

Grigorjan, Aszot

Podstawowe idee mechaniki Heinricha Hertza

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 12/3, 545-555

1967

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.



PODSTAWOWE IDEE MECHANIKI HEINRICHA HERTZA *

W XVII w. dzięki pracom Galileusza i Newtona zostały ustalone zasadnicze podstawy klasycznej mechaniki.

W wiekach XVIII i XIX Euler, d'Alembert, Lagrange, Hamilton, Jacobi i Ostrogradski, wychodząc z tych podstaw, zbudowali wspólną konstrukcję analitycznej mechaniki i zaoferowali ją w mocne, matematyczne metody.

Wydawało się, że mechanika — ten raj nauk matematycznych, jak ją nazwał Leonardo da Vinci — osiągnęła wysoki stopień doskonałości i zupełności. Zupełność ta była jednak tylko pozorna, gdyż w podstawowych pojęciach i prawach mechaniki zostały zawarte rozliczne trudności, które tylko chwilowo były odsunięte, ale bynajmniej nie rozwiązane, głębokim rozkwitem analitycznej mechaniki.

Jeszcze przed gruntowną rewizją fizycznej treści podstawowych zasad mechaniki klasycznej, dokonaną przez teorię względności i mechanikę kwantową, pojawiło się wiele prac, w których od nowa starano się uściślić te zasady. Te usiłowania związane były przede wszystkim z tym, że jednocześnie z fizyką ciał dyskretnych powstała fizyka ciągłego pola, wymagająca krytycznego przeglądu podstaw klasycznej mechaniki.

Takim usiłowaniem była w szczególności znakomita książka Heinricha Hertza *Zasady mechaniki wyłożone w nowym ujęciu*¹, która spełniła ważną rolę nie tylko w rozwoju klasycznej mechaniki, ale i w historycznym przygotowaniu teorii względności Einsteina.

FILOZOFICZNE PODSTAWY MECHANIKI HERTZA

Przedśmiertne dzieło Hertza *Zasady mechaniki* nie miało na celu rozwiązania praktycznych zadań czy opracowania metod mechaniki. Celem dzieła było pokazanie, jak ogólne twierdzenia mechaniki i cały jej matematyczny aparat mogą być konsekwentnie rozwinięte w oparciu o jedną zasadę.

W świetle marksistowsko-leninowskiej filozofii i postępów nowoczesnej fizyki jest jasne, że rozwiązanie tego problemu przez Hertza miało mechanistyczny charakter. Jednakże u podstaw tego rozwiązania leżała jawna, materialistyczna tendencja do rozpatrywania wszystkich zjawisk przyrody jako przejawów ruchu materii. Ograniczenie

* Artykuł nadesłany z Moskwy przez prof. A. T. Grigorjana, znanego czytelnikom „Kwartalnika” dzięki artykułowi *Z osiągnięć i zadań historii nauki i techniki w ZSRR* (nr 3—4/1964), tłumaczył doc. Stanisław Szpikowski.

¹ *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. Leipzig 1894. Dalej cytuję według edycji dzieł zebranych: Heinrich Hertz, *Gesammelte Werke*. T. 111. Leipzig 1910.

materializmu Hertza do ram mechanistycznego światopoglądu i pewien wpływ rozlicznych odmian kantyzmu były przyczyną jego niekonsekwencji i wahań między kantyzmem a materializmem.

