

**Fradlin, Borys N. / Grigorian, Aszot /  
Sotnikow, Władimir S.**

---

**Mechanika Newtona a współczesne  
przyrodoznawstwo**

---

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 22/4, 771-782

---

1977

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Borys N. Fradlin, Aszot T. Grigorian, Władimir S. Sotnikow  
(ZSRR — Moskwa)

## MECHANIKA NEWTONA A WSPÓŁCZESNE PRZYRODOZNAWSTWO

„*Qui genus humanum ingenio superavit*”

Te słowa Lukrecjusza zostały wyryte na wzniesionym w Trinity College w Cambridge pomniku Izaaka Newtona<sup>1</sup>, od śmierci którego minęło 31 marca 1977 roku 250 lat.

Rocznica śmierci uczonego bywa zwykle pretekstem do dokonania podsumowującej charakterystyki jego drogi twórczej, do udzielenia odpowiedzi na pytanie: co uczynił on dla nauki w ciągu całego swego życia? Jednakże zakończone życie nie przerywa ewolucji myśli naukowej. Żyje ona nadal, rozwija się, a kolejne rocznice śmierci wybitnych przedstawicieli nauki stają się okazją do oceny kontynuacji i rozwoju ich dążeń twórczych. W tym przypadku mowa o uczonym, którego twórczość wywarła decydujący wpływ na całą ewolucję myśli ludzkiej w ciągu dwu i pół wieku i o epoce nieporównywalnej z minionymi pod względem intensywności postępu naukowego. Wszelkonością prac i zainteresowań Newtona tłumaczy się m.in. tę mnogość dyscyplin naukowych, które bądź zawdzięczają mu swój początek, bądź rozwój. Wymienimy tu mechanikę klasyczną i mechanikę nieba, prawo powszechnego ciążenia, naukę o świetle, rachunek różniczkowy i całkowity itd.

O życiu i twórczości Newtona, o znaczeniu jego dorobku naukowego istnieje obszerna literatura w wielu językach. W języku rosyjskim — począwszy od roku 1728 — opublikowano ponad 300 prac<sup>2</sup>, w tym jego podstawowe dzieła.

Szczególne zasługi w tłumaczeniu, komentowaniu i publikowaniu prac Newtona w języku rosyjskim położyli A. N. Kryłow i S. I. Wawilow (1915—1945). Duży wkład do kontynuacji myśli Newtona wniósł wybitny radziecki uczony — B. M. Hessen. W roku 1931 na II Międzynarodowym Kongresie Historii Nauki wygłosił on referat pt. *Społeczno-ekonomiczne źródła mechaniki Newtona*. Opierając się na marksistowskiej metodzie dialektycznej Hessen przeprowadził głęboką analizę działalności naukowej Newtona<sup>3</sup>. W okresie powojennym pojawiły się w ZSRR prace poświęcone analizie twórczości naukowej Newtona z punktu widzenia osiągnięć naszych czasów.

<sup>1</sup> Cyt. za pracą: S. I. Wawilow; *Izaak Njuton*. Moskwa 1961. s. 192.

<sup>2</sup> Patrz: *Fizyka na rubieżu XVII/XVIII w.*, Moskwa 1974. s. 229—242, gdzie zamieszczona jest pełna bibliografia prac o Newtonie w wydaniach rosyjskich w okresie od 1728 do 1973 r.

<sup>3</sup> B. M. Gessen: *Socjalno-ekonomiczeskoje korni miechaniki Njutona*. Moskwa—Leningrad 1933 s. 79.

## 1. U ŹRÓDEŁ MECHANIKI NEWTONA

Rodowód newtonowskiej lub klasycznej mechaniki wiąże się z fizycznymi i matematycznymi koncepcjami M. Kopernika, J. Keplera, Galileusza, R. Descartes'a i Ch. Huygensa. „Patrzyłem daleko, ponieważ wspierałem się na ramionach olbrzymów” — oto wypowiedź samego Newtona. Dlatego też przedstawienie podstaw mechaniki Newtona trzeba rozpocząć od krótkiego opisu osiągnięć naukowych jego wybitnych poprzedników.

W nauce średniowiecznej dominowała filozofia przyrody Arystotelesa, zgodnie z którą Ziemia spoczywa nieruchomo w centrum Wszechświata ograniczonego sferą nieruchomych gwiazd, a ruch ciał niebieskich powinien być ruchem jednostajnym po okręgu. Kościół katolicki zdogmatyzował myśl Arystotelesa. Ptolemeusz — powołując się na brak u gwiazd zauważalnych paralaks i przytaczając szereg innych argumentów — uważał również, że Ziemia jest nieruchoma. Był on twórcą skomplikowanego i pomysłowego zarazem modelu widocznego obiegu ciał niebieskich wokół nieruchomej Ziemi, który to model pozwalał z dużą dokładnością wyliczyć ich położenie. Stworzona przez niego teoria ruchu Słońca, Księżyca i planet dała możliwość opracowania odpowiednich tablic astronomicznych, przepowiadania zaćmień, obliczania współrzędnych ciał niebieskich itd. Geocentryczna teoria Ptolemeusza dominowała w nauce przez 1500 lat.

