

## X. ROZWOJ MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ PO R. 1850

Uprawiany przez Poissona, Gaussa, Hamiltona i Jacobiego kierunek analityczny rozwijał się w dalszym ciągu w drugiej połowie XIX w., lecz na zmienionych podstawach. Mówiąc o Descartes'ie zaznaczałem uznaną przezeń zasadę niezniszczalności ruchu. Zasada ta wynikała następnie jako wniosek z przyjętej w mechanice od czasów Newtona zasady bezwładności. Podczas gdy w mechanice niezmiennosc ruchu była jednoznaczna z zasadą zachowania siły, uważanej jako przyczyna ruchu, inaczej rzecz się miała w fizyce. Gdy tam ukształtowała się zapoczątkowana przez Ampère'a elektrodynamika a Mayer i Joule wytworzyli przewidywaną już przez Sadi Carnota w r. 1830 termodynamikę, zaszła wtedy potrzeba rozszerzenia na te działy fizyki zasady zachowania siły, uważanej nie jako przyczyna ruchu, lecz jako ogólna zdolność do pracy. Taką ogólną zdolność do pracy miał na myśli Herman Ludwik von Helmholtz (1821—1894), w swej rozprawie z r. 1847, zatytułowanej: *Ueber die Erhaltung der Kraft*, a przyjęta przezeń w tytule niewłaściwa nazwa ulec musiała zmianie. Ogólną zdolność do pracy nazywał jeszcze w r. 1807 Tomasz Young energją i fizycy, zatrzymując nazwę siły dla

elementarnych własności materji, uznali za właściwe dać zasadzie, o której mowa, nazwę zasady zachowania energii. Inżynier cywilny w Glasgowie William Rankine (1820-1872) w pracy *On the law of the transformation of energy* z r. 1853 nazwał połowę siły żywej energją kinetyczną, albo aktualną, potencjał sił wewnętrznych — energją potencjalną, a sumę energii kinetycznej i potencjalnej — energją całkowitą albo poprostu energją. Przy tem słownictwie twierdzenie sił żywych tak się wyraża: Zmienność energii jest równa pracy sił zewnętrznych. Gdy zaś niema tych sił, lub praca ich jest równa zeru, wtedy energia jest stałą i to właśnie stanowi zasadę zachowania energii.

Rankine dał w swej pracy następujące określenia: „Energją jest każda własność materji, stanowiąca siłę, lub dająca się przyrównać do siły, która może wywoływać zmiany takie, że przy nich pokonanym być musi opór. Energia aktualna jest własnością materji dającą się mierzyć, przenosić lub przekształcać; obecność jej w materji wywołuje skłonność do zmiany stanu, pod jednym lub wieloma względami. Z nastąpieniem tej zmiany energia aktualna znika i zastąpioną zostaje przez energję potencjalną, którą się mierzy wielkością zmiany w stanie danej materji, w związku z wielkością skłonności albo siły, która wywołała w mowie będącą zmianę.“ Wygłasza następnie Rankine prawo zachowania energii w słowach: „Suma wszystkich energii (potencjalnej i aktualnej) we wszechświecie jest niezmienną.“ Cel tych nowych określeń objaśnił w dwa lata później, mówiąc, że na miejsce hipotetycznych atomów i ich sił, wprowadzone zostały nowe abstrakcje, nie mające już nic hipotetycznego, lecz wyciągnięte z rzeczywistości.

Nowe pojęcia zyskały szybko ogólne uznanie. Gotowość, z jaką zostały przyjęte i wprowadzane w życie,

wykazała jasno, że niewiele już można było wyciągnąć z dawnych pojęć sił elementarnych i że ich usunięcie było na czasie. Słownictwo Rankine'a przyjęli w swych pismach wielcy uczeni angielscy: William Thomson, późniejszy lord Kelwin i James Clark Maxwell (1831—1870). W Niemczech uznał je Helmholtz jako „starannie dobrane“, choć nie podzielał filozoficznych poglądów Rankine'a, a przyjął odrazu Rudolf Clausius (1822—1888), lecz te nowe pojęcia rozpowszechniały się tam wolniej niż w Anglii, gdzie je stosowali w swych pracach oprócz Thomsona i Maxwella fizyk Stevart i matematyk Clifford. Ten ostatni usiłował usunąć zupełnie z nauki wszelki ślad pojęcia siły. „Wszystko,” mówił: „co wiemy o sile i ruchu, jest to, że pewne ugrupowanie ciał otaczających wytwarza pewną zmianę w ruchu danego ciała. Można więc powiedzieć, że to ugrupowanie ciał otaczających wytwarza pewną siłę, a ta siła powoduje zmianę ruchu. Ale pocóż to pośrednictwo! Czemu nie przejść odrazu od okoliczności otoczenia do następującej w ich skutku zmiany ruchu.“ Wracano więc do zdrowego poglądu Newtona, który unikał wszelkich hipotez, a powrót ten ułatwiało rozpowszechnienie pojęcia energii, wywołujące w XIX w. tak znaczny rozwój nauk fizycznych.

Pracownicy nasi przyjęli także udział w rozpowszechnianiu nowych pojęć. Profesor Politechniki lwowskiej Jan Nepomucen Franke opierał się na tych pojęciach w swej *Mechanice Teoretycznej* z r. 1889, przytaczając odnośne prace Władysława Gosiewskiego i Edwarda Habicha, podane w *Pamiętniku Towarzystwa Nauk ścisłych w Paryżu*, a zasady energetyki przedstawił prof. Władysław Natanson w swoim *Wstępie do Fizyki teoretycznej* z r. 1890.

Wracając do prac Helmholtza nad zasadami mechaniki, zaznaczyć tu należy najważniejsze z jego rozpraw w tym



przedmiocie, mianowicie: Zasady statyki układów monocyklicznych z r. 1884, O znaczeniu fizycznym zasady najmniejszego działania z r. 1886, Zasada najmniejszego działania w elektrodynamice z r. 1892. Wpływ Helmholtza na rozwój mechaniki teoretycznej odbił się najsilniej w pracach jego ucznia Henryka Hertza. W roku 1894 ukazało się dzieło Hertza: *Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*, ostatnia praca w samym początku tegoż roku zmarłego, młodego, bo zaledwie 37-letniego profesora fizyki w Bonn. Przedmowę z poglądem na prace autora napisał Helmholtz. Hertz postawił sobie za zadanie — zbudować mechanikę z pominięciem pojęcia siły. Do wzorów wprowadza te tylko wielkości, które mogą być istotnie dostrzegane i posługuje się wyłącznie pojęciami: czasu, przestrzeni i masy. Naukę opiera na jednej zasadzie ogólnej, którą uważać można za kombinację zasady bezwładności z zasadą najmniejszego przymusu Gaussa. Masy swobodne poruszają się jednostajnie w linii prostej. Jeżeli są poddane jakimkolwiek związkom, to według zasady Gaussa odchylają się jak najmniej od ruchu jednostajnego i prostoliniowego: ich ruch rzeczywisty jest więcej zbliżony do ruchu swobodnego niż wszelki inny, jakiby można wymyśleć. Hertz mówi, że przy danych związkach ruch mas jest możliwie jak najwięcej prostoliniowy, a skoro która masa odchyła się w jakikolwiek sposób od tego ruchu, to odchylenia tego nie przypisuje sile, lecz związkom nieodkształcalnym z innymi masami; a gdy te związki są niewidzialne, przyjmuje masy ukryte, ożywione ukrytymi ruchami. Wszystkie siły fizyczne przyjmuje za skutki tego rodzaju związków. W jego wykładzie siła, funkcja sił, energia, są tylko koncepcjami pomocniczymi

