

IV. TORRICELLI.—PASCAL.—WALLIS.—  
WREN. — HUYGHENS. — SZKOŁA  
JEZUICKA. — KOCHAŃSKI. — SOLSKI.

Jeżeli jednej gałęzi mechaniki stosowanej, a mianowicie nauce o wytrzymałości tworzyw, dał początek Galileusz w swych nieśmiertelnych *DIALOGACH*, to znów druga, t. j. hydraulika, zawdzięcza swe powstanie dwóm jego uczniom: Castelliemu i Torricelliemu. Benedykt Castelli stawiał pierwsze swe kroki w nauce pod kierunkiem Galileusza w Pizie i do końca życia wielkiego mistrza, od którego o 13 lat tylko był młodszy, pozostawał jego zaufanym powiernikiem i przyjacielem. Castelli pierwszy podjął badania doświadczalne nad biegiem wody w rzekach a w dziełku *Della misura dell'acqua corrente* z r. 1628 wprowadził prędkość jako czynnik, służący do oceny wydatku prądu, i zauważył, że prędkość, z jaką woda wypływa przez mały otwór z naczynia, zależy od wzniesienia poziomu wody nad otworem; pomylił się wszakże przy określaniu tej zależności, utrzymując, że prędkości wypływu są proporcjonalne do tych wzniesień. Torricelli był szczęśliwszym, wygłaszając o wypływie cieczy przez otwory twierdzenie, na którem do dziś opiera się hydraulika. Mieści się ono w zbiorze jego roz-

praw *Opera geometrica* z r. 1644, na końcu pracy *De motu gravium naturaliter descendentium*. Widząc, że woda wytrysku, wychodzącego przez mały otwór, wznosi się pionowo prawie do wysokości poziomu wody w zbiorniku, wnioskował Torricelli, że powinna posiadać tę samą prędkość, jakgdyby spadała z tej wysokości skutkiem swego ciężaru, i że zgodnie z teorią Galileusza, pomijając opory podrzędne, prędkości wypływu są proporcjonalne do pierwiastków kwadratowych z wysokości poziomu wody w zbiorniku ponad otworem. Twierdzenie to nie było dowiedzionem, a tylko poparł je doświadczeniami, wykonanemi w tym czasie nad wydatkami rozmaitych przystawek, inny uczeń Galileusza Rafael Magiotti; stosowało się zresztą tylko do bardzo małych otworów i nie mogło służyć do dokładnego obliczenia wydatku, gdyż zjawisko ściśnienia żyły wodnej nie było jeszcze znane.

Torricelli, urodzony w r. 1608, mając lat dwadzieścia, przybył do Rzymu i tam słuchał wykładów Castelliego, poczem jako młody uczony, odznaczył się pismem *Del moto dei gravi*, w którym rozwijał teorie Galileusza. Wielki ten mistrz, podówczas ociemniały, wykończył w Arcetri ostatnie dwie części *DIALOGÓW* i zażądał od Castelliego, aby mu przysłał uzdolnionego pomocnika. W r. 1641 podążył tam Torricelli i wspólnie z Vivianim spisywał przez trzy miesiące ostatnie myśli Galileusza, po którego zgonie pozostał na dworze wielkiego księcia tokańskiego. Owocna jego działalność naukowa nie długo jednak trwała, bo zmarł w pięć lat po Galileuszu w 39-ym roku życia. W tej samej rozprawie, która obejmowała jego twierdzenie hydrauliczne, podał Torricelli inne twierdzenie, noszące również jego imię, a odnoszące się do własności mechanicznych środka ciężkości. O tem twierdzeniu, stanowiącem w statyce tak zwaną zasadę

Torricelliego, tak mówi Lagrange: „Torricelli, słynny uczeń Galileusza, jest autorem zasady, która się wiąże z zasadą równowagi momentów Galileusza, albo raczej stanowi wypływający z niej wniosek, mianowicie, jeżeli dwa ciężary tak są ze sobą związane, że przy jakimkolwiek bądź ich umieszczeniu ich środek ciężkości nie podnosi się ani nie obniża, — to pozostają w równowadze we wszystkich tych położeniach. Torricelli stosował swą zasadę tylko do równi pochyłej, łatwo jednak przekonać się, że jest ona ważną dla wszystkich maszyn prostych.“

Mówiąc o hydrostatyce Galileusza, podnosiłem główny punkt wyjścia jego rozumowań, polegający na związaniu hydrostatyki z mechaniką ogólną, a zwłaszcza na uznaniu, że zasada prędkości przygotowanych stanowi najodpowiedniejszy sposób objaśniania praw równowagi cieczy. Z nową metodą dowodzeń hydrostatycznych Galileusza wiąże się genialny pomysł Pascala, który w rozprawie *Traité de l'équilibre des liqueurs*, wydanej w r. 1663, t. j. w rok po jego zgonie, rozważał ciecz w naczyniu jako maszynę, która podobnie, jak drąg lub kołowrot, reguluje wzajemne działanie przyłożonych do niej sił i określa ich stosunek warunkujący równowagę. Na mocy tego poglądu zastosowaną została zasada prędkości przygotowanych do objaśnienia równości ciśnień na tłoki, wstawione w otwory w ścianach naczynia. „Należy podziwiać“ są słowa Pascala: „że w tej nowej maszynie spotyka się ten stały porządek, jaki jest we wszystkich dawnych, jak w drągu, kołowrocie, śrubie bez końca i t. p., polegający na tem, że droga powiększa się w tym samym stosunku, co i siła. Widocznem jest bowiem, że gdy jeden otwór jest 100 razy większy od drugiego i człowiek, popychając mniejszy tłok, przesuwając takowy na 1 cal, to wypchnie tłok większy na  $\frac{1}{100}$  cala; bo ponie-