Wykorzystując te wahania i poszczególne odchylenia od konsekwentnego, materialistycznego światopoglądu, idealisci różnych odcieni usiłowali, przekręcając fakty, pokazać, że koncepcje filozoficzne leżące u podstaw *Zasad mechaniki* Hertza posiadają kantowski albo machistowski charakter. W *Materializmie i empiriokrytycyzmie* Lenin krytykuje te manewry idealistów i broni materialistycznych podstaw *Zasad mechaniki* znakomitego niemieckiego fizyka. „H. Cohen — pisze Lenin — usiłuje zwerbować sobie sojusznika w osobie znakomitego fizyka Henryka Hertza. Hertz jest nasz, jest kantystą, tu i ówdzie zakłada on coś *a priori!* Hertz jest nasz, jest machistą — oponuje machista Kleinpeter — albowiem prześwieca u niego »ten sam, co u Macha, subiektywistyczny pogląd na istotę naszych pojęć«. Ten zabawny spór o to, czyj jest Hertz, stanowi doskonałą próbkę tego, jak filozofowie idealistyczni podchwytyją wszelki, choćby nawet najdrobniejszy błąd, najdrobniejszą niejasność w wypowiedziach znakomych przyrodników w celu usprawiedliwienia swojej odświeżonej z lekka obrony fideizmu. W rzeczywistości jednak filozoficzny wstęp H. Hertza do jego *Mechaniki* ujawnia zwykle stanowisko przyrodnika zastraszonego przez profesorskie wrzaski przeciw «metafizyczności» materializmu, ale w żaden sposób nie mogącego przewyciężyć instynktownego przekonania o realności świata zewnętrznego. Przyznaje to sam Kleinpeter, z jednej strony bombardujący masę czytelników na wskroś kłamliwymi broszurkami popularnymi o teorii poznania przyrodoznawstwa, w których Mach figuruje obok Hertza — a z drugiej strony przyznający w fachowych artykułach filozoficznych, że «Hertz w przeciwieństwie do Macha i Pearsona wciąż jeszcze trzyma się przesądu, jakoby całą fizykę można było objaśnić mechanicznie», że zachowuje on pojęcie rzeczy w sobie i «zwykłe stanowisko fizyków», że «wciąż jeszcze uznaje istnienie świata w sobie» itd.”²

Podkreślając niekonsekwencje Hertza, Lenin jednocześnie stanowczo wydziela podstawową materialistyczną linię mechaniki Hertza, przeciwstawiając ją kantowskiemu aprioryzmowi i machistowskiemu subiektywizmowi. Lenin pisze: „Rey również nie zna absolutnie dialektyki. Lecz i on zmuszony jest stwierdzić, że wśród fizyków najnowszego pokolenia nie brak kontynuatorów tradycji «mechanizmu» (tzn. materializmu). Drogą «mechanizmu» — stwierdza — idą nie tylko Kirchhoff, Hertz, Boltzmann, Maxwell, Helmholtz, lord Kelvin”³. I dalej: „[...] Hertzowi nie przychodzi nawet do głowy możliwość zapatrywania się na energię w sposób niematerialistyczny. Dla filozofów energetyka stała się powodem do ucieczki od materializmu do idealizmu. Przyrodnik zapatruje się na energetykę jako na dogodny sposób wyłożenia praw ruchu materialnego w takim okresie, kiedy fizycy — jeżeli można tak się wyrazić — odeszli już od atomu, a nie doszli jeszcze do elektronu”⁴.

We wstępie do *Mechaniki* Hertz wysuwa jako najbliższy i najważniejszy cel naukowego poznania przewidywanie pożytecznych przyszłych

² W. I. Lenin, *Dziela*. T. 14. Warszawa 1949, ss. 324—325.

³ Tamże, s. 302.

⁴ Tamże, s. 326.

odkryć i organizowanie, ze względu na nie, naszych praktycznych i teoretycznych wysiłków w teraźniejszości.

W procesie poznania, według Hertza, wychodzi się z nagromadzonego już doświadczenia. Metoda zaś wyprowadzania (przewidywania) przyszłości z przeszłości polega na tym, że z nagromadzonego bogatego materiału doświadczalnego sprawdzonego przez praktykę kształtują się „wewnętrzne obrazy” (tj. pojęcia) zewnętrznych przedmiotów. „Obrazy” te powinny spełniać następujące podstawowe wymaganie: logicznie konieczne następstwa tych „obrazów” czy pojęć powinny być „obrazami” naturalnie koniecznych następstw własności zewnętrznych przedmiotów. Aby to wymaganie mogło być spełnione, powinna oczywiście istnieć pewna odpowiedniość między przyrodą a naszym myśleniem. Praktyka pokazuje, że taka odpowiedniość istnieje w rzeczywistości. Odpowiedniość, u której podwalin leżą wspólne prawa myślenia i świata zewnętrznego, wyjaśnia, dlaczego logicznie konieczne następstwa poprawnych pojęć naukowych niezawodnie urzeczywistniają się niezależnie od człowieka lub przy jego współdziałaniu, skoro tylko pojawiają się wszystkie konieczne warunki.

Te podstawowe, gnoseologiczne twierdzenia Hertza wyrażają jego materialistyczny pogląd na cel i metodę naukowego poznania przyrody. Jako przyrodoznawca Hertz przekonany był o obiektywności przyrody. Poznawszy obiektywne prawa rozwoju zewnętrznych przedmiotów, można świadomie przyspieszyć nastąpienie przyszłości, tj. wykorzystać obiektywne prawa przyrody w interesie człowieka.