i dodatkowemi. Oto co mówi Mach o tej nowej mechanice: „W tym wspaniałym, idealnym ustroju mechaniki, rozwinętym przez Hertza, treść fizyczna tak dalece została ścieśnioną, że zaledwie można ją zauważyć. Descartes niewątpliwie, gdyby żył jeszcze, ujrzałby w mechanice Hertza swój własny ideał, wyraźniej niż w mechanice Lagrange’a, tej geometrii analitycznej czterowymiarowej. Descartes, walczący z ukrytymi „jakościami“ filozofii scholastycznej, odmawiał przypisywania materji innych własności, jak tylko rozciągłość i ruch, i chciał oprzeć całą mechanikę i fizykę na geometrii ruchu, przyjmując za jedyną hipotezę swą zasadę niezniszczalności ruchu... Jako program idealny, mechanika Hertza jest piękniejszą i więcej spoistą od mechaniki zwykłej, lecz ta ostatnia przewyższa ją w zastosowaniach, jak to przyznał sam Hertz z cechującą go szczerością w zakończeniu wstępu do swego dzieła z r. 1894.“

W końcu ubiegłego stulecia zajmowano się żywo kwestją, dotyczącą istoty siły. Według poglądów antropomorficznych pojęcie siły jest pierwotnem, nie dającym się wyrazić ani określić: wszyscy wiemy, co to jest siła, odczuwamy ją bezpośrednio we własnym wysiłku mięśniowym. Poglądy te prowadzą do statycznego sposobu pojmowania siły, polegającego na odkształceniu, wytwarzaniem przez ciągnięcie lub ściskanie; gdy przeciwnie, w mechanice Newtona i Lagrange’a siła pojętą została dynamicznie, jako przyczyna przyspieszenia. Statyczny sposób pojmowania siły wytworzył obok mechaniki klasycznej tak nazwaną przez Andrade’a *mechanikę z wiązków* albo *mechanikę nici*. Mechanika ta zapatruje się na siłę, jako na nateżenie nici, której kierunek schodzi się z kierunkiem siły, a której względne wydłużenie mierzy wielkość siły. Jeżeli siła zamiast ciągnąć popycha swój punkt przyłożenia, rozważa się

wtedy zamiast nici pręt sprężysty ale sztywny. Mechanikę nici rozwinął systematycznie inżynier marynarki francuskiej Fryderyk Reech w swym Kursie Mechaniki z r. 1852, a podnosił jej znaczenie profesor w Rennes Juljusz Andrade w swych Lekcjach mechaniki fizycznej z r. 1898. Najznakomitszy matematyk naszych czasów Henryk Poincaré (1854—1912), roztrząsając te poglądy, zaznaczył, że jeżeli nie zadawalniają one potrzeb logicznych naszego umysłu, to jednak pozwalają nam lepiej zrozumieć genezę historyczną podstawowych zasad mechaniki. Uwagi, jakie nasuwają, wykazują, jak umysł ludzki wznosił się od naiwnego antropomorfizmu do obecnych pojęć nauki. „Na początku (mówi Poincaré) ukazuje się nam doświadczenie, bardzo szczegółowe i w rezultacie dość prostacze. Na końcu widzimy prawo już zupełnie ogólne i ściśle, którego prawdziwość uważamy za absolutną. Tę prawdziwość nadaliśmy owemu prawu my sami przyjmując je za umowę. Czyż więc prawo przyśpieszeń, prawo rozkładu sił są tylko dowolnymi umowami? Umowami — tak, dowolnymi — nie! Byłyby takimi, gdyby zapomniano o doświadczeniach, które twórców mechaniki doprowadziły do przyjęcia tych praw. Doświadczenia te, jakkolwiek niedoskonałe, wystarczają jednak do usprawiedliwienia praw z nich wywiedzionych. Dobrze też jest, że od czasu do czasu zwrócić musimy uwagę na doświadczalne źródło tych umów.“

Wymieniany już kilkakrotnie, jako historyk zasad statyki, francuski fizyk Duhem w swej pracy p. t. *Évolution de la Mécanique*, której posiadamy przekład polski z r. 1904, rozważał rozwój mechaniki w ostatnich latach z punktu widzenia ogólnofizycznego i rozpatrzywszy kolejno tak poglądy Arystotelesa, Descartes'a Newtona i Lagrange'a jak i wpływ nowych teoryj mechanicznych ciepła i elektryczności i zaakcentowany przez Williama



Thomsona powrót do atomizmu i kartezjanizmu, zaznaczał, że wprowadzenie do zasady d'Alembert'a zmian, wskazanych w pewnej mierze przez hipotezy, poczynione przez Naviera w budowie płynów lepkich, wytworzyło podstawy nowej dynamiki, nazwanej dynamiką ogólną. Naskicowaną ona została w krótkości przez Helmholtza, a wypowiedzianą wyraźnie w badaniach Duhema, których dalszym ciągiem były prace prof. Uniw. Jag. Wł. Natanson. Tę nową dynamikę postawił Duhem obok statyki amerykańskiego prof. Gibbsa, przewidującej tak nazwane stany równowagi prawdziwej. Nie mogąc tu wkraczać w te sfery ogólnie fizycznych dociekań, poprzestaję na tej wzmiance.

Kierunek analityczny uprawiał nasz wybitny pracownik w dziedzinie mechaniki Władysław Gosiewski (1844—1911). Wśród wielu cennych prac, jakie zostawił ten uczony matematyk, kilka odnosi się do mechaniki teoretycznej. Najwięcej z nich cenioną była rozprawa O związku między zasadą najmniejszego działania i najprawdopodobniejszym układem, podana w tomie I Prac matematyczno-fizycznych z r. 1888, a stanowiąca pierwsze zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa do mechaniki.

Mówiąc o zapoczątkowanym przez Poincaré kierunkowi syntetycznym rozwoju mechaniki, przytaczałem pogląd tego uczonego, że nie dość jest sprowadzić zadanie dynamiki do układu równań możliwych do zcałkowania, — nierównie więcej chodzi o przedstawienie badanego ruchu w sposób widoczny, tak aby się miało przed oczyma cały jego przebieg w czasie i przestrzeni. Podzielili później ten pogląd znakomici fizycy angielscy: William Thomson i Piotr Tait (1831—1901) w swoim *Treatise on natural philosophy* z r. 1867, „starający się, według słów Helmholtza, wprowadzać do nauki takie pojęcia,

które można uwidocznic. Praca nad takimi pojęciami jest początkowo trudniejsza od przeprowadzania rachunku według danych metod analitycznych, lecz zato daje przejrzystość wyników, będącą trwałym zyskiem.“ Silniej jeszcze wyrazili się autorowie elementarnego podręcznika mechaniki we Francji, Appel i Chapuis, mówiąc, że „nadużywanie metod geometrii analitycznej niszczy intuicję i zmysł wynalazczy.“ Lecz gdy podręcznikami elementarnymi kierunek syntetyczny z natury rzeczy zawładnąć musiał, odkąd zaczęły się pojawiać, jak się to uwidocznia w naszych książkach: *Teorja maszyn* Miechowicza (1828) i *Mechanika Ogólna* Puchewicza (1861), to w kursach akademickich rozwijał się stopniowo, postępując od słabego zawiązku w dawniejszych: Niewęgłowskiego (1873) Frankego (1889) i litografowanych Wykładach mechaniki ogólnej prof. Bötchera we Lwowie (1905) do pełnego rozwoju w nowoczesnych: prof. Czopowskiego (1911) i prof. Straszewicza (1918).