waż ten ruch odbywa się w skutku ciągłości wody między dwoma tłokami tak, że jeden tłok nie może się poruszać bez wypychania drugiego, więc skoro tłok mniejszy posuwa się na 1 cal, to woda, którą wypycha, naciska na drugi tłok; a że powierzchnia tego drugiego tłoka jest sto razy większa, więc woda wepchnięta zajmuje pod tym tłokiem tylko  $\frac{1}{100}$  część wysokości tak, że droga ma się do drogi, jak siła do siły. I można to przyjąć za istotną przyczynę omawianego faktu, gdyż jasnem jest, że na jedno wychodzi: czy 100 funtów wody przesunie się na 1 cal, czy też 1 funt na 100 cali i że, skoro 1 funt wody tak jest związany ze 100-ma funtami, iż 100 f. nie mogą się posunąć na 1 cal, jeżeli nie posuną 1-go funta na 100 cali, to muszą one znajdować się w równowadze, przyczem 1 funt ma tyle siły, aby przesunąć 100 f. na 1 cal, a 100 f. aby przesunąć 1 f. na 100 cali." Z pomocą zasady prędkości przygotowanych objaśniona została przez Pascala główna własność cieczy, mianowicie równomierne rozchodzenie się w nich ciśnień we wszystkich kierunkach. Z tej własności zaś mogła już być wyprowadzona cała hydrostatyka.

Błażej Pascal zmarł w r. 1662 mając lat 39. Jako matematyk zdziałał mniej, niż można było oczekiwać od jego geniuszu, gdyż poświęcił znaczną część życia praktykom religijnym. W tym czasie nad wpływem wody przez otwory w cienkiej ścianie i opatrzone przystawkami oraz nad biegiem wody w rurach i kanałach pracował we Francji Mariotte, wykonywując doświadczenia w Wersalu i Chantilly. Pozostały po zgonie Mariotte'a w roku 1686 Traktat o ruchu wody i innych cieczy wydany został dopiero w XVIII w.

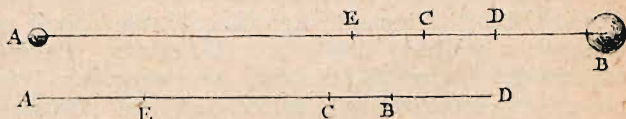
Na założonych przez Galileusza, Stevina i Descartes'a fundamentach wznosić zaczęli matematycy drugiej połowy XVII w. okazały dziś gmach mechaniki. Przed-

miotem, który najprzód zwrócił na siebie ich uwagę, były prawa uderzenia i udzielania ruchu. Potrzebę tych praw odczuwał już Descartes i usiłował je oznaczyć, lecz, zajęty ogólnym systemem swej filozofji, nie dopiął celu i zostawił w większej części mylne poglądy. Pierwsze poważne odkrycia w tej dziedzinie zawdzięczamy Towarzystwu Królewskiemu w Londynie, które, poruszając wielokrotnie tę sprawę na swych posiedzeniach, ogłosiło w r. 1668 formalny konkurs na jej rozwiązanie. Trzech znakomitych uczonych stanęło do apelu: dwaj Anglicy — Wallis i Wren i Holender Huyghens.

Metoda, użyta przez Wallisa, najprościej wiodła do celu. Wprawdzie w rozprawie nadesłanej rozważał tylko uderzenie ciał absolutnie twardych lub miękkich, lecz następnie, w traktacie *De motu* z 1670, rozszerzył swą teorię i na ciała sprężyste. Teorja ta, powtarzana do dziś w podręcznikach, streszcza się w znanym wzorze  $u = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$ , gdzie  $m$  i  $m'$  są uderzające się masy,  $v$  i  $v'$  prędkości przed uderzeniem a  $u$  wspólna prędkość po uderzeniu. Pojęcie ilości ruchu wprowadzone było przez Wallisa w znaczeniu iloczynu z ciężaru przez prędkość. Pojęcie masy i ilości ruchu, jako iloczynu z masy przez prędkość, mechanika zawdzięcza Mariotte'owi, który w ten sposób wyłożył teorię Wallisa w swoim *Traité de la percussion ou choc des corps* z r. 1674.

Teorja, przedstawiona przez Wrena, zgodna z teorią Wallisa, odnosiła się wyłącznie do ciał sprężystych. Zasługuje na uwagę sposób ogólny i treściwy jej przedstawienia. Jeżeli ciała  $A$  i  $B$ , mówi Wren, biegną ku sobie, pierwsze z prędkością i w kierunku  $AD$ , drugie z prędkością i w kierunku  $BD$ , i jeżeli  $C$  jest ich wspólnym środkiem ciężkości, to odetnijmy  $CE = CD$ . Ciało  $A$  po ude-

zeniu poruszać się będzie z prędkością i w kierunku  $EA$ , a ciało  $B$  z prędkością i w kierunku  $EB$ . Wyjaśnienie



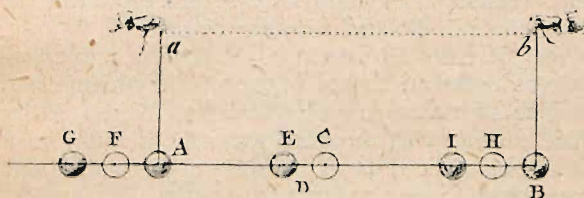
Rys. 27.