W 1543 r. opublikowane zostało dzieło *O obrotach sfer niebieskich*, w którym utrwalono heliocentryczny układ świata. Autorem pracy, która zmieniła wyobrażenie o ruchu ciał niebieskich był Mikołaj Kopernik. Pogląd o względnym charakterze ruchu mechanicznego pozwolił Kopernikowi za pomocą wyobrażenia o ruchu Ziemi, jej obrotach w ciągu doby i rocznym obiegu wokół Słońca wyjaśnić obserwowany z Ziemi ruch ciał niebieskich. Wskazując na istnienie — niezauważalnych przy ówczesnych obserwacjach — nieznacznych paralaks gwiazd, Kopernik rozszerzył granice arystotelesowskiego Wszechświata. Właśnie od Kopernika „zaczyna się mówić o wyzwoleniu przyrodoznawstwa spod wpływów teologii”<sup>4</sup>.

W ślad za Kopernikiem Giordano Bruno, rozwijając jego teorię, wysunął pogląd o ruchu Słońca i wszystkich gwiazd Wszechświata, o bezkresie Wszechświata i istnieniu niezliczonej ilości światów, o niezniszczalności materii oraz o ciągłym ruchu i zmianie wszystkich ciał.

Ogromne zasługi w utrwalaniu teorii Kopernika położył Kepler. Opierając się na teorii heliocentrycznej oraz korzystając z materiałów Tycho de Brahe i z danych obserwacji własnych Kepler sformułował dwa prawa ruchu planet (pierwsze i drugie prawo Keplera). Początkowo sformułował je w pracy *Nowa astronomia* jedynie dla Marsa, a potem w trzypięciotomowym traktacie *Skrót astronomii kopernikańskiej* (1618—1622) uogólnił je rozszerzając na ruch pozostałych planet i Księżyca. W traktacie tym podał jeszcze jedno prawo dotyczące ruchu planet (trzecie prawo Keplera), które zastosował także dla czterech satelitów Jowisza odkrytych przez Galileusza w roku 1610. Na krótko przed tym omówił je w pracy *Harmonia świata* (1619). W roku 1627 Kepler opublikował swe ostatnie dzieło *Tabulae Rudolfinae*, pozwalające z dużą jak

<sup>4</sup> Cyt. wg. K. Marks, F. Engels: *Soczinienija*. 2 wyd. T. 20. Moskwa 1961 s. 347.

na owe czasy dokładnością, dla dowolnego momentu obliczać położenia planet<sup>5</sup>. Prawa Keplera potwierdziły heliocentryczną teorię budowy Wszechświata i obaliły antyczne wyobrażenia o ruchu ciał niebieskich, który to ruch miał być jednostajny i odbywać się po okręgu. Dzieła Keplera jako sprzeczne z doktryną katolicką znalazły się w spisie ksiąg zakazanych.

Ważną rolę w rozwoju teorii Kopernika odegrał obok Keplera Galileusz. Zbudowany przez niego teleskop pozwolił kilkakrotnie zwiększyć widziany przez człowieka obszar Wszechświata i odkryć nowe fakty i zjawiska dotyczące ruchu i struktury ciał niebieskich (obrót Słońca wokół własnej osi, libracja Księżyca, występowanie plam na Słońcu, istnienie satelitów Jowisza, fazy Wenus, ogromna ilość gwiazd znacznie przewyższająca znaną wcześniej i in.). Podstawowe tezy mechaniki Galileusza przedstawione zostały w jego rozprawach *Dialog o dwóch najważniejszych układach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym* (1632) i *Dialogi i dowodzenie matematyczne dotyczące dwóch nowych dziedzin nauki* (1638). Galileusz eksperymentalnie udowodnił prawo spadania ciał w próżni, zbadał ruch pocisku z pominięciem sił oporu, sformułował prawo zachodzenia stosunku proporcjonalności między ciężarem ciała a jego masą, po raz pierwszy określił zasadę względności mechaniki klasycznej, zbadał ruch wahadła matematycznego. Jako pierwszy wypowiedział myśl o ciągłości ruchu ciał w czasie i przestrzeni.

Descartes identyfikował przestrzeń z materią i uważał, że wszystkie procesy zachodzące w przyrodzie sprowadzają się do nieprzerwanego ruchu mechanicznego ciał (teoria wirów). Podstawową właściwość materii upatrywał w jej rozciągłości. Descartes jednakże zakładał, że Bóg dał początek tworzeniu się materii i nadał jej ruch. W ten sposób naturalistyczna koncepcja filozofii Kartezjusza była dualistyczna. Mimo to sprzyjała ona postępowi myśli przyrodniczej w owym czasie. Descartes znajdował się u progu prawidłowego sformułowania prawa bezwładności. Jeśli bowiem Galileusz sądził, że ruch bezwładny odbywa się po okręgu, to Descartes uważał, że jest to wyłącznie ruch prostoliniowy. Podobnie, jak i Galileusz, nie miał on jeszcze sprecyzowanego wyobrażenia o podstawowych wielkościach kinematycznych i dynamicznych: prędkości i przyśpieszeniu, masie i sile. Prędkość traktował nie jako wielkość wektorową, lecz jako skalarną. Ogromna zasługa Descartes'a polega na wprowadzeniu pojęcia ilości ruchu punktu materialnego jako miary jego ruchu mechanicznego. Miarę tę wprowadzoną jako skalar, bez wyraźnego wyobrażenia o masie, można rozpatrywać jedynie jako „pierwsze przybliżenie” późniejszego pojęcia ilości ruchu punktu materialnego, którego to pojęcie używał Newton w swych badaniach. Uproszczenia przyjęte przez Descartes'a przy wyjaśnianiu miary ruchu mechanicznego przywiodły do stworzenia nieprawidłowej teorii zderzeń i błędnego przekonania o uniwersalności prawa zachowania ilości ruchu we Wszechświecie.