KSIĄŻKA HERTZA ZASADY MECHANIKI I JEJ MIEJSCE W ROZWOJU MECHANIKI

Osobne miejsce wśród wariacyjnych zasad mechaniki, z których powinny wynikać całki lub funkcje posiadające ekstrema dla rzeczywistego ruchu układu, zajmuje zasada najmniejszego przymusu Gaussa. Zasada ta ma charakter ogólnego prawa i może być wyrażona jednym z najprostszych analitycznych sformułowań, według którego poszukiwanie równania ruchu dowolnego układu, holonomicznego czy nieholonomicznego, sprowadza się do znajdowania minimum funkcji drugiego stopnia.

Ustalenie tej zasady, opublikowanej przez Gaussa w 1829 r., związane jest, na co sam Gauss zwraca uwagę, z jego pracami nad metodą najmniejszych kwadratów.

W krótkiej notatce⁵ Gauss ze zdumiewającą jasnością i lakonicznością nie tylko naświetlił zagadnienia związane ze sformułowaną zasadą, ale także wyraził wiele interesujące uwagi metodologiczne i dokonał krótkiego przeglądu istniejących wówczas zasad mechaniki. Rozpatrując ich znaczenie, pisał: „Jeśli dla postępu w rozwoju nauki i w badaniach indywidualnych wydaje się bardziej poręczne przechodzenie od rzeczy łatwych do trudniejszych, od praw prostych do bardziej złożonych, to, z drugiej strony, umysł nasz, doszedłszy do odpowiednio szerokiego spojrzenia, potrzebuje odwrotnej drogi, w której światło cała statyka przedstawia się mu jako szczególny przypadek dynamiki. Także

⁵ K. F. Gauss, *Ob odnom nowom obszczem principie miechaniki*. Aneks do rosyjskiego wydania dzieła: J. L. Lagrange, *Analiticeszkaja miechanika*. T. 2. Moskwa—Leningrad 1950, ss. 411—414.

wspomniany przez nas geometra (mowa o Lagrange'u — przyp. autora), ocenił, jak się wydaje, tę odwrotną drogę, przedstawiając jako zaletę zasady najmniejszego działania możliwość ujęcia jednocześnie praw ruchu i praw równowagi, jeżeli rozpatrywać ją w charakterze zasady największej czy najmniejszej siły żywej. Należy jednak przyznać, że myśl ta okazuje się bardziej pomysłowa, niż prawdziwa, gdyż w tych dwóch wypadkach minimum ma miejsce przy całkowicie różnych warunkach"⁶. Taki punkt widzenia Gaussa doprowadza go w sposób naturalny do sformułowania ogólnej zasady mechaniki — zasady najmniejszego przy-
musu.

Ścisłe sformułowanie zasady Gaussa brzmi: dla materialnego układu z więzami bez tarcia, znajdującego się pod działaniem dowolnych sił, rzeczywisty ruch odróżnia się od wszystkich pozostałych ruchów z tymi samymi więzami tym, że dla niego reakcja więzów (a także i ciśnienie na więzy) osiąga najmniejszą wielkość, jeśli nie brać pod uwagę ruchu swobodnego.

Głębokie rozwinięcie idei Gaussa, w związku z ideą Helmholtza o kinetycznym wyjaśnieniu wszystkich rodzajów energii przy pomocy „ukrytych ruchów”, podał Heinrich Hertz w latach dziewięćdziesiątych XIX w., opracowując zasadę najprostszej drogi. Wartość poznawcza tej zasady polega na tym, że sprowadza ona zadania mechaniki do problemu linii geodezyjnych, w sposób zasadniczy geometryzując klasyczną dynamikę.