to obejmuje wszystkie możliwe przypadki, gdyż, jeżeli punkt  $D$  leży między  $A$  i  $B$ , mamy przypadek dwóch ciał biegnących ku sobie. Jeżeli leży po za nimi, przypadek dwóch ciał doganiających jedno drugie, a jeżeli schodzi się z punktem  $A$  lub  $B$  — przypadek w którym jedno z dwóch ciał w chwili uderzenia było w spoczynku. Tak samo położenie punktu  $E$  wyznacza kierunki ruchu obu ciał po uderzeniu. Jeżeli ten punkt leży między  $A$  i  $B$ , to ciała odbijają się jedno od drugiego, gdyż biegną w kierunkach  $EA$  i  $EB$ , jeżeli leży po za linią  $AB$ , ciała biegną po uderzeniu w jednym kierunku, a jeżeli się schodzi z  $A$  lub  $B$ , to jedno z ciał po uderzeniu pozostaje w spoczynku. Wren w swej rozprawie z r. 1668 streścił na 8 rysunkach 13 przypadków różnych położzeń  $D$  i  $E$  względem  $A$  i  $B$ , a grafik jego daje dla każdego przypadku wielkość i kierunek prędkości każdego z dwóch ciał po uderzeniu.

W podobny sposób podał teorię uderzenia Huyghens w dziele pośmiertnem *De motu corporum ex percussione*. Jeżeli dwa ciała równe i sprężyste wpadają na siebie z równymi prędkościami, to wiadomo z doświadczenia, że się odbijają od siebie z temiż samymi prędkościami. Cóż się dzieje, gdy prędkości nie są równe? „Wyobraźmy sobie,” mówi Huyghens, „że człowiek, stojący na statku, trzyma w dwóch rękach sznurki  $aA$  i  $bB$ ,



z przywiązaniem do nich ciałami  $A$  i  $B$  i że podczas, gdy statek porusza się z prędkością jednostajną od  $A$  do  $B$ , człowiek zbliża do siebie oba ciała z jednakową prędkością. Każde z ciał przebiegnęłoby połowę odległości i spotkało by się w  $C$ , gdyby statek był nieruchomy. Lecz, wobec ruchu statku ciało  $A$  przebiegnie tylko odległości  $AD$  a ciało  $B$  odległość  $BD$ . Taki jest ich ruch rzeczywisty



Rys. 28.

i taki się przedstawia obserwatorowi, stojącemu na brzegu. Wiadomo jednak, że gdy różne ciała mają jeden ruch wspólny, to ich ruchy poszczególne odbywają się tak, jakby ruch wspólny nie istniał. Dwa ciała równe  $A$  i  $B$ , biegnące ku sobie z równymi prędkościami, odbijają się od siebie w  $D$  z temiż samymi prędkościami względnie do statku i, gdyby statek był nieruchomy w chwili uderzenia, to kładąc  $DF=DH=CA$ , doszłyby równocześnie do  $F$  i  $H$ . Skoro zaś statek po uderzeniu posuwa się na odległość  $DE=DC$ , to równocześnie względem obserwatora, stojącego na brzegu, ciało  $A$  przejdzie od  $D$  do  $G$ , a ciało  $B$  — od  $D$  do  $I$ . Że zaś  $DI=AD$ , a  $DG=DB$ , więc ciała  $A$  i  $B$ , biegnąc w tym ruchu względnym z różnymi prędkościami, przy uderzeniu zamieniły swoje prędkości.

Wszystkie inne przypadki uderzenia między ciałami równego ciężaru objaśnia Huyghens w ten sam sposób. Przy ciężarach nierównych dowodzi najprzód, że, gdy

ciała wpadają jedno na drugie z prędkościami odwrotnie proporcjonalnymi do ciężarów, to się odbijają z temiż samymi prędkościami. W tym celu Huyghens posługuje się uwagą, że gdyby ciała, mające się uderzyć, nabyły swe prędkości spadając pionowo a po uderzeniu odbite zostały pod górę z nowymi prędkościami, to ich środek ciężkości nie mógłby się podnieść wyżej, niż do wysokości z jakiej spadał. Dalszy ciąg dowodzenia przeprowadza w ten sam sposób, jak dla ciał równego ciężaru.

Wielec jeszcze do rozwoju mechaniki przyczynił się Huyghens dalszemi swemi pracami. Wymienię naprzód odnoszące się do zegarmistrzostwa. Galileusz, który już w Pizie zauważył izochronizm wahadła, a opisał ściśle dopiero w swoich *Dijalogach*, stosował pierwotnie wahadło do spostrzeżeń astronomicznych, popychając je ręką, a do liczenia wahań używał licznika, złożonego z lekkiego kółka zębatego, wyciętego z cienkiej tekturki. Drażek poziomy, umocowany przy sznurku wahadła, przesuwał to kółko przy każdym wahnieniu o jeden ząbek, liczbę zaś całkowitych obrotów kółka zębatego dawało drugie kółko i wskazówka. Pod koniec życia, niewidomy, dyktował synowi Wincentemu i uczniowi Vivianiemu opis zegara wahadłowego, którego model sporządzony został przez Wincentego w r. 1649. Tak szkic, jak i model pozostawały nieznane. Astronomowie posługiwali się wahadłem w ten sam sposób, jak to czynił Galileusz, a potrzebując przy obserwacjach dokładnych zegarów, pracowali nad przystosowaniem do nich wahadła. Nie powiodło się to naszemu Heweljuszowi, gdańszczaninowi, który na mapie nieba umieścił wśród konstelacyj Tarczę Sobieskiego, — gdy tymczasem Huyghens w broszurze p. t. *Horologium*, wydrukowanej w Hadze w r. 1658, podał rysunek mechanizmu, stanowiącego istotny zawiazek dzisiejszych zegarów wahadłowych. Mechanizm ten



miał ciężar poruszający i przeciwwagę, zawieszone na dwóch krążkach, z których pierwszy służył do nakręcania zegara, a drugi do wprowadzania w ruch mechanizmu. Wychwyt wrzecionowy, złożony z koła zębatego i wrzeciona ze skrzydełkami, komunikował ruch widelkom, popychającym wahadło. Nad przystosowaniem wahadła do zegarów pracował równocześnie i nasz mechanik, jezuita Adam Kochański, i w swej pracy o zegarmistrzostwie, stanowiącej księgę dziewiątą obszernego dzieła Kaspra Schotta *Technica curiosa*, podał projekty dziesięciu różnych mechanizmów; wszakże zegar Huyghensa z r. 1658 pozostał najwybitniejszym, z urzeczywistnionych w tym czasie zastosowań wahadła do zegarów, gdyż na nim wzorować się zaczęły natychmiast zegary astronomiczne i publiczne w Holandji i innych krajach.