Zainteresowania naukowe Huygensa skupione były głównie wokół dwóch problemów: teorii zderzeń i teorii zegara wahadłowego. Rozwiązał on szereg zadań dotyczących prostego i złożonego wahadła fizycznego, wprowadził pojęcie środka wychyleń wahadła. Są to pierwsze w historii mechaniki zadania z dynamiki ciała sztywnego i w ogóle ukła-

<sup>5</sup> Część rękopisów Keplera znajduje się w archiwum AN ZSRR w Leningradzie.



du punktów materialnych. Huygens po raz pierwszy wprowadził do dynamiki wzór na wyznaczenie osiowych momentów bezwładności układu materialnego i udowodnił twierdzenie o momentach bezwładności ciała względem równoległych osi. Rozwiązując zadanie o ruchu wahadła matematycznego Huygens doszedł do niezwykle ważnych dla dynamiki pojęć siły dośrodkowej i odśrodkowej, które w przyszłości posłużyły Newtonowi jako punkt wyjścia przy formułowaniu teorii grawitacji. Huygens jest autorem wzoru na wyznaczenie przyspieszenia dośrodkowego punktu w ruchu krzywoliniowym. Jako pierwszy zwrócił uwagę na wektorowy charakter ilości ruchu. Dlatego też stworzona przez niego teoria zderzeń<sup>6</sup> (m.in. prawo zachowania ilości ruchu przy zderzeniu) jest poprawna. Szczególnie istotny jest fakt, że w swej teorii zderzeń posługuje się on pojęciami energii kinetycznej i pracy, a także twierdzeniem o zmianie energii kinetycznej. Jednakże twierdzeń tych nie uogólnił na całą dynamikę, a w wielkości energii kinetycznej  $1/2 mv^2$  nie dostrzegł drugiej (skalarnej) miary ruchu mechanicznego punktu materialnego. Huygens nie przywiązywał wagi do pojęcia pracy, mimo że „złota zasada” mechaniki znana była już w czasach antycznych. Rozpatrując zderzenie sprężyste dwóch ciał Huygens nie zauważył istotnego w danym przypadku związku między prawem zachowania energii kinetycznej i pędu układu. Sformułował zasadę ruchu środka ciężkości układu ciał, zgodnie z którą nie może się on wznieść ponad położenie początkowe (prawo zachowania energii mechanicznej) i wskazał na związek między prawem zachowania ilości ruchu i prędkości środka bezwładności w szczególnym przypadku zderzenia sprężystego dwóch ciał.

Tak więc poprzednicy Newtona w dziedzinie mechaniki — wykorzystując zgromadzony pokaźny materiał doświadczalny — w wielu szczególnych przypadkach (swobodne spadanie, zderzenie dwóch ciał i in.) sformułowali niektóre ważne twierdzenia i prawa charakteryzujące ruch mechaniczny. W tym sensie ich badania stały się tym fundamentem, na którym opierała się tworzona przez Newtona mechanika.

## 2. MATEMATYCZNE ZASADY FILOZOFII PRZYRODY

Fundamentalne dzieło Newtona *Matematyczne zasady filozofii przyrody* (*Philosophiae naturalis principia mathematica*), którego pierwsze wydanie ukazało się w roku 1687 (a potem jeszcze dwukrotnie za życia autora w roku 1713 i 1725), należy do prac wyznaczających główne etapy nie tylko w historii mechaniki, lecz również w historii nauki, a nawet w historii całego rozwoju intelektualnego ludzkości. Newton stworzył podstawy nowej nauki — mechaniki klasycznej ze ściśle sprecyzowaną problematyką i adekwatnymi metodami badań, z systemem pojęć ogólnych, aksjomatów, praw i reguł pozwalających udowodnić wiele niezbędnych twierdzeń. Sformułował szereg wynikających z nich wniosków, charakteryzujących prawidłowości ruchu mechanicznego. Podstawą w stworzeniu mechaniki klasycznej stały się opracowane

<sup>6</sup> Jednocześnie z Huygensem problemem sprężystych i niesprężystych zderzeń ciał zajmowali się w latach 60-tych XVII w. J. Wallis i Ch. Wren, a jeszcze wcześniej — Toricelli.

przez Newtona i Leibniza nowę wówczas metody matematyczne — obliczanie wielkości nieskończenie małych.

