturalnego, któremu przeciwstawiał ruch gwałtowny, nie skierowany w stronę położenia naturalnego, jak np. ruch pocisków. Ten ruch gwałtowny poczytywał za przemijający. Uważał: że każdy ruch spotyka opór i dla utrzymania ruchu potrzebny jest silnik, że każde ciało w ruchu, poruszane jest przez pewną siłę lub potęgę, proporcjonalną do prędkości ruchu i do masy ciała poruszanego, zastrzegając tylko, że bardzo mała siła nie może wcale poruszyć ciała bardzo wielkiego. Silnikiem ruchu gwałtownego, jak ruch pocisków, było według Arystotelesa powietrze, wstrząśnięte przez pocisk i pociągające go z przodu a popychające z tyłu. Powietrzu więc przypisywał tę władzę, której odmawiał pociskowi, władzę pozostawania w ruchu bez silnika, przez pewien rodzaj konserwacji ruchu nabytego. W ruchu naturalnym, np. przy spadku ciał, silnikiem miała być ciężkość, w skutku której każde ciało dąży do zajęcia położenia naturalnego. Arystoteles zdawał sobie sprawę, że spadek ciał odbywa się z przyspieszeniem i sądził, że ciężkość wzrasta w miarę przybliżania się ciała do położenia naturalnego. Komentatorowie Arystotelesa upatrywali przyczynę przyspieszenia w tym fakcie, że im ciało spadające znajduje się niżej, tem jest cieńszą a zatem łatwiejszą do przebicia warstwa powietrza, oddzielająca ciało od ziemi. W wiekach średnich objaśniano przyspieszenie przy ruchu ciał spadających w ten sposób, jak Arystoteles tłumaczył utrzymywanie się strzały w ruchu, a więc działaniem powietrza na strzałę. Epoka odrodzenia przyniosła nowe poglądy, przypisujące utrzymywanie w ruchu pocisków zachowaniu pewnej nadanej własności, pewnemu i m p e-

to w i, pochodzącemu od silnika, który pocisk w ruch wprawia. Pogląd ten wyraził Leonard Vinci, przyjmował wszakże, że impet nie pozostaje w pocisku nieograniczenie. Według Leonarda pocisk ma z początku ruch gwałtowny pod działaniem impetu, następnie impet ten stopniowo słabnie, działanie ciężkości przemaga i wytwarza ruch naturalny. To słabnięcie impetu dowodzi, jak twierdził Vinci, niemożności ruchu wiecznego (perpetuum mobile). I tak z mętnych jeszcze poglądów dynamicznych Leonarda wyłaniała się już jedna z prawd zasadniczych mechaniki.

Prawdziwymi także są uwagi wielkiego artysty, dotyczące ruchu ciężarów po równiach pochyłych. Mówi np.: „Spadanie ciała  $A$  (rys. 19) po linii  $AC$ , trwa o tyle dłużej niż po  $AB$ , o ile  $AC$  jest dłuższe od  $AB$ “. Mówi w innym miejscu: „Ciężar  $A$  (rys. 20) opuszczający się przez  $C$  i  $E$ , dojdzie do  $B$  z tą samą prędkością, jakąbyśmy znaleźli, gdyby ten sam ciężar spadał od  $A$  do  $B$  po linii prostej  $AB$ “.



Rys. 19.



Rys. 20.

Albo jeszcze uwaga: „Ciężar  $A$  spada prędzej po łuku  $ACE$ , niż po cięciwie  $AE$ , gdyż rozpoczyna spадanie po pionowej.“ Jasne i proste te orzeczenia wykazują, że Vinci zdawał sobie sprawę z zasadniczych pojęć mechaniki. W innym miejscu notuje, że gdy ciało pod działaniem siły przebiega pewną przestrzeń w danym przeciągu czasu, to przy tej samej sile przebiegnie połowę tej przestrzeni w połowie tegoż czasu. Uderzenie określa jako

niem siły przebiega pewną przestrzeń w danym przeciągu czasu, to przy tej samej sile przebiegnie połowę tej przestrzeni w połowie tegoż czasu. Uderzenie określa jako

siłę, działającą w czasie bardzo krótkim. Nad tarciem robił pierwszy poważne doświadczenia i wyciągnął z nich wnioski. Do ciała, umieszczonego na płaszczyźnie poziomej, przywiązany był sznur, który, przechodząc po swobodnie obracającym się krążku, służył do zawieszania na nim ciężaru, mierzącego natężenie tarcia. Obliczał również Leonard kąt nachylenia, jakie nadać trzeba płaszczyźnie, aby umieszczone na niej ciała zaczęły się ześlizgiwać; obserwował wreszcie tarcie koła, które, jak zanotował: „tocząc się po płaszczyźnie, nieskończenie małemi krokami, raczej się jej dotyka, aniżeli o nią trze.“ Ze swych doświadczeń wyciągnął następujące wnioski. Tarcie jest niezależne od wymiarów powierzchni w zetknięciu, zmniejsza się, im więcej te powierzchnie są wygładzone i smarowane, a przy jednakiej gładkości i tym samym smarze jest proporcjonalne do ciśnienia. Przyjmował, że na płaszczyźnie poziomej przy wygładzonych powierzchniach każde ciało stawia w skutku tarcia opór równy  $\frac{1}{4}$  swego ciężaru.