Huyghens ulepszył swój pomysł i rozwinął w pomnikowym dziele p. t. *Horologium oscillatorium* z r. 1673. Zauważywszy, że izochronizm wahadła, zwłaszcza przy większych oscylacjach, nie jest ścisły, dążył do otrzymania izochronizmu absolutnego, co go doprowadziło do szukania takiej linii krzywej, po którejby staczający się ciężar, wypuszczony z któregośkolwiek jej punktu, dochodził w jednym i tym samym czasie do punktu najniższego krzywej. Znalazłszy, że tą krzywą jest cykloida, starał się zbudować wahadło, którego ciężarek zakreśla przy wahaniach nie łuk koła, ale łuk cykloidy, przyczem stał się w geometrii twórcą teorii krzywych rozwijających i rozwiniętych. Teoria ta dała mu jako rozwiniętą cykloidy też samą cykloidę i Huyghens urzeczywistnił wahadło cykloidalne, opierając giętki pręt wahadła przy punkcie zawieszenia na dwóch półcykloidach. W praktyce jednak wynalazek ten się nie utrzymał, gdyż doświadczenia wykazały, że wahadła, zakreślające małe łuki koła, posiadają izochronizm wystarczający przy najdelikatniejszych

zastosowaniach. Zajmowały także Huyghensa zegarki kieszonkowe i według jego wskazówek wprowadzoną została do nich w r. 1674 sprężyna spiralna, zwana dziś włosem.

- W czwartej części dzieła *Horologium oscillatorium* podał Huyghens teorię wahadła fizycznego. Za punkt wyjścia posłużyła mu hipoteza następująca: „Gdy jakiegokolwiek ciężary zaczynają się poruszać pod działaniem siły ciężkości, to wspólny ich środek ciężkości nie może się wznieść wyżej, niż się znajdował w chwili początku ruchu.” Dla lepszego objaśnienia hipotezy dodaje Huyghens te słowa: „Ta nasza hipoteza tem mniej wzbudzi wątpliwości, gdy wykażemy, że wyraża ona prawdę, której nikt nigdy nie zaprzeczył, a mianowicie, że ciężary nigdy się same nie podnoszą... Stosuje się ona i do cieczy i oprzeć na niej można nietylko to wszystko, co powiedział Archimedes o ciałach pływających, ale i większość innych twierdzeń mechaniki. I rzeczywiście, gdyby wynalazcy nowych maszyn, mających urzeczywistniać ruch nieustający, mieli wzgląd na tę prawdę, łatwo by się przekonali o swoim błędzie i zrozumieli, że zadanie to przez mechanikę nie może być rozwiązane.” Wyszedszy z tak wyjaśnionej hipotezy, określił Huyghens, jako *ś r o d e k w a h a ń*, punkt linii środkowej wahadła fizycznego, którego odległość od punktu zawieszenia wahadła jest równa długości wahadła prostego, izochronicznego z danem wahadłem fizycznym, i podał następujące pravidło oznaczania jego położenia: „Niech będzie wahadło fizyczne, złożone z jakiegokolwiek liczby ciężarów. Pomnożmy te ciężary przez kwadraty z ich odległości od osi wahań i sumę iloczynów podzielmy przez iloczyn z sumy ciężarów, pomnożonej przez odległość środka ciężkości całego wahadła od tejże osi. Otrzymamy tym sposobem długość wahadła prostego, izochronicznego



z wahadłem fizycznym, czyli odległość między osią a środkiem wahań.“ W trakcie tych prac doszedł Huyghens do wyrażień, które dziś, za przykładem Eulera, nazywamy momentami bezwładności i wywiódł ważny związek między temi momentami, branymi względem osi równoległych. Dowiódłszy następnie twierdzenia, że środek wahań i punkt zawieszenia wahadła fizycznego mogą się wzajemnie zastępować, stał się Huyghens wynalazcą wahadła odwracalnego.

Zasada, na której oparł Huyghens teorię wahadła fizycznego, polegała na równości spadku i podniesienia środka ciężkości wielu ciał, spadających razem a potem podnoszących się każde oddzielnie z prędkością, przez każde z nich nabytą podczas spadku. Droga, jaką przebiega środek ciężkości tych wszystkich ciał, w jakimkolwiek kierunku, wyraża się sumą iloczynów z ciężaru każdego ciała i drogi przebieżonej przez to ciało, podzieloną przez sumę ciężarów. Z drugiej znów strony Galileusz dowiódł, że droga pionowa, wzdłuż której spada ciało, jest proporcjonalna do kwadratu z prędkości nabytej i że ciało, ożywione tą prędkością, może się podnosić do tej samej wysokości, z jakiej spadało. Tym sposobem zasada Huyghensa sprowadza się do tego, że w ruchu ciał ważkich suma iloczynów z mas przez kwadraty z prędkości w każdej chwili pozostaje bez zmiany, podczas gdy ciała poruszają się razem w jakimkolwiek sposób, lub gdy przebiegają swobodnie też same wysokości pionowe. Był to pierwszy związek zasady zachowania sił żywych, wprowadzonej do nauki przez Jana Bernoulliego.