Aby sformułować podstawowe prawa mechaniki klasycznej Newton musiał przede wszystkim wprowadzić i dokładnie określić szereg pojęć ogólnych — użytych przez niego w wyniku dokonywania uogólnień dorobku naukowego poprzedników. Odkryta przez Newtona teoria fluksji (rachunek różniczkowy), opracowane przez niego infinitezymalne operacje matematyczne pozwoliły na precyzyjne określenie pojęć kinetycznych niezbędnych dla opisu ruchu punktu materialnego — prędkości i przyspieszenia. Napotkał on przy tym na ogromne trudności natury zasadniczej związane z pojęciami czasu, ruchu, układu odniesienia. Istotnie, z jakim układem współrzędnych należy powiązać ruch punktu materialnego? Newton postulował istnienie przestrzeni absolutnej i czasu absolutnego. Abstrakcje te oparte są na założeniu, że własności przestrzeni odpowiadają geometrii Euklidesa, są jednakowe we wszystkich jej częściach i nie należą do mechanicznego ruchu materii zachodzącego w tej przestrzeni, czas zaś upływa równomiernie we wszystkich punktach przestrzeni i również nie jest związany z procesami mechanicznymi w niej zachodzącymi. Przestrzeń absolutna jest nieruchoma, nie zależy od czasu, ciągle pozostaje tożsama (pusty zbiornik materii), posiada właściwości geometryczne, a nie fizyczne. Z przestrzenią absolutną wiązał Newton także układ odniesienia, który jest nieruchomy. Jednakże pisał on: „Może okazać się, że w rzeczywistości nie istnieje ciało znajdujące się w stanie spoczynku, do którego można byłoby odnieść miejsce i ruch innych”. Jak wobec tego należy rozumieć jego główną zasadę naukowych poszukiwań, polegającą na tym, że przyjmowane hipotezy winny być uzasadnione teoretycznie i praktycznie. „Hipotez (tj. hipotez nieuzasadnionych — *aut.*) nie tworzę”<sup>7</sup>. Ale jeśli nie ma możliwości wyczerpująco uzasadnić postulatu o istnieniu nieruchomego układu odniesienia, to można to zrobić w przybliżeniu, umieściwszy „nieruchomość” w odpowiednich przypadkach na powierzchni Ziemi, a jeśli trzeba będzie, to w zależności od warunków zadania należy powiązać tę „nieruchomość” z osią obrotu Ziemi, z powierzchnią lub osią obrotu Słońca itd., osiągając przy tym każdy potrzebny w warunkach konkretnego badania stopień dokładności. W ten sposób obok przestrzeni absolutnej i czasu absolutnego Newton zmuszony był wprowadzić pojęcia przestrzeni względnej i czasu względnego. Takie podejście do wyboru układu odniesienia można usprawiedliwić, gdyż przed Newtonem stała alternatywa: albo przyjmie on postulat o istnieniu przestrzeni absolutnej, czas absolutnego i ruchu absolutnego jako podstawy tworzonej przez niego nauki mechaniki i obierze jako ich miarę przestrzeń względną, czas względny i ruch względny, ale też powinien on zrezygnować w ogóle ze stworzenia teorii. Newton wybrał jedynie możliwą w tym czasie drogę. O tym właśnie mówi Einstein oceniając retrospektywnie aksjomatykę Newtona: „Wybacz mi, Newtonie. Znalazłeś jedyną, możliwą w czasach, w jakich żyłeś, drogę dla człowieka o największych twórczych, naukowych zdolnościach i sile myśli. Pojęcia stworzone przez ciebie i dziś dominują w naszym myśleniu fizycznym, jakkolwiek wiemy teraz, że jeśli będziemy dążyć do głębszego pojmowania wzajemnych

<sup>7</sup> A. N. Kryłow: *Sobranie trudow.* T. 7. Moskwa—Leningrad 1936 s. 32.

związków, to zmuszeni będziemy do zamiany tych pojęć przez inne, znajdujące się dalej od sfery bezpośredniego doświadczenia”<sup>8</sup>.

Po wprowadzeniu postulatu o istnieniu nieruchomego układu odniesienia Newton mógł już bardzo precyzyjnie sformułować I prawo mechaniki (zasada bezwładności): „Każde ciało<sup>9</sup> pozostaje w stanie spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym dopóty, dopóki nie zostanie zmuszone przez przyłożone do niego siły do zmiany tego stanu”<sup>10</sup>. Tutaj po raz pierwszy pojawia się pojęcie siły mechanicznej jako miary wzajemnego oddziaływania na siebie dwóch ciał, które powoduje zmianę stanu bezwładności punktu materialnego i w ten sposób wywołuje wystąpienie przyspieszenia. Siła przy tym może być zmierzona np. za pomocą dynamometru, a przyspieszenie określa się jako drugą pochodną promienia — wektora punktu względem czasu ( $r$ ). Uogólniając badania Galileusza — dotyczące swobodnego spadania ciał — Newton wprowadza pojęcie masy grawitacyjnej jako stosunku ciężaru ciała do przyspieszenia swobodnie spadającego ciała ( $m = \frac{P}{g}$ ), przy czym ciężar ciała może być zmierzony za pomocą wagi.

W ten sposób wprowadzone przez Newtona trzy wielkości fizyczne — siłę, przyspieszenie i masę — można określić niezależnie od siebie<sup>11</sup>.