O kinematyce i wektorach z pierwszej połowy XIX w. mówiłem już w poprzednich wykładach. Dalszy swój rozwój zawdzięcza kinematyka pracom O. Rodrigues'a, A. Transona i innych, a jako nauka przedstawioną została w całości przez inż. gór. A. Résala w dziele: *Traité de cinématique pure* z r. 1862. Poważnemi przyczynkami zubożyci ją i nasi pracownicy, J. N. Franke i Ed. Habich. Analizą wektorów zajmowali się wspomniani: W. R. Hamilton, H. Grassmann, J. W. Gibbs. U nas, w r. 1908 Ludwik Silberstein wydał *Krótki zarys mechaniki w języku wektorów*.

Mówiąc o zawiązkach statyki wykreślnej, wspominałem, że Poncelet starał się z szeregów wyrażeń rachunkowych, wyciągać wykresy, a w swych wykładach w Szkole Wojskowej w Metz stosował wielobok sznurowy do wyznaczania środka ciężkości. Pierwszym, który wykazał,



że wielobok sznurowy może być stosowany do ogólnych zadań statyki, był inżynier i profesor Szkoły Politechnicznej w Zurichu, Karol Culmann (1821—1881) uczeń Ponceleta ze szkoły w Metz. Culmann uważał wielobok sznurowy wyłącznie, jako środek wykresowy, niezależnie od jego znaczenia, jako figury równowagi sznura i dlatego poczytywany być winien za twórcę statyki wykreślnej, którą wyłożył w dziele swem: *Graphische Statik* z r. 1864. Po nim w zastosowaniach statyki największe położyli zasługi: we Włoszech Luigi Cremona, autor rozprawy *Le figure reciproche nella statica grafica* 1872); w Anglii James Clerk Maxwell (1831—1871), stosujący tę wzajemną odwrotność figur do pól sił kratownic; w Szwajcarji W. Ritter, pracujący nad zastosowaniami statyki wykreślnej w rozwinięciu idei Culmanna, wreszcie w Niemczech: O. Mohr, H. Müller-Breslau i L. Henneberg. W zastosowaniach wielkie zasługi położył J. Clerk Maxwell przez wprowadzenie wzajemnych planów sił przy obliczaniu kratownic.

U nas późniejszy wynalazca integratu i znany elektrotechnik Bruno Abakanowicz (1852—1900), wykładając jako docent w Politechnice lwowskiej statykę wykreślną, wydał w r. 1876 streszczenie swych wykładów. Jego *Zarys statyki wykreślnej*, pierwszy w języku polskim, ułożony był według dzieł Culmanna i wykładów Rittera z uwzględnieniem prac Cremony, Mohra, Winklera i innych. W *Pamiętniku Towarzystwa Nauk Ścisłych w Paryżu* rozpoczęli w r. 1878 inżynierowie Aleksander Martynowski i Mieczysław Szytowski druk pracy: *Rachunek wykreślny na płaszczyźnie*, której część tylko ukazała się z powodu przerwania wydawnictwa *Pamiętnika*. Na pracę prof. Karola Skibińskiego *O wieloboku odkształceń i jego zastosowaniu do wykreślnego*

obliczania statycznie niewyznaczalnych kratownic, podaną w Czasopiśmie Austrjackich Inżynierów i Architektów z r. 1883, powołuje się M. Grüning w Teorii ustrojów budowlanych, podanej w części IV czwartego tomu niemieckiej Encyklopedji nauk matematycznych z r. 1912. O statyce wykreślnej pisał jeszcze w Przeglądzie Technicznym inż. Alexander Pragłowski (1883) a inż. Józef Słowikowski (1843—1905) ogłosił prace: Suwak rachunkowy według Culmanna (1901) i Zasady rachunku graficznego według Cremony (1902). Przed trzema laty wreszcie wyszedł podręcznik inż. Artura Popławskiego.

Przechodząc do hydromechaniki, przypominam opartą na obserwowaniu fal morskich charakterystykę grup fal Bremoniera. Teorię tego zjawiska podał znacznie później, współczesny fizyk angielski, następca Maxwella na katedrze w Cambridge, lord Rayleigh. Wzmiankowana także poprzednio a otrzymana na drodze indukcyjnej teoria fal Gerstnera była dwukrotnie w XIX w. wywodzoną na nowo przez Rankine'a (1863) i inżyniera niemieckiego Hagena (1797—1888) w rozprawie *Wellen auf Gewässern von gleichmässiger Tiefe*. Rachunki, któremi Poisson śledził rozszerzanie się małego wzburzenia, rozwijane przez Cauchyego, opracowywał William Thomson (1887). Kształt i ruch zaobserwowanej przez Johna Scott Russela fali pojedynczej, powstającej przez nagle podniesienie powierzchni wody bieżącej, starał się określić rachunkiem spółczesny matematyk francuski Józef Boussinesq, w swej pracy: *Théorie des ondes et du remous, qui se propagent le long d'un canal horizontal*, z r. 1873. Boussinesq zwrócił uwagę na podobieństwo tej fali do pojawiających się przy przypływie i odpływie mo-

rza fal długich, które opisywał dyrektor obserwatorium w Greenwich Sir Georg Airy (1801 — 1842) w artykule *On Tides and Waves* angielskiej Encyklopedji Metropolitalnej z r. 1845. Z bogatej literatury, traktującej o tym przedmiocie, wymienię jeszcze pracę Stokesa z r. 1847, w której podaną została pełna prostoty teoria fal oscylacyjnych, oraz cenną rozprawę Helmholtza z r. 1889 *Zur Theorie von Wind und Wellen*, w której ruch fal rozważany jest jako wynik ruchu względnego dwóch stykających się płynów różnej gęstości, t. j. wody i powietrza.

Teorię prądu potencjalnego, o której szybkim postępie dzięki pracom Stokesa była już mowa, dalej posuwali naprzód William Thomson, Helmholtz i Kirchhof (1824—1887). Thomson zbadał własności całki linjowej, nazwanej przezeń cyrkulacyjną; podczas gdy Helmholtz (1868) i Kirchhof (1869) badali nieciągłe ruchy cieczy i żyły metodą kątowo-zgodnych obrazów. Tu należą jeszcze niektóre prace matematyków getyngueńskich: Dirichleta (1805—1859) nad ruchem kul w cieczy i Riemann'a (1826—1866) nad ruchem elipsoid w cieczy idealnej, do których przyłączył się spółczesny fizyk norweski C. A. Bjerkness ze swoją oryginalną teorią kul pulsujących w cieczy, którą wytworzył w różnych swych rozprawach z lat 1861—1874 i której całość podał jego syn V. Bjerkness w swych wykładach *Hydrodynamische Fernkräfte* (1900) wraz z doświadczeniami uzupełniającami.