Twierdzenia o sile odśrodkowej zawarł Huyghens w piątej części swego pomnikowego dzieła. Siła ta znaną już była filozofom starożytności i Anaksagoras, zapytywany, dlaczego ciała niebieskie, którym przypisywał ciężkość, nie spadają na ziemię, odpowiadał, że



je podtrzymuje obrót około ziemi i równoważy ich ciężar. Galileusz i Descartes określali już ściślej tę siłę, nie rozpatrywali wszakże jej działania. Huyghens dowiódł pierwszy, że jeżeli dwa ciała równe przebiegają w czasach równych okręgi kół nierówne, to siły odśrodkowe na tych okręgach mają się do siebie, jak długości okręgów, lub jak ich średnice. Dowiódł także, że jeżeli ciała równe krążą po tym samym okręgu koła, lub po okręgach równych z nierównymi prędkościami, lecz każde ruchem jednostajnym, to siły odśrodkowe tych ciał, mają się do siebie w stosunku kwadratów z prędkości. Dwoma temi twierdzeniami siła odśrodkowa została określona. W końcu swego dzieła podał jeszcze Huyghens pierwszy opis wahadła ostrokąowego, którego ciężarek zakreśla koło poziome, większe lub mniejsze ale zawsze leżące na określonej paraboloidzie obrotowej.

W hydrostatyce zostawił po sobie Huyghens cenną pamiątkę, mianowicie twierdzenie, wygłoszone w rozprawie O przyczynie ciężkości z r. 1690, że wypadkowa sił, działających na cząstki cieczy w równowadze, jest w każdym punkcie prostopadła do powierzchni cieczy. „Wśród następców Galileusza,” mówi Mach: „za równego mu pod każdym względem uważać należy Huyghensa. Miał on może umysł mniej filozoficzny, lecz niższość tę równoważył swym genjuszem geometry. Huyghens nie tylko, że posunął dalej poszukiwania, rozpoczęte przez Galileusza, lecz rozwiązał jedno z pierwszych zadań dynamiki wielu mas, podczas gdy Galileusz ograniczał się zawsze na dynamice pojedynczego ciała.” Oto szczegóły biograficzne. Urodzony w 1629, syn Konstantego Huyghensa, sekretarza i doradcy książąt Oranji, o którego korespondencji z Descartes'em wspominałem, Chrystjan Huyghens był uczniem Schootena w uniwersytecie Lejdejskim. Sława jego, jako uczonego, była tak rozgłosną,

że w r. 1665 Ludwik XIV sprowadził go do Paryża, gdzie stał się jednym z najczynniejszych członków Akademii Umiejętności. W r. 1681, po odwołaniu edyktu nantejskiego Huyghens, protestant, wrócił do Holandji. Brał tam udział w rozprawach matematyków, którzy, posługując się rachunkiem różniczkowym Leibniza, zajmowali się różnemi zadaniami, dotyczącemi linii krzywych. Wśród tych zadań znalazła się i teoria krzywej łańcuchowej, opracowana przez Huyghensa bez pomocy nowego rachunku. Zmarł w r. 1695.

Twórcza praca Huyghensa poświęconą była najmłodszej gałęzi mechaniki, zapoczątkowanej przez Galileusza dynamice, podczas gdy większość najgłówniejszych zasad statyki, w połowie XVII w. była już ściśle sformułowaną, choć nie tworzyła jeszcze uporządkowanej nauki. Jak mówiłem w poprzednich wykładach, od Arystotelesa i Archimedesesa wzięły swój początek dwa kierunki rozwoju statyki: syntetyczny, opierający prawo równowagi drąga na mglistych poglądach dynamicznych starożytności — i analityczny, wywodzący je z postulatu o równowadze dwóch ciężarów, zawieszonych w równych odległościach od punktu podparcia drąga. Podczas gdy w mniej ścisłych wywodach Arystotelesa leżał zawiązek zasady prędkości przygotowanych, geometryczne dowodzenia Archimedesesa nie dostarczały postulatów, niezbędnych do dalszego rozwoju mechaniki. W wiekach średnich pisma Archimedesesa pozostawały w ukryciu i kierunek syntetyczny rozwijali pisarze średniowieczni, których pomysły, wzbogacone własnymi uzupełnieniami, zostawił w swych pismach Leonard Vinci. Skorzystali z nich Cardan i Tartaglia, przekazujący owoce rozmyślań autorów średniowiecznych epoce odrodzenia.

Po ogłoszeniu drukiem w połowie XVI w. pism Archimedesesa, bierze górę geometryczna ścisłość jego dowodzeń.



Kierunek analityczny uwydatnia się w pracach Guidobalda del Monte i Benedettiego. pociągając za sobą większość uczonych. Statyka staje się nauką czystsza, lecz przez zupełne usunięcie opartych na Arystotelesie wywodów średniowiecznych utrudnia sobie dalszy rozwój. Ścisła dedukcja potrzebuje aksjomatów, a Archimedes dał je tylko dla teorii drąga prostego. Szuka więc ich Galileusz w padającej już w rozwaliny dynamice Arystotelesa, usiłując związać ją ze statyką przez swoje *m o m e n t o*, t. j. iloczyn z ciężaru przez prędkość spadku. Potępiający te poglądy wybitny przedstawiciel kierunku analitycznego — Stevin opiera jednak wywód prawa fówni pochyłej na niemożności ruchu wiecznego, wyrażonej jasno przez Leonarda Vinci i Cardana, a związanej z zasadą przesunięć przygotowanych. Wreszcie, na tej ostatniej zasadzie opiera przeciwnik Arystotelesowej dynamiki Descartes teorię wszystkich maszyn prostych. Brakło jednak związania w jedną całość oddzielnie wywiedzionych prawd i nikt wtedy nie przewidywał, jak się ta całość utworzy. Zdając sobie sprawę ze znaczenia jednej prawdy, każdy uczony patrzył, jak przez mgłę, na prawdy pozostałe. Usiłowali zestawiać całość kompilatorowie, jak Mersenne we Francji, nie mogąc jednak wznieść budowy, wymagającej pierwiastku twórczego w ułożeniu planu. Szła więc tylko praca około porządkowania nagromadzonych materiałów, a brali w niej udział pisarze, tworzący tak nazwaną przez Duhema, w mechanice ówczesnej, „szkołę jezuicką.“