We wstępie do *Zasad mechaniki* Hertz charakteryzuje istniejące poglądy na procesy mechaniczne. Opisuje, jak do połowy XIX w. uważano, że pełne wyjaśnienie zjawisk przyrody uzyskuje się przez sprowadzenie tych zjawisk do niezliczonych, działających na odległość sił między atomami materii. Ale w końcu XIX w., pod wpływem szybko rosnącego znaczenia zasady zachowania energii, fizyka zaczęła faworyzować rozważania „zjawisk należących do niej jako przemian jednej formy energii w drugą i uważać za ostateczny cel sprowadzenie tych zjawisk do praw przemiany energii”⁷. Tak więc w mechanice pojęcie siły ustępuje pojęciu energii. Jednakże, jeśli obraz mechaniki oparty na pojęciu siły został ustalony, „to o drugim obrazie powiedzieć tego nie można”⁸. Zdaniem Herta, wychodzi się tutaj z czterech niezależnych, podstawowych pojęć, a związki między nimi powinny stanowić treść mechaniki. Dwa z tych pojęć, według Herta, posiadają matematyczny charakter — to przestrzeń i czas; dwa pozostałe — masa i energia — wprowadzone jako dwie fizyczne wielkości, obdarzone są własnościami niezniszczalności. Z analizy wyników doświadczenia wywodzi się wniosek, że energię można rozdzielić na dwie części: jedna zależy tylko od prędkości zmian uogólnionych współrzędnych, a druga od samych współrzędnych. Są tu związane ze sobą pojęcia przestrzeni, masy i energii. Aby związać wszystkie cztery pojęcia, a w związku z tym i bieg czasu, posłużyć się można jedną z całkowitych zasad zwykłej mechaniki używającej pojęcia energii. „Jest praktycznie obojętne, którą zasadę wykorzystamy; można posłużyć się zasadą Hamiltona, do czego mamy pełne prawo”⁹.

⁶ Tamże, s. 412.

⁷ H. Hertz, *op. cit.*, s. 28.

⁸ Tamże.

⁹ Tamże, s. 30.

W jakim stosunku obraz ten pozostaje do obrazu klasycznej mechaniki? Przede wszystkim ujmuje on znacznie więcej cech ruchu niż klasyczny, oparty na pojęciu siły.

Podstawowe pojęcia tego obrazu mogą być związane zasadą Hamiltona, której znaczenie widzi Hertz w tym, że różnica między energią kinetyczną a potencjalną powinna być możliwie mała w ciągu całego czasu ruchu.

Chociaż ta zasada nie ma prostej formy, ujmuje ona w jednym jedynym wyrażeniu w sposób jednoznaczny wszystkie istotne zamiany energii z jednego rodzaju na drugi, a tym samym pozwala przewidzieć przyszły przebieg zjawisk fizycznych (przynajmniej odwracalnych). Jednakże zasada Hamiltona w zwykłej postaci nie obejmuje ruchu układów z nieholonomicznymi więzami.

Hertz wysuwa trzeci system zasad mechaniki, który odróżnia się od pierwszych dwóch głównie tym, że próbuje oprzeć się tylko na trzech podstawowych pojęciach: czasie, przestrzeni i masie. Hertz powołuje się przy tym na Kirchhoffa¹⁰, który w swoim kursie mechaniki jeszcze wcześniej zauważył, że te trzy niezależne od siebie pojęcia są konieczne, ale także i dostateczne do rozwoju mechaniki. Zamiast siły i energii, które Hertz usunął z podstawowych pojęć, wprowadził on pojęcia ukrytych więzów, ukrytych mas, ukrytych ruchów.

Podstawową zasadę, wiążącą fundamentalne pojęcia przestrzeni, czasu i masy, wyraża Hertz w postaci będącej ścisłą analogią do zwykłego prawa bezwładności: „Każdy rzeczywisty ruch niezależnego układu materialnego polega na tym, że układ porusza się ze stałą prędkością po jednym ze swoich najprostszych torów”¹¹.

Takie ujęcie obejmuje zasadę bezwładności i jednocześnie zasadę najmniejszego przymusu w jedno stwierdzenie.