Nowe zupełnie drogi badaniom hydrodynamicznym otworzył Helmholtz swą słynną rozprawą *Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche Wirbelbewegungen entsprechen* (1858), w której zauważone już przez Eulera i Lagrange'a ruchy cieczy bez potencjału pręd-



kości poddał ścisłym badaniom. Wynikiem tej pracy była pełna analiza ruchu wirowego cieczy doskonałych z zastosowaniem do różnych szczególnych przypadków i powołaniem się na doświadczalne sprawdzenie teorii. W dalszym rozwoju teorii wirów, która wkrótce przez klasyczne prace Maxwella spożytkowaną być mogła w nauce elektryczności, przyjął udział szczególnie Willjam Thomson przez swą rozprawę *On vortex motion* (1868) oraz drugi fizyk angielski tegoż nazwiska Józef Jan Thomson, w swoim *Treatise on the motion of vortex rings* (1883), którzy obaj z teoretycznej niezniszczalności wirów w cieczach doskonałych wyciągnęli daleko sięgające wnioski co do układu atomów, podczas gdy spółczesny fizyk niemiecki Wilhelm Wien w swej *Hydrodynamie* z r. 1900, wyprowadził z ruchu wirowego przybliżoną teorię cyklonów w powietrzu, zakładając, że jest nieściśliwe. Do ruchu wirowego należy jeszcze teoria figur równowagi, wolno unoszących się i obracających mas ciekłych, pozostających pod jedynym wpływem wzajemnego przyciągania cząstek, która po jej utworzeniu przez Clairauta i Maclaurina, rozwiniętą została głównie przez Jacobiego (1834). On to dowiódł, że trójosiowa elipsoida, obracająca się około osi najmniejszej, może także istnieć. Poszukiwania warunków stateczności podobnej elipsoidy doprowadziło słynnego matematyka francuskiego Henryka Poincarégo (1885) do gruszkowatych figur równowagi, które w przybliżeniu przedstawić sobie można jako dwa obracające się koło siebie środki przyciągania.

O powtórnem wyprowadzeniu przez Stokesa równań Naviera dla ruchu cieczy naturalnych i o doświadczeniach Poiseuille'a, które wykazały zgodność tych równań z wolnym ruchem cieczy w cienkich rurkach, była już mowa. Stokes, wyciągnawszy z działań międzycząsteczkowych

związek liniowy składowych nateżeń z prędkością odkształcenia, wykazał jeszcze (1898), że średnia prędkość prądu między dwiema płytami, bliskimi sobie, ma potencjał prędkości, — tak, że Hele Shaw mógł otrzymać takie ruchy na drodze doświadczalnej. Przy założeniach przyjętych można było oczekiwać, że równania Naviera nie będą wystarczały dla większych prędkości; wszakże zaskoczyło to wszystkich, że po przekroczeniu przewidywanej przez Hagen (1839), a ściśle określonej przez społecznego inżyniera angielskiego Osborne'a Reynoldsa (1877) prędkości krytycznej, bez stopniowego przejścia ustala się odmienny zupełnie ruch cieczy, z którym technicy, nie bacząc na matematyczno-fizyczne poszukiwania nad lepkością, dawno się już liczyli, nie badając zresztą jego istoty. Badania tego tak zwanego ruchu burzliwego wchodzi już w zakres hydrauliki.

Mówiąc o dawniejszych pracach nad nateżeniem powierzchniowym, wspominałem o wykazaniu przez Poissona, że pod wpływem sił międzycząsteczkowych na powierzchni cieczy tworzyć się winno zgęszczenie. Pogląd ten, podzielony następnie przez Maxwella (1875) i lorda Rayleigh (1892), okazał się nader owocnym w rękach społecznego fizyka holenderskiego Jana van der Waalsa, który zeń wywiódł Teorię termodynamiczną włoskowatości, w założeniu stałej zmiany gęstości (1893) a przedtem jeszcze, w dziele p. t. Ciągłość stanu gazowego i ciekłego (1873) odkrył związek nateżenia powierzchniowego z termodynamicznym równaniem stanu. Że działanie nateżenia powierzchniowego rozciąga się nie tylko na ciecze w spokoju, wykazały doświadczenia fizyka belgijskiego Józefa Plateau (1801—1885) z obracającymi się kroplami oliwy w innej cieczy, tegoż samego ciężaru gatunkowego, tak że działanie ciężkości było unicestwione. Opisał to

w wyczerpującem dziele: *Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires* (1873), obejmującym przytem ogólny przegląd całego zakresu wiadomości, dotyczących nateżenia powierzchniowego. Wspomnieć tu wypada jeszcze o znanem uspokajaniu powierzchni wody poruszonej, przez pokrycie jej cienką warstwą oliwy. Uspokajanie to może się dalej rozszerzać przez zwiększanie nateżenia powierzchniowego. Teoretycznie studjowali to postępowanie, jak i inne pokrewne: W. Thomson (1871), O. Reynolds (1880) i lord Rayleigh (1885).

W ostatnich czasach występowali i nasi uczeni z poważnemi pracami w dziedzinie hydrodynamiki: Inż. Łukasz Bodaszewski (1849—1908), profesor Politechniki lwowskiej, ogłosił w r. 1902 *Teorię ruchu wody na zasadzie ruchu falowego*. Część I. Podstawę tej zupełnie samodzielnej teorii stanowiło przyjęcie „centrów repulsyjnych i atrakcyjnych“, t. j. miejsc, gdzie ciecz wpływa do danej przestrzeni, lub z niej wycieka, czyli źródeł i odpływów. W r. 1903 profesor Politechniki lwowskiej dr. Maksymilian Huber pisał w *Czasopiśmie Technicznym lwowskiem* O najważniejszych technicznych wynikach teoretycznej hydrokinetyki, ze szczególnem uwzględnieniem zagadnień ruchu wody w rzekach i kanałach, rozbiegając w dwóch ostatnich rozdziałach swej pracy teorię Bodaszewskiego i zaznaczając z uznaniem, że jest ona u nas pierwszą próbą uwolnienia hydrauliki od nadmiaru wzorów doświadczalnych. W *Przeglądzie Technicznym* z r. 1919 pisał prof. C. Witośzyński O ruchu cylindrów w cieczy doskonałej.



W mechanice stosowanej, na początku omawianego perijodu, spotykamy najprzód prace nad teorią sklepień; podjęte we Francji przez Yvona Villarceau w r. 1850 nie dały pożądaných wyników, równie jak badania Weisbacha i Schefflera w Niemczech i Barlowa w Anglii. Zato teoria sprężystości rozwiniętą została w wykładach Lamé'go, ogłoszonych w r. 1852, a znaczne postępy uczyniła teoria łuków żelaznych przez pracę inż. dr. i m. Jakóba Bresse'a (1822—1883): *Recherches analytiques sur la fléxion et la résistance des pièces courbes* z r. 1854. Teoria belek prostych, leżących na kilku podporach, której Navier dał pierwsze podstawy, oczekiwała również ulepszeń wobec wchodzących w użycie mostów belkowych ciągłych na drogach żelaznych. Rachunek mostu o siedmiu przęsłach był jeszcze bardzo trudnym do zrobienia. Clapayron wpadł na myśl szczęśliwą: uważania momentu zgięcia na podporach i pochylenia włókna środkowego za ilości nieznane pomocnicze, wskutek czego zmniejszył rzeczywistą liczbę niewiadomych i otrzymał równanie o wiele prostsze od równań Naviera; skorzystawszy następnie z twierdzenia trzech momentów, dowiedzionego w r. 1855 przez Bertot'a sprowadził liczbę niewiadomych do liczby momentów na podporach pośrednich, czem niezmiernie uprościł rachunki. Ale metoda Clapayrona nie mogła jeszcze być stosowaną do mostów żelaznych, bo różność przypuszczeń, robionych nad częściowem obciążeniem przęsła, dawała zbyt wielką liczbę momentów zgięcia w każdym przecięciu. Dopiero Bresse znalazł w r. 1861, że każde przęsło mostowe z wyjątkiem przęsła skrajnych może być podzielone na takie pięć części, że dla każdej z nich wielkość i jakość najniekorzystniejszego obciążenia staje się rzeczą wiadomą i że przęsła skrajne dzielą się na dwie części tegoż samego ro-

dzaju. Sprowadziwszy tym sposobem do minimum liczbę przypuszczeń rzeczywiście użytecznych, podał sposób kreślenia krzywej, obwijającej wszystkie momenty, i ułożył tablice liczbowe dla osiemdziesięciu belek, mających od trzech do dwunastu pręseł.