W dziełku *Nova de machinis philosophia* rozbiierał krytycznie Zucchi podania Arystotelesa i uwydatniał postulaty, ukryte w dowodzeniu Archimedesza prawa równowagi drąga. Do dzieła *De motu locali*, przydał Fabri krótkie rozważanie ogólnych zasad równowagi, zbliżające się do statyki Galileusza. Około r. 1655



wykładał statykę w Collegium Romanum Paweł Casati. Opierał się on na Arystotelesie z uwzględnieniem wszakże poglądów Galileusza i wprowadzał do rachunku już nie samą prędkość ciężaru, ale jej rzut na pionową. Pisarze ci znali Descartes'a, opierającego teorię wszystkich maszyn prostych na zapoczątkowanej przez Nemoriariusza zasadzie przesunięć przygotowanych, ale za nim nie szli. Utrzymując jednak ścisły związek między statyką ówczesną a przestarzałą dynamiką Arystotelesa, przechowali w całej pełni nader płodną metodę prędkości przygotowanych, przekształconą przez Galileusza pod wpływem odkryć pisarzy średniowiecznych, i tem się przyczynili do dalszego rozwoju mechaniki.

W rzędzie pisarzy szkoły jezuickiej, w mechanice XVII w. poczesne zajął miejsce Adam Adamandy Kochański, o którego Zegarmistrzowie wspominałem przed chwilą. Urodzony w Dobrzyniu nad Wisłą w r. 1631, kształcił się w Wilnie u jezuitów i wykładał matematykę w ich akademji. Był później profesorem w Würzburgu, Moguncji, Florencji, przebywał w Pradze, Ołomuńcu i Wrocławiu, wreszcie Sobieski powołał go na stanowisko matematyka i bibliotekarza królewskiego w Wilanowie oraz nauczyciela królewicza Jakóba. Ostatnie lata życia spędził w Czechach, na zamku swego protektora, hrabiego Clary v. Aldringen. Zmarł w Cieplicach czeskich w r. 1700. Wykładając w uniwersytecie mogunckim, kolegował tam z Kacprem Schottem, niezmordowanym pisarzem dzieł matematycznych i technicznych. Wielkie dzieło Schotta *Cursus mathematicus* z r. 1661 zamyka statyka Kochańskiego p. t. *Analecta mathematica sive theorese mechanicae novae de natura machinarum fundamentalium*, poświęcone rozbirowi kwestji zwiększania siły przez maszyny. Zasadę równowagi roztrząsa

on ściślej niż inni pisarze, teorię maszyn prostych podaje treściwiej, niż to czynią autorowie wielkich traktatów, jak Casati i Deschales, ale znów szczegółowiej od filozofujących: Zucchiego i Fabriego. Wykład Kochańskiego nieraz swym perypatetyzmem zbliża się do metody Fabriego, najeżony jest sentencjami, określeniami, hipotezami, twierdzeniami, wnioskami, — ale wśród tego aparatu średniowiecznego nie brak w nim świeżych tchnień odrodzenia. Statyka Galileusza z wyjątkiem nowych myśli o równi pochyłej, ich zastosowania do śruby i paru innych, dążyła w całości do utrzymania jak najściślejzego związku z Arystotelesem i mogłaby być także zaliczoną do dzieł tej kategorii, gdyby jej nie cechował wykład, pełen prostoty i jasności. Wszakże, pod tym względem kurs padewski Galileusza nie wywarł wpływu na pisarzy jezuitów. Schott ze znanego mu odpisu wyjął dowodzenie równowagi drąga. Kochański niewątpliwie znalazł ten odpis, równie jak wydanie pośmiertne w Rawennie i wcześniejszy przekład Mersenne'a. Interesując się żywo społecznym ruchem naukowym, znać musiał także i list Descartes'a do Huyghensa z r. 1637, widocznie jednak nie zdawał sobie sprawy ze znaczenia tych prac w rozwoju mechaniki. W każdym razie w perypatetycznym jego wykładzie jaśniejają świeższe poglądy. W określeniach, poprzedzających opis maszyn, mówi już o sile poruszającej, jako „własności danego ciała, znajdującej się w niem, lub doń przyłożonej, dzięki której ciało przenoszone zostaje z jednego miejsca na drugie.” Orzeczenie to zamienia średniowieczną naukę o ciężarach na właściwą statykę, a pierwszeństwo w tej zamianie przypisuje Duhem Wallisowi, piszącemu w dziewięć lat później. Wprowadzona przez Kochańskiego *a k t y w n o ś ć* zastępuje *m o m e n t* o Galileusza, ale zbliża się raczej do dzisiejszego pojęcia momentu. Dowodzenie równowagi drąga o nie-

równych ramionach uprościł więcej, niż tego dokonał Galileusz w pierwszych odpisach kursu padewskiego; prawo równowagi wielokrażka wyprowadził oryginalnie a zasadę równi pochyłej zastosował ściśle do klina i śruby. Zmysł krytyczny wykazał w roztrząsaniu subtelnych wywodów Zucchiego, obok którego stanąć winien w rzędzie najcelniejszych pisarzy szkoły jezuickiej.