Teraz Newton mógł już sformułować II prawo mechaniki ustalające zależność między tymi trzema wielkościami: „Zmiana ilości ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej poruszającej siły i zachodzi w kierunku prostej, wzdłuż której ta siła działa”<sup>12</sup>.

$$\frac{d}{dt}(\vec{mv}) = \vec{F} \text{ lub } m\vec{v} = \vec{F}$$

Druga zasada nazywana jest słusznie podstawową zasadą dynamiki, ponieważ z jej pomocą może być rozwiązane każde zadanie dynamiki punktu materialnego. Siła występuje tutaj jako prędkość zmiany ilości ruchu. Tak więc zgodnie z pierwszym prawem: jeśli siła jest miarą wzajemnego oddziaływania na siebie dwóch ciał, to można rozpatrywać ją jako miarę przenoszenia ruchu z jednego ciała na drugie<sup>13</sup>. Powstaje przy tym trudność przy określaniu siły jako funkcji czasu, położenia punktu i jego prędkości. Sam Newton w badaniach posługiwał się pojęciami siły ciągu (pchania), sprężystości, oporu środowiska oraz powszechnego ciężenia, m.in. pojęciem siły ciężkości na powierzchni Ziemi. Masa w drugiej zasadzie charakteryzuje bezwładnościowe właściwości materii i według współczesnej terminologii jest to „bezwładna” masa.

Z drugiej strony, biorąc za punkt wyjścia prawo powszechnego cią-

<sup>8</sup> A. Einstein: *Awtobiograficzne zamiętki*. W: Albert Ejnstejn: *Sobranije naucznych trudow*. T. 4. Moskwa 1967 s. 270.

<sup>9</sup> Mamy na myśli punkt materialny.

<sup>10</sup> Cyt. wg. J. Njuton: *Matiematyczne naczala naturalnoj filozofii*. (I. Newton: *Matematyczne zasady filozofii przyrody*) W: A. N. Kryłow: *Sobranije trudow*. T. 7. Moskwa—Leningrad 1936 s. 39.

<sup>11</sup> Na temat krytycznej analizy różnych sformułowań pojęcia masy w *Zasadach Newtona* patrz V. G. Fridman: *Njutonowskoje uczenie o massie w istoriczieskom jego razwitii*. „Priroda” 1936 z. 3. s. 120—132; tenże, *Ob uczeniu Njutona o massie*. „Uspiechi fizycznych nauk” T. 11 z. 3 s. 451—460.

<sup>12</sup> I. Newton, dz. cyt. s. 40.

<sup>13</sup> K. Marks, F. Engels, dz. cyt. s. 595—596. Patrz także A. L. Naumow: *Trieoreticzieskaja miechanika*. Cz. I. Kijew 1957 s. 60.

zenia, zgodnie z którym każde dwa punkty materialne wzajemnie się przyciągają siłami równymi co do wielkości,

$$F=f\left(\frac{m_1m_2}{r^2}\right)$$

masa punktu materialnego charakteryzuje grawitacyjne właściwości materii i według terminologii współczesnej jest masą „grawitacyjną”. Baczne studiowanie *Zasad* pozwala zauważyć, iż Newton dokładnie przedstawiał sobie „bezwładną” i „grawitacyjną” masę i nie dokonywał ich ilościowego zróżnicowania, przekonując się na znanym materiale doświadczalnym o ich zgodności<sup>14</sup>.

Podstawowym prawem dynamiki układu punktów materialnych jest trzecia zasada Newtona: „Działaniu zawsze towarzyszy równe i przeciwieństwo skierowane przeciwdziałanie, lub inaczej — wzajemne oddziaływanie na siebie dwóch ciał są sobie równe i skierowane w przeciwne strony”<sup>15</sup>.

Prócz wymienionych trzech praw Newton uważał za słuszną zasadę niezależności działania sił przy jednoczesnym działaniu na punkt materialny kilku sił, a także regułę równoległoboku sił, którą wyprowadzał z drugiej zasady dynamiki.

Na zakończenie szczególną uwagę należy zwrócić na tzw. zasadę względności mechaniki klasycznej. Zasada ta zawarta jest w piątym wniosku z podstawowych praw Newtona: „Ruch ciał należących do danego układu względem siebie jest taki sam bez względu na to, czy układ znajduje się w stanie spoczynku, czy też porusza się on ruchem jednostajnym prostoliniowym bez obrotu”. Jest to znane prawo względności Galileusza — Newtona, odpowiadające specjalnej teorii względności Einsteina dla ruchu mechanicznego. Zgodnie z tym prawem wszystkie inercjalne układy odniesienia są równoprawne, a nieruchomy system współrzędnych w mechanice Newtona można zamienić jednym z ogromnej ilości inercjalnych układów współrzędnych.