W tym czasie także w Konserwatorium Sztuk i Rzemiosł robił doświadczenia generał Morin (1795—1880) celem dokładnego sprawdzenia wzorów teoretycznych. Ostatnie z tych doświadczeń, robione wspólnie z inż. Henrykiem Tresca (1814—1885), należą do pierwszorzędnych, tak pod względem wymiarów belek próbowanych, jak i dokładności użytych przyrządów. Przekonano się, że przyrosty długości sprężyste są proporcjonalne do obciążeń, że przyrosty trwale są bardzo małe w porównaniu ze skutkami nawet drobnych zmian temperatury i że prawo proporcjonalności Hooke'a (*ut tensio sic vis*) stosuje się do wszystkich małych skurczeń i wydłużeń zupełnie zgodnie z wynikami teoretycznymi działań międzycząsteczkowych. Stwierdziły to także doświadczenia inż. Bouniceau, nad skręcaniem prętów drewnianych, wykazując zgodnie z poglądami teoretycznymi, że skręcenia są proporcjonalne do sił w pewnych granicach, że w prętach, mających przecięcie kwadratowe, kąty skręcenia są odwrotnie proporcjonalne do czwartych potęg z boku podstawy i że natężenia, odpowiadające pełnemu skręceniu, są proporcjonalne do sześciątów z tegoż wymiaru.

Nad teorią luków pracowali dalej we Francji inżynierowie Darcel i Albaret. Pierwszy z nich w rozprawie z r. 1862 oprócz metody obliczania luków o zmiennem przecięciu podał teorią luków z łożyskami płaskimi, t. j. dotyczących się podpory dużą powierzchnią a nie jednym punktem, jak w teorii Bresse'a; drugi znów w tymże roku utworzył nową metodę dochodzenia największych natężeń wskutek obciążenia mostu ciężarami

przypadkowemi. W sprawie sklepień kamiennych inż. Durand-Claye wpadł w r. 1867 na myśl usunięcia niepewności z metody Meryego i użycia krzywej ciśnień do oceniania możebności równowagi, a to przez robienie kolejno wszystkich możebnych przypuszczeń co do jej położenia. Ciekawa ta metoda pozwalała ocenić możebność równowagi sklepienia, lecz nie mogła służyć do wyznaczenia tej równowagi; wskazywała wszakże, iż przyczyna, najczęściej wpływająca na zmianę położenia krzywej ciśnień, leży w niepewnych skutkach osadzania się sklepień po zdjęciu krążyn.

Rozwijająca się budowa mostów kratowych wymagała szybszych metod obliczania ich wytrzymałości, aniżeli dostarczane przez prace analityczne. Z pomocą przyszła wytworzona przez Culmanna statyka wykreslna, o której była już mowa. Z pracujących nad teorią wytrzymałości wymieniany już parokrotnie Barré de Saint Venant określił dokładnie pojęcia zasadnicze, co do których zachodziła pewna niejasność, i podał metodę, pozwalającą rozwiązać wiele trudnych zagadnień o ciałach sprężystych bez całkowania bezpośredniego wszystkich równań, a profesor getyngueński Alfred Clebsch (1833—1873) uogólnił metodę Saint Venanta, rozwiązując następujące zadania ogólne: wyznaczyć układy sił, jakie trzeba przyłożyć do przekrojów krańcowych graniastosłupa, żeby w razie, gdy jego ściany boczne są swobodne, wewnętrzne przekroje podłużne nie doznawały nateżeń prostopadłych do krawędzi i podać przesunięcia, wynikające z przyłożenia tych sił. Zadanie to nazwał Clebsch zadaniem Saint-Venanta. Słynny fizyk niemiecki Gustaw Kirchhof rozważał bezpośrednio przesunięcia, których punkty ciała sprężystego doznają w przestrzeni, i utworzył kinematykę ciał sprężystych; w pracach swych nad sprężystością ciał, których wymiary poprzeczne są nieskończenie małe, wykazał



mistrzostwo w stosowaniu analizy do najtrudniejszych zadań mechaniki. Potencjał sprężystości dla ciał równozwrotnych (izotropowych) wywodził już Navier. Używał tego potencjału przy wyprowadzaniu równań dla ciał różn zwrotnych (anizotropowych) profesor dubliński Samuel Haughton, a dawniej jeszcze bez względu na naturę sił sprężystości, działających wewnątrz ciał odkształcanych, wzmiankowany już Jerzy Green. Profesor dubliński Jan Jellet oparł potencjał sprężystości na działaniach międzycząsteczkowych, a wreszcie pracowali nad tym przedmiotem Józef Boussinesq i Henryk Poincaré. Do rozwoju teorii sprężystości przyczynili się nadto: w Anglii Willjam Thomson wspólnie z Piotrem Taitem i August Love, w Niemczech Franz Neumann i Jakób Weyrauch, we Włoszech A. Castigliano i Ernesto Cesaro.

U nas teorią sprężystości zajmował się wzmiankowany już Wł. Gosiewski, ogłaszając swe prace w Pamiętniku Towarzystwa Nauk Ścisłych w Paryżu, Pamiętniku i Rozprawach Akademii Umiejętności i w Pracach Matematyczno-Fizycznych. Nadto w r. 1873 wyszedł w Paryżu zeszyt pierwszy jego dzieła p. t. Wykład mechaniki cząsteczkowej (molekularnej) Tom I, część różniczkowa, w którym, zastanawiając się nad odkształceniami nieskończenie małego elementu ciała, wywiódł równania równowagi i ruchu tak tego elementu, jakoteż błony i włókna. Pracujący w zakresie wytrzymałości tworzyw i statyki budowli technicy nasi wkraczali oczywiście w dziedzinę teorii sprężystości, lecz po jednym z nich tylko pozostała pamiątka, obejmująca całość tej nauki. Kurs teorii sprężystości, ułożony w końcu ubiegłego stulecia dla słuchaczy Instytutu Technologicznego w Petersburgu przez prof. Hipolita Jewniewicza, przełożony został na język polski i wydany w r. 1910

p. t. Teorja sprężystości i jej zastosowanie do nauki o wytrzymałości materiałów budowlanych, oraz do zasad głównych statyki cieczy i dynamiki cieczy.