Ślady doświadczeń, jakie wykonywał Vinci nad wytrzymałością tworzyw, spotykamy także w jego rękopisach pod postacią rysunków, zbliżonych do tych, jakie dziś jeszcze podawane są w podręcznikach. Badał on opór, jaki stawiają belki proste przy wyginaniu, wytrzymałość na ściskanie i na rozciąganie, obliczał moc gwoździ, śrub i łańcuchów. Z hydrauliki wymienia czternaście okoliczności, które mają wpływ na ilość wody, wypływającej z kanału przez otwór danej wielkości: 1) wzniesienie poziomu wody w kanale ponad otworem, 2) prędkość wody w kanale przy ścianie, w której zrobiono otwór, 3) nachylenie brzegów otworu do jego osi, 4) grubość brzegów otworu, 5) kształt otworu, kołowy, kwadratowy, trójkątny lub podługowaty, 6) nachylenie osi otworu do ściany kanału, 7) też nachylenie do poziomu, 8) położenie



otworu w części wypukłej lub wklęsłej ściany kanału, 9) nierówności dna kanału w pobliżu otworu, 10) powietrze wypływające przez otwór razem z wodą, 11) wypływ swobodny, albo przez pogródkę lub rurę, 12) średnica rury, 13) jej długość, 14) jej gładkość wnętrza i kierunek prosty lub zakrzywiony. Te czternaście punktów stanowią jakby szkic programu niezapoczątkowanej jeszcze nauki hydrauliki. Inna znów uwaga zapowiada późniejszą zasadę Pascala: „Spójrzysz na sikawkę.” są słowa Leonarda: „gdy jej tłok, który wypycha wodę, posunie się na palec, to pierwsza woda, która wyszła nazewnątrz, oddaliła się już na parę łokci.”

Wśród rysunków bez tekstu, zapelniających liczne stronnice rękopisów Leonarda Vinci, spotykamy: statki wodne z kołami popędowymi, koła wodne silnikowe o osi poziomej i pionowej z łopatkami płaskimi i zakrzywionymi, jakby dla uniknięcia szkodliwego uderzenia wody, wchodzącej na łopatkę; przyrządy do przenoszenia ciśnienia za pośrednictwem wody przy zastosowaniu różnej wielkości powierzchni cisnących, będące jakby zapowiedzią prasy hydraulicznej; armatę parową, wyrzucającą pociski działaniem prężności pary; przyrządy do latania w powietrzu, spadochrony, różne maszyny rzemieślnicze, szlifierki do wyrobu zwierciadeł płaskich i wklęsłych, zawieszenie, później mylnie nazwane zawieszeniem Cardana, cyrkiel proporcjonalny z przesuwaną główką. Poważniejsze jeszcze znaczenie w dziejach technologii mechanicznej przedstawiają: szkice przyrządu do przedzenia, ulepszonych kołowrotek o dwóch wrzecionach, przyrządów tkackich, postrzygalni do sukna, przyrządów powroźniczych, mechanizmu zegarowego, młynów, wind, pił kamieniarskich, walcowni żelaza, heblarek, wiertarek, maszyn do nacinania pilników, wreszcie wielu ustrojów, służących do przesyłania ruchu w maszynach. Między

naszkicowanemi przez Leonarda różnemi typami łańcuchów znajdują się znane dziś powszechnie pod nazwą Gall'a albo Vaucausona.

Leonard Vinci zmarł we Francji w r. 1519. Jego rękopisy uległy w części rozproszeniu, w części zaś po długich wędrówkach dostały się do bibliotek i muzeów w Londynie, Paryżu i Medjolanie. Przez długie lata nie zdawano sobie sprawy z wpływu, jaki wywarły uwagi Leonarda na rozwój statyki. Dopiero badania Duhema wykazały, ile z nich skorzystał słynny fizyk włoski Cardan, w swem dziele *De Subtilitate* z r. 1551. Nietylko mechanika Cardana jest zupełnie podobną do mechaniki Leonarda, ale w dziele *De Subtilitate*, powtórzone zostały w znacznej liczbie uwagi z różnych działów wiedzy, rozproszone w rękopisach wielkiego artysty.

---