Prostym torem nazywa Hertz taki tor, którego wszystkie elementy mają jednakowe kierunki, a krzywym — taki, w którym kierunki elementów ulegają zmianie. Podobnie jak w geometrii, tak i tutaj wprowadza się definicję krzywizny jako prędkości zmiany kierunku przy zmianie położenia. Dla układu, którego ruch jest ograniczony więzami, ze wszystkich możliwych torów wyróżniają się te, które posiadają szczególnie proste własności. To są przede wszystkim te tory, które we wszystkich miejscach są zakrzywione tak znikomo, jak to tylko możliwe. Te właśnie tory nazywa Hertz najprostszymi torami układu. Następnie idą tory najkrótsze. Pojęcia torów najprostszych i najkrótszych zachodzą na siebie przy pewnych warunkach. „Ten związek — mówi Hertz — będzie w pełni zrozumiały, jeśli weźmiemy pod uwagę teorię powierzchni [...]. Przeliczenie i usystematyzowanie wszystkich występujących tu stosunków odnosi się do geometrii układu punktów [...]. Ponieważ układ n punktów wykazuje $3n$ różnorodnych ruchów, które jednakże mogą być zmniejszone przez więzy układu do dowolnej liczby, to w wyniku powstaje wiele analogii z geometrią wielowymiarowej przestrzeni, przy czym te analogie zachodzą po części tak daleko, że te same sytuacje i określenia mogą występować tak tu, jak i tam”¹².

Sens takiej metody wykładu, według Hertza, polega przede wszystkim na tym, że pozwala ona na usunięcie sztucznego rozdziału mecha-

¹⁰ G. Kirchhoff, *Vorlesungen über theoretische Physik*. T. 1: *Mechanik*. Leipzig 1872, s. 1.

¹¹ H. Hertz, *op. cit.*, s. 33.

¹² Tamże, s. 36.

niki punktu od mechaniki układu. Oprócz tego taka zgeometryzowana metoda „jasno uwypukla ten fakt, że metoda wykładu Hamiltona posiada korzenie nie w specjalnych podstawach mechaniki, jak to zwykle się uważa, ale że jest ona, właściwie mówiąc, czysto geometryczną metodą, która może być uzasadniona i rozwinięta zupełnie niezależnie od mechaniki, nie znajdując się z nią w bardziej ścisłym związku niż dowolnie inny, wykorzystujący mechanikę, geometryczny system”¹³. Znalazło to wyraz w analogiach, które zostały wyjawione przy konfrontacji idei Hamiltona w mechanice i w geometrii wielowymiarowej przestrzeni.

Hertz dowodzi, że dla holonomicznych układów każdy najprostszy tor jest linią geodezyjną i odwrotnie, przy czym torem geodezyjnym układu materialnego nazywa tor, którego długość między dwoma dowolnymi położeniami różni się jedynie nieskończenie małą wielkością wyższego rzędu od długości dowolnie innego, nieskończenie bliskiego toru między tymi położeniami (dla układów nieholonomicznych zależność ta nie zachodzi).

Najkrótszy tor między dwoma położeniami jest torem geodezyjnym, ale tor geodezyjny nie jest konieczne najkrótszy, chociaż zawsze jest najkrótszy między dowolnymi, dostatecznie bliskimi, sąsiednimi położeniami, znajdującymi się w skończonej odległości jeden od drugiego.

Koniecznym i dostatecznym warunkiem analitycznym linii geodezyjnej jest, aby całka między dowolnymi dwoma położeniami toru miała wariację równą zeru, przy czym wariacje powinny zniknąć na granicy całkowania a wariacje współrzędnych i ich różniczki powinny spełniać równania-warunki układu.

Znikanie wariacji całki nie jest, jednakże, dostatecznym warunkiem tego, aby droga między dwoma skończonymi położeniami była najkrótsza; do tego konieczne jest, aby druga wariacja była dodatnia. Dla dostatecznie bliskich położen sąsiednich warunek ten spełniony jest zawsze.

Już z dotychczasowych rozważań widoczne są dwie właściwości mechaniki Herta związane z tym, że w wyjściowych założeniach ogranicza się on do trzech, a nie czterech (jak to miało miejsce u Newtona i Hamiltona) pojęć. Po pierwsze, brak pojęcia siły (czy energii) wśród podstawowych pojęć powoduje zwiększenie trudności wykładu i nie daje prostego sposobu przy rozwiązywaniu konkretnych zadań. Po drugie, szczególnie ważna rola przypada obrazom geometrycznym. O ile pierwsza właściwość ograniczała praktyczne znaczenie mechaniki Herta, o tyle druga była nadzwyczaj ważnym etapem na drodze syntezy analitycznego i geometrycznego aspektu mechaniki.

Następnie Hertz udowadnia twierdzenie, w którym wyrażony został, w istocie rzeczy, głęboki związek jego mechaniki z geometryczną optyką i twierdzeniem Beltrami-Lipschitza. Twierdzenie Herta głosi: jeżeli wystawić we wszystkich punktach pewnej powierzchni linie najmniejszych dróg (a zatem, w wypadku układu holonomicznego — linie geodezyjne) prostopadłe do tej powierzchni i odłożyć na tych liniach równe odcinki, to otrzymamy nową powierzchnię, która będzie przecinać te najkrótsze drogi także prostopadłe.