O związanie przez Cauchyego teorii sprężystości z mechaniką ośrodków ciągłych mówiłem przy hydrodynamice. Nowa ta gałąź mechaniki objęła twierdzenia ogólne, odnoszące się nietylko do ciał sprężystych i cieczy, lecz i do różnych zjawisk fizycznych w ośrodkach ciągłych. Przyczynili się do jej rozwoju w ostatnich czasach: Walde-mar Voigt z Getyngi (1895-6), Eugenjusz Cosserat z Tuluzy (1909) i wielokrotnie wspominany Piotr Duhem z Bordeaux (1911).

Z teorią sprężystości wiązała się coraz ściślej nauka o wytrzymałości tworzyw, co się uwydatniało w tytułach znakomitych dzieł i podręczników niemieckich (*Elasticität und Festigkeit*): Winklera, Grashofa, Tetmajera, Bacha i angielskich (*Elasticity and resistance*) Burra. Prace doświadczalne iść zaczęły równolegle z teoretycznymi, gdyż urządzone przy politechnikach pracownie mechaniczne pozwalały na bezpośrednie sprawdzanie wyników teorii przez samych autorów. Obok wymienionych oraz wzmiankowanych przy teorii sprężystości pracowali jeszcze nad wytrzymałością tworzyw i statyką budowli we Francji J. Résal, w Niemczech A. Föppl, w Anglii J. A. Eving. Teorią belek mostowych, kratownic, wiązań dachowych i luków żelaznych zajmowali się oprócz wymienionych już przy statyce wykreślnej (W. Rittera, O. Mohra i H. Müller-Breslaua, we Francji inżynierowie Ch. Duguet (1882) i Mesnager (1901), w Belgji A. Vierendel (1897), w Niemczech G. I. Mehrtens (1903), W. Schlink (1907), H. Seipp (1910), H. Zimmermann (1901), A. Zschetsche (1912), we Włoszech A. Castiglano (1879), general Menabrea (1884) i L. Via-

nello (1905). Nad ciśnieniem ziemi pracowali we Francji A. Considère (1870) i inż. Rabut (1910), w Niemczech Fr. Kötter (1893). Teorią sklepień zajmowali się w Niemczech Fr. Engesser (1900), W. Schachenmeier (1910), H. Ritter (1911); żelazobetonem — L. Hotopp (1916), L. v. Emperger (1912). Ten ostatni, w artykule niemieckiej *Encyklopedji Umiejętności Matematycznych* z r. 1914, omawiającym specjalne zadania z teorii kratownic, statyki sklepień, murów oporowych i żelazobetonu, zauważył, że gdy w ostatnich czasach teoria kratownic stale posuwała się naprzód, to teoria budowy murowanych i żelazobetonowych zatrzymywała się na każdym kroku wobec coraz to nowych różnorodnych przeszkód. Tem też objaśnia, że jego referat mógł być tylko możliwie ściśle przedstawieniem niewielkiej liczby pewnych wyników a zato wielu nierozwiązanych pytań i wątpliwości. Wkońcu pyta: „A co będzie dalej?” i tak odpowiada: „Oczywiście spostrzeżenia i doświadczenia, będące nieodzownymi doradcami we wszystkich zadaniach praktyki, dostarczą wielu cennych podstaw racjonalnej teorii, lecz istotne jej wytworzenie dopóty nie będzie możliwe, dopóki nie zdołamy rozwiązywać w szerszym zakresie, niż dotąd, zadań całkowania, jakie się przedstawiają w mechanice ośrodków ciągłych. Przytem trzeba będzie się zająć innemi ośrodkami ciągłymi, aniżeli badane dotąd ciała sprężyste, jak sypkim piaskiem, mniej lub więcej spoistą ziemią, a nawet ośrodkami, przedstawiającymi pewną plastyczność, którą np. przypisywać można niezupełnie wyschniętej zaprawie wapiennej.”

Z pracowników naszych w dziedzinie wytrzymałości tworzyw i statyki budowy wymienić należy najprzód Tadeusza Chrzanowskiego (1822—1892), który w r. 1860 pisał O wyznaczeniu sił, działających w krzyżulcach i ścianach pełnych pio-



nowych belek mostów systemu amerykańskiego, w 1876 r. — O wyznaczeniu grubości ścian murowanych, podtrzymujących nasypy, a w 1877 r. wydał oryginalną Teorię sklepień, uważając w niej część wierzchnią sklepienia jako belkę, posiadającą wszystkie trzy składowe elementy (pas górny — samo sklepienie, pas dolny — działanie bocznych części sklepienia, krzyżulce — nadmurowanie sklepienia). Równocześnie w Paryżu ukazał się pierwszy podręcznik polski do nauki o wytrzymałości tworzyw Władysława Klugera; metody wykreślne, wtedy jeszcze zbyt młode, nie miały w nim zastosowania. Wprowadził je częściowo do swego podręcznika, w r. 1886, prof. Maksymiljan Thullie, a książka ta doczekała się w r. 1917 trzeciego wydania. W najnowszej wreszcie Wytrzymałości tworzyw prof. Leona Karasińskiego, wydanej w 1919 i 1921 r., pominięte zostały działy, wkraczające w dziedzinę matematycznej teorii odkształceń, gdyż autor nosi się z zamiarem wydania *Sprężystości tworzyw* „opartej na podstawach zgoła odmiennych od zwykłych, dotychczas obowiązujących.“ Poważne przyczynki do nauki o wytrzymałości tworzyw zawdzięczamy nieżyjącym już inżynierom: Kazimierzowi Obrębiewiczowi i Feliksowi Jasińskiemu, a nie przestają ich dostarczać profesorowie Maksymiljan Huber, Leon Karasiński i inżynier Bolesław Milkowski.

Przechodzę do hydrauliki. Wzmiankowane przy hydrodynamice doświadczenia dr. Poisseuille'a (1846), podjęte jako wstęp do badań nad cyrkulacją krwi w naczyniach włoskowatych, odnosiły się do ruchów powolnych w rurkach szklanych, których średnica nie dochodziła do jednego milimetra. Z wyników tych doświadczeń wyciągnął dr. Poisseuille prawa ruchu wody w podobnych rurkach, a wzór, streszczający te prawa, wywiódł Boussinesq (1867)

z równań Naviera. Na różnicę, zachodzącą między ruchem regularnym wody w rurkach o małej średnicy a ruchem burzliwym w wielkich rurach, zwracał już uwagę Henryk Darcy a różnicę tę uwidocznili w r. 1883 Osborne Reynolds, wprowadzając do rury szklanej, przez którą płynęła woda, cienką strugę cieczy zafarbowanej. Struga ta przy ruchu powolnym cieczy w rurce była równa i prosta; gdy wszakże prędkość prądu się zwiększała i przekraczała pewną granicę, wtedy struga zafarbowana się przerywała i cząstki kolorowe rozpraszały się pod postacią wirów. Doświadczenia Reynoldsa wykazały, że ruch regularny wody w rurach przechodzi w burzliwy przy pewnej prędkości, nazwanej przezeń prędkością krytyczną, — pozwoliły wyrazić tę prędkość w funkcji średnicy rury i tak nazwanego przez Maxwella kinematycznego współczynnika tarcia, — wreszcie doprowadziły Reynoldsa do wykrycia ciekawego prawa podobieństwa prądów. Zjawiskami burzliwego ruchu cieczy, stanowiącemi w nauce, jak się wyraził Saint-Venant „rozpaczliwą zagadką“, zajmował się Bous-sinesq i, uwzględniając wszystkie przyczyny wzburzeń, doszedł do ogólnego wyrażenia na współczynnik tarcia w rurach (1877).