Do tej szkoły zaliczają się jeszcze dwaj jezuici nasi: Tylkowski i Solksi. Ksiądz Wojciech Tylkowski (1629—1695), urodzony na Mazowszu, był profesorem w różnych kolegiach jezuickich, penitencjarjuszem przy Watykanie i zarządcą seminarjum w Wilnie. W jednym z licznych swoich dzieł p. t. *Pars sexta Physicae curiosae in qua Aristotelis mechanica explicantur*, wydanem w Oliwie pod Gdańskiem w r. 1680, sprowadza wszystkie maszyny proste do figury koła i opisuje: drąg, krążek, kołowrot, klin i śrubę. Krążek i wielokrążek objaśnia pobieżnie, sprowadzając je do drąga prostego. Między zastosowaniami wielokrażka w praktyce, wymienia ustawienie na placu zamkowym w Warszawie kolumny Zygmunta. Kołowrot i klin opisuje ogólnikowo, śrubę sprowadza do klina, nawiniętego na walec. Mówiąc o pędzeniu wody pod górę, wspomina o wodociągu Kopernika we Fromborku. Rozwijając ideje Arystotelesa, książeczka Tylkowskiego, jakkolwiek sama w sobie niewielkiego znaczenia, przyczynić się jednak mogła do przechowania zasady prędkości przygotowanych.

Kochański i Tylkowski pisali po łacinie, Solksi był pierwszym piszącym o mechanice po polsku. Ks. Stanisław Solksi (1622—1701), ur. w Kaliszu, kształcił się w Poznaniu, gdzie jako słuchacz teologii wykładał już matematykę. Był następnie misjonarzem obozowym; wysłany do Konstantynopola przebywał tam przez lat kilka, jako spo-



wiednik i kaznodzieja jeńców chrześcijańskich. W r. 1661 wykonywał w Warszawie, wobec króla Jana Kazimierza, doświadczenie ze swoim perpetuum mobile, opisane przez Schotta w dziele *Technica curiosa*. Osiadłszy w Krakowie, jako prokurator prowincji zakonu jezuickiego, zajął się piśmiennictwem i oprócz różnych łacińskich wydał dwa dzieła polskie, będące dziś najwspanialszemi zabytkami naszego dawnego piśmiennictwa technicznego. *Geometra Polski* Solskiego, wydany w trzech częściach w latach 1683-6, służył przez cały wiek następny jako jedyny podręcznik polski do geometrii i miernictwa. *Architekt Polski* z r. 1690 wbrew swemu tytułowi był znów podręcznikiem praktycznym do mechaniki. Zamierzał Solski w trzech tomach dzieła pod tym tytułem podać najprzód wiadomości wstępne z mechaniki, a następnie zasady budownictwa w zastosowaniu do kościołów, domów mieszkalnych i fortec. Po wydaniu pierwszego tomu następnych nie ogłosił już drukiem, czy to dla braku funduszy, czy też z przyczyny podeszłego wieku.

Wydana pierwsza księga *Architekta Polskiego* o składa się z trzech rozdziałów, nazwanych przez Solskiego „zabawami”. Pierwsza z tych zabaw, według słów autora, „moc i siłę wszystkich machin, sposobnych do ulżenia ciężarów opisuje i podaje sposoby do przemagania ciężarów zbyt wielkich, małemi siłami”; druga „pokazuje jako wiele ciężaru przydają koła większe, gdy obracają mniejsze dla prędkości mniejszych, jako mają być dzielone i czego przestrzegać w pilach i we młynach wodnych, konnych, wietrznych i ręcznych”; trzecia „własności wody i sposoby jej szukania, ważenia, czerpania, do góry, pędzenia i używania rozmaitego otwiera.”

Na początku objaśnia Solski „słowa niezwykajne“, mówiąc, że „cewy“, „palce w kołach“, u młynarzy znaczą to samo, co u zegarmistrzów „tryby“ i „zęby“, zaś „wrzecziono zowie się żelazo, na którym cewy stoją.“ W nauce „o własnościach ciężarów“ daje dwa dowodzenia równowagi drąga o nierównych ramionach, z których pierwsze przy figurze nieco odmienniej przypomina w zasadzie uproszczenie dowodzenia Archimedesowego w dziełku Zucchiego. Rozwija dalej Solski pogląd Arystotelesowy: „im ciężar w dłuższym miejscu prędzej bieg swój odprawuje, tem ciężaru dźwigającemu przybywa“ i twierdzi, że wszystkie maszyny „nie mają innego misterstwa w sobie krom drąga prostego, inaczej a inaczej według potrzeby dźwigających przysposobionego. Gdyż kluby, kafary, windy, koła nic nie zawierają w sobie, tylko drąg jeden prosty, raz albo więcej, ani osobliwszej mocy dodają, nad jeden albo kilka replikowanych drągów.“

Solskiego opisy maszyn są nieraz zbyt rozwlekłe, umie w nich jednak autor określić dobitnie zasadę każdej maszyny. O śrubie mówi, że to jest „pochyłość albo górzystość ustawiczna, której górzystości długość jest obwód jednego gwintu, a wysokość — odstępienie końca gwintu jednego od bazy, na której śruba do pionu stoi.“ Wskazówek praktycznych nie szczędzi, a wykazują one człowieka, który nie tylko sam się zajmował praktyką, ale i wogóle interesował żywo pracami technicznymi. „Dwóch śrub, mówi, siła jest przedziwna tak, że niemi cieśle budynki podnoszą: i w r. 1686 sławny Piotr Beber, budowniczy królewski, całą wieżę ratuszową krakowską, nie według godności tego miasta przed kilkunastą lat postawioną, wyniósł z szczęcią pomocników na lokci 12 od murów, nie opuszczając z niej dwóch wielkich cymbałów zegarowych, po kilkadziesiąt centnarów ważących: i znacznej jej wspaniałości przydał, z ochroną znaczniej-

szą czasu, i kosztów rozlicznych, na jej rozbieranie, spuszczenie, powtórne ciągnięcie i stawianie."