W ten sposób w samym rdzeniu mechaniki Herta zostały umieszczone pojęcia geometryczne, które wiążą ją z ogólną teorią powierzchni. Przestrzenne formy ruchu mechanicznego materialnych ciał grają zatem u Herta podstawową rolę.

¹³ Tamże, ss. 38—39.

W sposób naturalny nasuwa się zagadnienie związku między zasadą Hertza a zasadą najmniejszego działania Eulera-Lagrange'a w jej klasycznej formie i w formie, którą nadał jej Jacobi, oraz zasadą Hamiltona.

Hertz poświęcił temu zagadnieniu kilka rozdziałów książki. Ponieważ w systemie holonomicznym najprostszą drogą między dwoma, dostatecznie bliskimi, położeniami jest jednocześnie drogą najkrótszą, przeto rzeczywista droga układu między tymi położeniami jest krótsza, niż jakakolwiek inna możliwa droga między nimi. To twierdzenie natychmiast prowadzi do zasady najmniejszego działania w ujęciu Jacobiego. Zgodnie ze zwykłym rozumieniem mechaniki — zaznacza Hertz — przedstawione twierdzenie jest specjalnym wypadkiem twierdzenia Jacobiego, a mianowicie wypadkiem, w którym nie ma sił. Jednakże „według naszego zdania, na odwrót, założenia pełnego twierdzenia Jacobiego należy uważać za węższe, a twierdzenie Jacobiego — za specjalną formę wyrażenia naszego twierdzenia”¹⁴. Taki punkt widzenia Hertza oparty jest na tym, że Jacobi dla wykazania zasady najmniejszego działania musiał wykorzystać prawo zachowania energii, aby z jego pomocą wyrugować czas, zasada zaś Hertza zupełnie nie zależy od tego prawa. Oprócz tego formuła Jacobiego, w odróżnieniu od formuły Hertza, jest słuszna tylko dla układów holonomicznych.

Łatwo jest dalej wykazać, idąc za Hertzem, że rzeczywisty ruch swobodnego układu holonomicznego przeprowadza ten układ z pewnego początkowego położenia w dostatecznie bliskie, końcowe położenie w krótszym czasie niż jakikolwiek inny dowolny ruch z jednakowymi, stałymi wartościami energii, gdyż w takim wypadku energia i prędkość pozostają jednakowe, a czas przejścia jest proporcjonalny do długości drogi. W tym wypadku cała z energii po czasie równa jest iloczynowi danej stałej wartości energii przez czas, w jakim zachodzi zmiana położenia. W taki sposób otrzymuje się zasadę najmniejszego działania Eulera-Lagrange'a. Stosunek tej zasady do zasady Hertza jest taki sam, jak zasady najmniejszego działania w sformułowaniu Jacobiego.

Analogiczne rozumowanie może być przeprowadzone i dla zasady Hamiltona.

Na koniec rozpatruje Hertz zagadnienie, w jakim stopniu wnioski teleologiczne są naprawdę związane z tymi zasadami. Według niego, taki związek nie wynika w sposób konieczny z rozważania przyszłych celów ruchu. Co więcej, wyobrażenie o takim teleologizmie jest nawet niedopuszczalne. Teza, że „takie pojmowanie tych zasad nie jest konieczne, wynika z tego, że własności rzeczywistego ruchu, ujawniające jak gdyby celowość, w rzeczy samej są przez nas ustanowione, jako konieczne następstwa prawa (to jest zasady Hertza — przyp. autora), w którym nie zawierają się żadne przesłanki do przewidywania przyszłości”¹⁵. Niedopuszczalność takich wyobrażeń wynika z tego, że „jeśliby przyroda rzeczywiście miała na celu: osiągnąć najkrótsze drogi, najmniejsze straty energii, najkrótsze czasy, to niemożliwością byłoby zrozumieć, jak mogą istnieć układy, przy których — choć osiągnięcie tego celu jest możliwe — przyroda doznaje niepowodzeń”¹⁶.

W ten sposób Hertz z materialistycznej pozycji całkowicie odrzuca

¹⁴ Tamże, s. 175.