Inżynierowie tymczasem nie ustawali w pracy nad wyciąganiem z wciąż wzrastającej liczby doświadczeń wzorów praktycznych na bieg wody w rurach. W Szwajcarii Ganguillet i Kutter podali w r. 1869 wzór do dziś używany, a rodak nasz Henryk Merczyng, profesor Instytutu Dróg i Komunikacji w Petersburgu, proponował w r. 1890 wzór, odnoszący się nie tylko do wody ale i do nafty i ropy. W ostatnich czasach cieszyły się największem rozpowszechnieniem wzory: Reynoldsa, Flamanta, Biela i Langa, a inżynierowie lwowscy Biegeleisen i Bukowski po rozstrząśnieniu doświadczeń w liczbie 1761 i krytycz-

nym rozbiórce 21 dawniejszych wzorów podali nowy własny w r. 1914.

Nad ruchem zmiennym wody w rurach pracował wspomniany już kilkakrotnie inż. Dupuit; straty naporu w miejscach rozgałęzień rur rozważał Belanger. W ostatnich latach ciekawe badania nad rozkładem ciśnień w prądzie dwuwymiarowym, przechodzącym przez kolana i luki o przekroju wewnętrznym prostokątnym, wykonał w Niemczech inż. dr. H. Grether (1909). We Francji margrabia Caligny badał wahania szupów wodnych w zbiornikach połączonych (1883). Ścisłą teorię uderzenia wodnego w rurach podał inżynier włoski Lorenzo Allievi (1909).

Współpracownik Darcyego inż. Henryk Bazin wykonał po zgonie swego mistrza przeszło 700 doświadczeń nad biegiem wody w kanałach ze ścianami z różnych materiałów i podał ich wyniki w swoich *Recherches hydrauliques* z r. 1865; wzór zaś jaki wywiódł do dziś jest używany. Obok niego używane są także wzory Kuttera i Manninga. Z pomiędzy wzorów na bieg wody w rzekach, do których zamiast promienia średniego przekroju poprzecznego wprowadzoną została średnia głębokość, wymienię wzór profesora Politechniki lwowskiej Maksymiljana Matkiewicza z r. 1906. W przedmiocie rozkładu prędkości na jednej pionowej inż. Wł. Witkowski wspólnie z inżynierami Surzyckim, Falkowskim i Jul. Majewskim przeprowadził w r. 1862 doświadczenia na Wiśle przy stanie jej zamarznięciu pod lodem i wywiódł wzory dla koryta zamarzniętego, jak i otwartego. Liczne wszakże doświadczenia Bazin'a we Francji, Cunninghama na kanale Gangesu oraz Humphreysa i Abbota na Mississipi wykazały, że streszczenie prawa rozkładu prędkości na przecięciu poprzecznym rzeki lub kanału w jednym wzorze ogólnym nie jest możebne.



Teorię ruchu zmiennego wody w kanałach i rzekach podał profesor gandawski Boudin w swej rozprawie O osi hydraulicznej prądów z r. 1863. Stosowanie teorii w praktyce uprzystępniał Bresse tablicą zamieszczoną w Kursie Hydrauliczki z r. 1868. Ścisłejsze, lecz mniej przystępne dla praktyki wzory wywiódł Boussinesq z doświadczeń Bazina. Weszły one, równie jak wyniki innych badań Boussinesq'a, do wydanej w r. 1909 Hydrauliczki ogólnej A. Boulangera.

Wpływ przez przewał był przedmiotem badań inżyniera amerykańskiego J. B. Francisa (1855) w Bostonie, prof. Brachmana w Moskwie (1860), wreszcie ucznia i następcy Weisbacha we Freibergu, Bornemanna (1870). Najwięcej wyczerpującymi wszakże były doświadczenia Bazina, na których oparte zostały wywody Boussinesq'a.

Podstawę teorii ruchu wód głębinnych założył Henryk Darcy, podając w r. 1856 dowód doświadczalny proporcjonalności ilości przepływu do spadku. Na tej podstawie objaśniał Dupuit (1863) lekkie nachylenie poziomu w sąsiedztwie studzien. Objaśnienia te okazały się zgodnymi ze specjalnymi rozwiązaniami wywiedzionego przez Forchheimera w r. 1886 równania ciągłości przy pominięciu ruchu pionowego, a także z wynikami poszukiwań A. Thiema (1879) i Theveneta (1884). Teorię tę zastosował później Boussinesq (1903) do prądów zmiennych przy uwzględnieniu zmian opadów na powierzchni, a Maillet (1902) do wielu przypadków, spotykanych w praktyce.

Nad ruchem gazów podjął systematyczną pracę fizyk francuski Regnault (1810—1878) na podstawie, wytworzonej przez Meyera i Joule'a, a opracowanej przez Rankine'a, Clausiusa i Hirna termodynamiki. Ostateczne wykończenie zawdzięcza teorii ruchu gazów Zeunerowi, który w swej pracy Lokomotiven-Blasrohr z r. 1863 zespolił pomyślnie równania hydrodynamiki

z termodynamicznymi i jeszcze w 1900 r. zajmował się dalszem rozwijaniem tej teorii. W ostatnich czasach pracowali nad nią: w Zurichu Albert Fliegner a w Niemczech Stodola, Lewitzki i Hans Lorenz.

Opór przy ruchu okrętów badali: we Francji Bourgeois (1857), a w Anglii Merrifield (1864), Rankine (1870) i Froude (1878); wpływ fal na ruch statków — W. Thomson (1891), Michell (1898), Calvert (1893), i Hans Lorenz (1907). Rozwój żeglugi powietrznej pobudził do badań oporu powietrza przy ruchu aeroplanów. Znaczna liczba doświadczeń nad tym przedmiotem wykonaną była w ostatnich czasach przez Eiffela i Ch. Renarda we Francji, prof. Prandtla (w pracowni getyngeskiej), R. v. Lössla i Franka w Niemczech, Irmingera w Kopenhadze. Metody i przyrządy odnoszące się do mierzenia prędkości prądów zyskały również wiele udoskonaleń. Znany już od r. 1740 młynek Woltmanna ulepszany był przez Amslera (1871) i Harlachera (1881) i w ulepszonej swej postaci pozostaje w użyciu. Z rurki Pitota, proponowanej jeszcze w 1732 r., uczynił Henryk Darcy przyrząd ścisły, który wszedł w powszechne użycie, jako tak nazwany „pitot“. Przyrząd ten, ulepszony przez Rittera, znalazł szersze zastosowanie w Ameryce, podczas gdy w Europie używane są przeważnie młynki. Do mierzenia prędkości wody w rurach używać zaczęto wodomiarów różnych systemów, wśród których ceniony jest dla swej dokładności wodomiar Venturi, tak nazwany na cześć wspomnianego hydraulika włoskiego XVIII w. a zbudowany przez inżyniera amerykańskiego C. Herschella (1887). Prędkość prądów gazowych mierzoną bywa za pomocą tak zwanej „tarczy spiętrzającej“ Krella lub Prandtla.