Mniej znanym jest szósty wniosek z podstawowych praw ruchu: „Jeśli kilka ciał poruszających się niezależnie od siebie będzie poddanych działaniu różnych sił przyspieszających przyłożonych wzdłuż prostych równoległych, to ciała te będą kontynuowały ruch względem siebie tak samo jak w przypadku, gdyby wymienione siły na nie nie działały”. Inaczej: „Ruch ciał znajdujących się w jednorodnym polu grawitacji lub układu ciał względem siebie następuje tak samo jak gdyby tego pola grawitacji nie było” lub bardziej ogólnie: „Podczas każdego ogólnego ruchu przyspieszonego układu ciał, który odbywa się z jednakowym dla wszystkich ciał układu przyspieszeniem, wszystkie zjawiska mechaniczne zachodzą tak samo, jak gdyby tego ruchu przyspieszonego nie było”<sup>16</sup>. Ta druga zasada względności Newtona odpowiada ogólnej teorii względności Einsteina dla zjawisk mechanicznych.

Ogólną ocenę aksjomatyki Newtona wyraził Einstein w następujących słowach: „Newton był pierwszym, któremu udało się znaleźć jasno sformułowaną podstawę, od której za pomocą myślenia matematycznego

<sup>14</sup> Patrz np., W. G. Fridman: *Princip ekwiwalentnosti Ejnstejnaja i uczenije Njutona o massie i t'jogotieczii*. „Priroda” 1931 z. 1 s. 3—23.

<sup>15</sup> I. Newton, dz. cyt. s. 41.

<sup>16</sup> Patrz W. G. Fridman: *Princip otnostitielnosti Njutona*. „Trudy Instituta Istorii Jestiestwoznanija i Tiechniki AN SSSR”. T. 17: 1957 s. 425—529.

można było logicznie dojść do ilościowego, zgodnego z doświadczeniem opisu szerokiej sfery zjawisk”<sup>17</sup>. Taką podstawę stanowią właśnie prawa Newtona.

Ważne miejsce zajmuje ustalone przez Newtona ogólne prawo przyrody — prawo powszechnego ciężenia. Uzasadnienie tego prawa i badanie z jego pomocą ruchu ciał niebieskich zawarte jest w trzeciej księdze *Zasad*.

Jak wykazał Newton prawo powszechnego ciężenia wynika z trzech praw Keplera. Były one jednak ustalone empirycznie i w związku z tym mają przybliżony charakter. Dlatego też nie wolno uważać ustalonego w ten sposób prawa powszechnego ciężenia za w pełni uzasadnione. Inaczej rzecz się ma jeśli, odwrotnie, prawo powszechnego ciężenia pozwoli wyjaśnić wszystkie znane z obserwacji ruchy ciał niebieskich. Newton wykazał, że z drugiej zasady dynamiki i prawa powszechnego ciężenia wynikają nie tylko prawa Keplera lecz także perturbacja ruchu planet.

W ten sposób sformułował on zasadniczy problem matematyczny (dla  $n$  ciał): przyjmując planety układu słonecznego za punkty materialne oddziaływujące na siebie zgodnie z prawem powszechnego ciężenia określić ich ruch wokół Słońca. Wybiegając w przyszłość trzeba zaznaczyć, że zadanie to mimo wysiłków wielu wybitnych uczonych, dla  $n > 3$  dla przypadku ogólnego nie zostało rozwiązane do dziś.

Początkowo Newton rozpatrywał najprostszy przypadek  $n = 2$ . Zadanie to polega na określeniu ruchu układu dwóch punktów materialnych, wzajemnie się przyciągających zgodnie z prawem Newtona. Rozwiązanie sprowadza się do określenia centralnego ruchu jednego punktu materialnego i może być znalezione przez rozwiązanie równania. Newton wykazał, iż jeśli pominiemy oddziaływania (zakłócenia) ze strony innych planet, to dla każdego dwóch ciał układu słonecznego słuszne są dwa pierwsze prawa Keplera, a trzecie prawo ma postać

$$\left(1 + \frac{m}{M}\right) \frac{T^2}{a^3} = \text{const},$$

gdzie  $m$ ,  $T$ ,  $a$  — to masa, okres obiegu wokół Słońca i duża półoś orbity jednej z rozpatrywanych planet, a  $M$  — masa Słońca.

Newton wykazał także, że torem ciała niebieskiego może być każda krzywa stożkowa, tj. nie tylko elipsa, jak sądził Kepler, lecz również parabola i hiperbola. Stwierdzenie to pozwoliło mu zbudować teorię ruchu komet.

Newton jest również twórcą pierwszej fundamentalnej teorii ruchu Księżyca. Traktując ruch układu Słońce—Ziemia—Księżyc jako ruch odpowiadający zadaniu trzech ciał, z zastrzeżeniem, że odległość między dwoma z nich Ziemia—Księżyc, jest znikomo mała w porównaniu z dwiema pozostałymi odległościami, Słońce—Ziemia i Słońce—Księżyc, Newton wyjaśnił wszystkie perturbacje Księżyca, które w porównaniu ze znanymi perturbacjami innych ciał niebieskich są najbardziej znaczące. Otrzymany wynik był wspaniałym dowodem na to, że sformułowane prawo powszechnego ciężenia jest prawidłowe. Z drugiej strony Newton udowodnił, że „siła, która utrzymuje Księżyc na orbicie, jeśli odnieść ją do powierzchni Ziemi, staje się równa sile ciężkości u nas.

<sup>17</sup> A. Ejnshztejn: *Izaak Njuton*. W: Albert Ejnshztajn, dz. cyt. T. 6. s. 78.