Treściwie i jasno opisuje Soliski „różne przemysły traktowania ciężarów," ale zaraz potem podaje dość zawile obliczenia, ile zyskuje się na sile przy użyciu poszczególnych machin. Nie mogąc mieć jeszcze ścisłego pojęcia o prawach tarcia, przytacza jednak kilka spostrzeżeń i wyciąga z nich wnioski: „że do wiadomości miary ciężaru, którego opór machin dodaje dźwigającemu, siła rzeczy wchodzi; jako gładsze i smarowniejsze czopy, panewki, palce i cewy, także mniejsze koła i w mniejszej liczbie. A przy tem wszystkiem tem więcej roście opór, im bardziej machinę ciężarem obciążysz."

Mówiąc o równi pochyłej, powołuje się na Stevina, poczem przechodzi do opisu różnych figielków mechanicznych a wreszcie do ulubionej swej mrzonki, perpetuum mobile. Jasny zato zupełnie pogląd mechaniczny zawiera przestroga: „Uważ, że się ostrożnie odważać potrzeba na maszyny, bardzo ulżywające ciężary, dla dwóch przyczyn: naprzód, że w nich albo kół i cewów musi być siła, których liczba znaczna bardzo utrudni ulżenie, albo przy malej ich liczbie muszą być koła wielkie, zatem słabe. Druga, że im lżej idzie ciężar jaką machiną, tem więcej potrzebuje czasu machina dla jej obracania."

Dość rozwlekła nauka o śrubie, wreszcie sposoby stosowania niektórych machin prostych w praktyce i inne drobniejsze wskazówki zamykają zabawę pierwszą. W zabawie drugiej mówi Soliski o kołach zębatych, młynach wodnych, kieratach, wiatrakach, żarnach, wreszcie o różnych biegach i ich skutkach. Jest to dalsze rozwinięcie zabawy pierwszej w szczegółach praktycznych, cała zaś hydromechanika zawartą została w zabawie trzeciej, zamykającej ogłoszony drukiem tom *Architekta*.



Napór wody w rurach nazywa Soliski „ciężkością przypadkową, albo ciężkością z długości, albo z rozciągnięcia w górę.“ Zasady hydromechaniki podaje krótko i ogólnikowo na podstawie Archimedesesa i Stevina bez uwzględnienia odkrycia Torricelliego. Po krótkich wzmiankach „o znalezieniu wody w ziemi“ i „o znakach wody zdrowej“ następują nauki „o prowadzeniu wody po ziemi i ważeniu wód ciekących“. Opisuje następnie przyrządy do podnoszenia wody, mianowicie śrubę Archimedesesa, elewator skrzynkowy, który nazywa „wiaderkami“, nadmieniając, że je widział w Konstantynopolu, poruszane już to kieratem, już ręcznie korbą, przez pośrednictwo kół zębatach, już wreszcie zapomocą wiatraka. Mówi dalej o ówczesnych wodociągach miejskich, opisuje „rurmusz“ w Augsburgu i wspomina, że wodociąg gdański „to ma osobliwego, że koło skrzyńczaste pędzi wodę tłokami w fasę dość szeroką i wysoką, otwieraną z boku dla chędożenia, która pod wierzchem przez kratę rozdaje wodę rurom.“

Architekt Polski Solskiego nie był dziełem uczonem, jak statyka Kochańskiego. Niema tam wzmianki o uczonych, którzy w wieku XVII-ym utworzyli mechanice całkiem nowe drogi, o Galileuszu, Descartes'ie, Torricellim i Huyghensie. Wymienieni są zaledwie Stevin i jezuita Guldin i Mersenne. Z pism, poświęconych mechanice praktycznej, wzmiankowane jest okazałe wydanie dzieła o młynach Jakuba Strada a Rossberg z r. 1617. Jakkolwiek książka Solskiego nie mogła dorównać temu dziełu pod względem rysunków, przewyższyła je jednak przystępnością wykładu, starannym doбором treści, a zwłaszcza jej przystosowaniem do potrzeb krajowych. Podczas gdy Rossberg obok wspaniałych miedziorytów dał tylko krótki tekst objaśniający pióra Bramera, to Solski na-

piisał dobry podręcznik z wystarczającym wykładem teorii, pełen cennych wskazówek praktycznych.

Tak Kochańskiemu, jak i Solskiemu nie można brać za złe zmarnowanych mozolów nad ruchem nieustającym i kilku kart ich dzieł wypełnionych opisem prób nieudanych. W tym względzie pociągnął ich za sobą prąd społeczny, któremu niektórzy tylko pierwszorzędni myśliciele opierali się zwycięsko. Że zaś wogóle prace nad wynalezieniem perpetuum mobile nie zginęły bezowocnie i przyczyniły się ubocznymi wynalazkami do rozwoju mechaniki, to i poszukiwania naszych jezuitów XVII w. w tym kierunku pobudziły ich do innych badań w dziedzinie mechaniki, których owoce pozostały w pismach o statyce i zegarmistrzostwie Kochańskiego i w młynach, wiatrakach, windach i innych urządzeniach, opisanych w *Architekcie Polskim* Solskiego.

---