Z pośród nowych typów silników wodnych wymienić należy koła wodne inż. cyw. Dominika Girarda (1851)

i Amerykanina Peltona (1882), a także pompy odśrodkowe Gwynne'a (1862). Najpoważniejsze badania nad teorią kół wodnych przeprowadził Bach (1886) a nad teorią turbin Zeuner (1899). W ostatnich czasach pracowali nad teorią turbin: Prášil (1903), Hans Lorenz (1906), Pfarr (1907), Stodola (1907).

U nas w zakresie hydrauliki i teorii maszyn wodnych ogłaszali artykuły w Pamiętniku Towarzystwa Nauk Ścisłych w Paryżu: Kluger (1873), Kucharzewski (1873/4), Martynowski (1873/4); w Przeglądzie technicznym Rechniewski (1881), Jewniewicz (1889—1891), Czopowski (1902), Lewandowski (1905), Witoszyński (1916); w Czasopiśmie technicznym lwowskim Pomianowski (1903), Matakiewicz (1906, 1910). Obszerny podręcznik wydali w r. 1873 w Paryżu Kluger i Kucharzewski, krótszy Kucharzewskiego wyszedł w Warszawie w r. 1918. O zakładach wodnych pisali Uderski (1880), Nadolski (1910), o siłach wodnych Galicji Pomianowski (1906).

Temi krótkimi wzmiankami, których mnogość niedopuszczała szerszego, przedmiotowego rozwinięcia, zamykając przedstawiony w szeregu wykładów zarys rozwoju mechaniki, wspomnieć pragnę jeszcze o poglądach, dotyczących jej przyszłości wobec naporu nowych teorii fizycznych na niewzruszone od czasów Newtona zasady mechaniki. Przy obecnym stanie nauki, przy ścisłości dokonywanych pomiarów twierdzić można, że mechanika nowoczesna dostarcza co najmniej pierwszego i to znacznego przybliżenia istotnych praw równowagi i ruchu. Na to godzą się wszyscy; rozprawy toczą się tylko o najlepszych sposobach wyrażania praw zasadniczych i o trudności pogodzenia dynamicznego określenia siły z określeniem statycznym. Samą istotą siły nie zajmuje się mechanika, ograniczając się do badania jej skutków. Nie



pytamy się także, czy mogą istnieć w naturze siły dotąd nieznane; dość będzie czasu zająć się niemi, gdy wykazane zostaną dowodnie ich skutki.

A jednak najnowsze odkrycia fizyki dążą do podcięcia zaufania, jakie mamy do zasad mechaniki. Masa ma utracić swój charakter absolutnej niezmienności. Równość działania i oddziaływania winnaby zniknąć z powodu czasu użytego na przesyłkę sił innych, jak przyciąganie powszechne. Zachowaniu energii nawet przeczą, wedle niektórych fizyków, własności radium i tak dalej.

Ciekawe jest zestawienie pod tym względem poglądów, wygłoszonych w 40 lat jeden po drugim przez dwóch mistrzów mechaniki francuskiej, twórcy teorii sprężystości Lamégo i inżyniera Maurycego Levy. Lamé, otwierając swoje ostatnie wykłady fizyki matematycznej w Sorbonie, przepowiadał, że z końcem XIX w. prawa ciężenia, elektryczności i optyki zleją się w jedno uniwersalne prawo materji. Ale wiek XIX się skończył i przepowiednia nie została spełnioną. Ciężenie nie przestało stać na uboczu poza innemi siłami natury, a nawet teoria elektryczności naparła na same prawa Newtona. Zaznaczył to Mauryce Levy, otwierając w r. 1908 międzynarodowy kongres elektryczny w Marsylii a następnie tak się wyraził: „Mechanika newtonowska nie przestanie służyć dla wszystkich zadań, jakie stawia przyroda lub przemysł, o ile w te zadania wchodzi prędkości możliwe do urzeczywistnienia dla ciał ważkich. Gdy się wszakże pojawia prędkość płynu elektrycznego, wynosząca około 300 000 kilometrów na sekundę, wtedy powstają nowe siły, których mechanika nasza nie przewiduje. W tych przypadkach wypadłoby zastąpić punkt materialny naszej mechaniki cząsteczką elektryczną, którą sobie wyobrażamy jako mały świeatek, złożony z jądra naelektryzowanego dodatnio, otoczonego księżycami, naelektryzowanemi odjemnie, które

pod wpływem przyciągań elektrycznych, przy nieskończeniu małych masach otrzymują prędkości tegoż samego rzędu, co prędkość światła. Kiedy się zjawi mesjasz tej nowej mechaniki, więcej złożonej od tej, jaką zostawił Newton i jego wielcy następcy. Czy na niego czekać będziemy lata, czy wieki, trudno przewidzieć. Można tylko przypuszczać, że przyjdzie wtedy, gdy wszystko już będzie gotowe na jego przyjęcie, gdy nagromadzone przez naukę doświadczalną nowe fakty będą dość liczne, by mu pozwoliły na dokonanie nowej syntezy.“

Do tych słów, wygłoszonych 12 lat temu, dodać należy, że dynamika elektronów, z wnioskami jakie z niej wyciągnięto co do zmienności mas i niemożności urzeczywistnienia prędkości większych od prędkości światła, nie jest już ostatniem słowem nowych teoryj. Przyszła następnie teoria kwantów niemieckiego fizyka Plancka, burząca samo pojęcie energii, która nie byłaby już dla danego ciała ilością, zmieniającą się w sposób ciągły, lecz podlegałaby zmianie nagłemi skokami. Równania różniczkowe ruchu należałoby zastąpić równaniami o różnicach skończonych, trudniejszymi jeszcze do rozwiązania. Przyszła wreszcie zasada względności Einsteina, doprowadzająca do równań jeszcze więcej złożonych, z których jednak jako pierwsze przybliżenie wypadają prawa Newtona. Poincaré w jednym z pism swoich, roztrząsawszy stosunek nowych teoryj fizycznych do mechaniki newtonowskiej, takie wyraził życzenie: „Przypuśćmy, że kiedyś teorie te poddane zostaną nowym próbom i wyjdą z nich zwycięsko; wtedy nasze wykształcenie średnie wystawione zostanie na wielkie niebezpieczeństwo. Niektórzy nauczyciele będą chcieli niewątpliwie pomieścić w niem nowe teorie, bo nowości są pociągające i tak przykro jest przedstawiać się nie dość postępowym. Co najmniej nauczyciele będą chcieli zapoznać uczniów w ogólnych zarysach

z nowymi teorjami i przed rozpoczęciem kursu dotychczasowej mechaniki będą uprzedzali, że ta mechanika już się przeżyła i że była wystarczającą co najwyżej dla starego safanduly Laplace'a. A wtedy uczniowie nie zżyją się z mechaniką. Otóż, czy należy uprzedzać ich o tem, że ta mechanika jest tylko przybliżoną?" Poincaré twierdzi, „że tak, ale dopiero wtedy, gdy nią będą przeniknęli do szpiku, gdy przywykną do myślenia na podstawie jej zasad, gdy już nie będą mogli o niej zapomnieć. Wtedy bez szkody można im wskazać jej granice. Żyć bowiem muszą z mechaniką zwykłą, ją tylko jedną przyjdzie im stosować. Jakiegokolwiek będą postępy w budowie samochodów i samolotów, nie osiągną one nigdy tych prędkości, przy których zwykła mechanika przestaje być prawdziwą. Nowe teorje są pewnego rodzaju zbytkiem — a o zbytku myśleć można wtedy tylko, gdy to nie może szkodzić codziennej potrzebie.“

---