Dlatego też jest to ta sama siła, którą nazywamy ciężkością lub przyciąganiem". W ten sposób mechanika nieba połączyła się z mechaniką Ziemi. Był to triumf mechaniki Newtona.

Ogromnie ważne znaczenie dla uzasadnienia prawa powszechnego ciężenia posiadała stworzona przez Newtona teoria potencjału. Przyjmując za podstawę to właśnie prawo, Newton określił siły wzajemnego oddziaływania na siebie jednorodnej kuli i punktu materialnego znajdującego się w jej wnętrzu lub poza nią, jednorodnego ciała o symetrii obrotowej, typ elipsoidy i punktu materialnego leżącego na jego osi symetrii a wreszcie oddziaływanie ciała ograniczonego dwoma elipsoidami i punktu znajdującego się w jego wnętrzu. Otrzymane wyniki pozwoliły Newtonowi określić kształt Ziemi na podstawie przypuszczenia, że tworzyła się ona w czasie stygnięcia jednorodnej, jednostajnie obracającej się płynnej masy tworzącej elipsoidę obrotową, o bardzo niewielkim stopniu spłaszczenia. Dla określenia tego spłaszczenia Newton otrzymuje wzór  $\alpha = 1,25 q$ , gdzie  $q$  — stosunek siły dośrodkowej do siły przyciągania punktu materialnego leżącego na równiku planety. Dla Ziemi  $q = 1/288$ , co daje  $\alpha = 1/230$  — rezultat bardzo zbliżony do późniejszych wyliczeń. Znając kształt powierzchni Ziemi Newton stworzył teorię przyływów i odpływów, która jakościowo w stopniu wystarczającym pokrywała się z danymi obserwacyjnymi oraz wyjaśnił zjawisko precesyjnego ruchu punktu wiosennego zrównania dnia z nocą, które znane było już Hipparchowi. Przedstawione przez Newtona wyjaśnienie zjawisk mechaniki nieba i ziemi wykazywało przekonywująco, że prawo ciężenia jest powszechnym prawem przyrody. Późniejsze badania potwierdziły ten wniosek i pozwoliły ściśle określić fizyczny charakter zjawiska powszechnego ciężenia. Nie mógł tego dokonać Newton w XVII w.

Jeśli w pierwszej księdze *Zasad* Newton badał swobodny ruch, odbywający się pod działaniem aktywnych sił, to w drugiej księdze zajął się badaniem ruchu ciał znajdujących się w środowisku, w którym występują siły oporu. Rozpatrując kolejno liniowe, kwadratowe i mieszane prawa oporu Newton udowodnił szereg twierdzeń dotyczących ruchu ciała w cieczy, m.in. ruchu wahadeł w gęstym ośrodku. Newton wykazał, że wielkość siły oporu przy innych jednakowych warunkach jest wprost proporcjonalna do największego pola powierzchni przekroju ciała prostopadłego do kierunku ruchu. W ten sposób powstał problem znalezienia takiego kształtu poruszającego się ciała, przy którym napotyka ono najmniejszy opór. Jest to jak wiadomo — jedno z głównych zadań współczesnej aero- i hydrodynamiki. Newton udowodnił, że prędkość względna poślizgu dwóch warstw cieczy jest proporcjonalna do wielkości tarcia między nimi. Wzór ten służy jako podstawa współczesnej dynamiki lepkiej cieczy (prawo lepkiego tarcia Newtona, ciecz Newtona). Badając wpływ cieczy z naczyń określił on również jego prędkość.

Newton badał poziomy, pionowy i pochyły ruch punktu materialnego przy różnych prawach oporu i — na odwrót — określał opór powietrza wzdłuż zadanego toru punktu materialnego. Badania te miały ogromne znaczenie dla dalszego rozwoju balistyki w pracach uczonych XVIII w.

Newton stworzył podstawy współczesnej teorii podobieństwa mechanicznego, wyprzedzając swą epokę o kilka stuleci. Jest on twórcą opartego na II zasadzie dynamiki fundamentalnego twierdzenia, określającego konieczne i wystarczające warunki dla podobieństwa mechanicznego



dwóch układów. Jest ono cytowane w obecnym kursie mechaniki teoretycznej. Przez około 200 lat nie pamiętano o newtonowskiej teorii podobieństwa mechanicznego. Przypomniano sobie o niej dopiero w połowie XIX w. Sam Newton zastosował ją w czasie badań różnych problemów mechaniki ośrodków ciągłych.

### 3. PONEWTONOWSKA MECHANIKA

Newton był twórcą pierwszego naukowego obrazu świata. Teoria jego opierała się na znanych w wieku XVII licznych faktach doświadczalnych i w stopniu w pełni wówczas zadawalających wyjaśniała procesy mechaniczne zachodzące w przyrodzie. Sukces mechaniki Newtona pod wieloma względami był określony przez infinitezymalne różniczkowe metody analizy. Nie negując korzyści, jakie wyływają z praw całkowych (którymi są np. prawa Keplera) przy poznawaniu przyrody, Newton jako pierwszy ustalił w sposób systematyczny i ściśle naukowy, że prawa różniczkowe (np. druga podstawowa zasada dynamiki) mogą dać pełne przyczynowe wyjaśnienie zjawisk mechanicznych.

Mechanika Newtona i podstawowe zasady, na których się ona opiera, okazały się na tyle poprawne z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia, że w ciągu dwóch stuleci — tj. do końca XIX wieku — służyły jako program wszystkich badań w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych. Współczesna mechanika analityczna z jej różnorodnymi metodami badań — stworzona w ciągu XVIII—XX w. — opiera się całkowicie na prawach Newtona. Mechanika nieba zbudowana na aksjomatyce Newtona, a w szczególności na prawie powszechnego ciężenia dysponuje w chwili obecnej środkami pozwalającymi określić ciał układu słonecznego, stworzyć podstawy astronomii gwiazdnej, mechaniki i techniki kosmicznej, grawimetrii, teorii równowagi obracających się ciekłych mas. Mechanika Newtona stanowi fundament współczesnej mechaniki ośrodków ciągłych, hydro i aerodynamiki, teorii sprężystości, teorii plastyczności, teorii pełzania, teorii wytrzymałości itp.

Bazą dla rozwoju współczesnej mechaniki (również newtonowskiej mechaniki) jest analiza matematyczna, którą zapoczątkowali Newton i Leibniz.

Na początku XX wieku rozpoczął się zasadniczy wnikliwy przegląd krytyczny podstaw mechaniki klasycznej oraz została stworzona współczesna nieklasyczna — relatywistyczna i kwantowa — mechanika. Stwierdzono, że mechanika Newtona zadowalająco wyjaśnia procesy mechaniczne jedynie dla ruchu makrociał, który odbywa się z prędkością znacznie mniejszą od prędkości światła. Będąc granicznym przypadkiem mechaniki nieklasycznej, mechanika Newtona w ramach swej przydatności pozostaje podstawą naukowych dociekań w dziedzinie fizyki i jej licznych zastosowań w technice. Sfera zadań mechaniki rozszerza się przy tym ciągle, a zakres informacji — zawierających się w mechanice Newtona — wzrasta. Należy podkreślić szczególnie wyjątkowe znaczenie mechaniki dla prawidłowego rozwoju materialistycznego i dialektycznego pojmowania przyrody. Mechanika współczesna potwierdza zdecydowanie organiczny związek między materią, ruchem, przestrzenią i czasem — podstawami teorii o przestrzeni i czasie jako powszechnych formach istnienia poruszającej się materii, mechanicznej formy ruchu jako jednej z najprostrzych postaci tego ruchu. W tym sensie abstrakcje

przyjęte przez Newtona pozwalają na wyjaśnienie ograniczenia sfery zastosowania mechaniki Newtona, która została ustalona przez fizykę XX wieku. Jednakże „do chwili obecnej nie udało się — pisze Einstein — zamienić jednolitej koncepcji świata Newtona na inną, tak samo wszechogarniającą jedyną koncepcję”, przy tym „myślenie fizyków współczesnych w znacznym stopniu uwarunkowane jest fundamentalnymi koncepcjami Newtona”<sup>18</sup>.

Na pomniku I. Newtona w Westminster Abbey w Londynie wyryte są — jakże prawdziwe — słowa: „Niechaj śmiertelni cieszą się z tego, że istniała taka ozdoba rodu ludzkiego”.

Tłumaczyła: Anna Grudniewska  
Weryfikował: Krzysztof Szymborski

Б. Н. Фрадлин, А. Т. Григорьян, В. С. Сотников

#### ROLE NYUTONA W STANOWIENIU I ROZWIJANIU WSPÓŁCZESNEGO ESTESTWOZNAWIA

Авторы представляют достижения историков физики, прежде всего советских, которые занимались научным наследием Ньютона, особенно интересуются его влиянием на создание современной науки. С одной стороны они доказывают, что концепции Ньютона, хотя оригинальные и новаторские, являются продолжением линии развития европейской математики и физики, начинающийся Коперником и Кеплером, Галилеем и Хугенсом. Авторы, анализируя труды Ньютона, прежде всего его *Математические начала натуральной философии* (*Philosophiæ naturalis principia mathematica*) с точки зрения современной науки, отмечают, что труд Ньютона был необходимым элементом в развитии всего современного естествознания.

B. N. Fradlin, A. T. Grigorian, W. S. Sotnikow

#### LA MÉCANIQUE DE NEWTON ET LES SCIENCES NATURELLES CONTEMPORAINES

Les auteurs présentent l'acquis des historiens de la physique, surtout soviétiques, qui, en s'occupant du bagage scientifique de Newton, s'intéressent spécialement à son influence sur la création de la pensée scientifique moderne. D'une part, ils constatent que les conceptions de Newton, bien qu'elles soient originales et novatrices, suivent la direction du développement de la mathématique et physique européennes, descendante de Copernic et Kepler, Galilée et Huygens. En analysant des ouvrages de Newton du point de vue de la science contemporaine, et surtout ses *Principes mathématiques de philosophie naturelle* (*Philosophiæ naturalis principia mathematica*), les auteurs constatent que l'oeuvre de Newton était un des plus importants éléments dans le développement de toutes les sciences naturelles contemporaines.

<sup>18</sup> A. Ejszstejn: *Izaak Newton*, s. 80.