¹⁵ Tamże, s. 178.

¹⁶ Tamże, s. 196.

jakiegokolwiek teleologiczne domniemanie, związane bez należytego uzasadnienia z rozpatrywanymi zasadami.

Badając dalej charakterystyczne i główne funkcje Hamiltona, Hertz zaznacza, że w nich, według jego zdania, „zawiera się tylko lekko zawalowany prosty sens najprostszego odległości [...]”¹⁷.

Zasada Hertza byłaby po prostu specjalnym przypadkiem zasady Gaussa, gdyby nie zamiana sił, działających na układ, na więzi tego układu z innymi układami, wzajemnie oddziaływanymi. W ten sposób Hertz jak gdyby badał tylko swobodne układy. Przy geometrycznym zaś sposobie podejścia Hertz musiał uważać wszystkie masy za wielokrotność pewnej umownej masy jednostkowej.

Sommerfeld słusznie zauważył, że „*Mechanika* Hertza wyłożona została w wysokim stopniu logicznie i zajmująco, ale z powodu zawilosci wynikłej z zamiany sił na więzy okazała się mało płodna”¹⁸.

POJĘCIE SIŁY W MECHANICE HERTZA

Mechanika Hertza często nazywa się „mechaniką bez sił”. Pojęcie siły, chociaż wprowadzone przez Hertza, nie jest pojęciem podstawowym i wyjściowym jego mechaniki. W tym wyraża się przede wszystkim wyraźna różnica między mechaniką Hertza a zwykłym jej wykładem. Złożoność pojęcia siły w klasycznej mechanice, absolutyzacja jego przez wielu skrajnych newtonistów oraz nęcąca możliwość wyjaśnienia siły ruchami pewnych (choćby i ukrytych) mas skłoniły licznych fizyków drugiej połowy XIX w. do podjęcia próby przebadania miejsca i sensu pojęcia siły w systemie mechaniki.

Najważniejszym impulsem w tym względzie był rozwój fizyki pola, w szczególności elektromagnetycznego.

Klasyczne pojęcie siły, które wynikało z badania bezpośredniego kontaktu (zderzenia) dwóch mas, stopniowo zaczęło być rozpatrywane nie jako wyraz oddziaływania ciał w procesie ruchu, a jako coś, co nie zależy od ruchu materii. Fizyka pola natomiast ze względu na sam swój charakter poddawała możliwość rozpatrywania sił jako pojęć wtórnych, wyrażających oddziaływanie środowiska (eteru) na ciała ciężkie.

W tym też kierunku szło wprowadzone przez Helmholtza pojęcie ukrytych mas i ukrytych ruchów w odniesieniu do specyficznego, nie mieszczącego się w ramach zwykłej mechaniki, charakteru procesów cieplnych. Dlatego konsekwentnie wydawało się podjęcie próby wyrzucenia się w mechanice złożonego pojęcia siły jako pojęcia wyjściowego, a położenie u podstaw oddziaływań między ukrytymi a obserwowanymi masami. Zasadniczo koncepcja ta była postępową, gdyż dążyła do wyrażenia wszystkich podstawowych pojęć mechaniki poprzez ruchy mas, które uważano za punkt wyjściowy rozważań. Jednakże, wobec historycznej ograniczoności fizyki XIX w., w koncepcji tej charakter i sposób zachowania się ukrytych obiektów rozpatrywano jako czysto mechaniczny zespół oddziaływań. Oprócz tego ukryte masy pozostawały ukrytymi, niepoznawalnymi elementami tego obrazu, co nieuchronnie prowadziło do agnostycznych konkluzji.

Hertz nie był pierwszym uczonym, opracowującym w drugiej połowie XIX w. „mechanikę bez sił”. W najbardziej wyraźnej formie pró-

¹⁷ Tamże.

¹⁸ A. Sommerfeld, *Mechanika*. Leningrad 1947, s. 298.

bował przed nim zrobić to samo Kirchhoff. Kirchhoff nie odrzucał zupełnie pojęcia siły, a jedynie odmawiał mu pierwotności. „Mechanika, według naszego zdania — mówił — powinna czerpać określanie pojęć, z którymi ma do czynienia z jednego tylko ruchu. Stąd wynika, że po wprowadzeniu układu sił w miejsce prostych sił mechanika nie jest w stanie podać dokładnego określenia pojęcia siły”¹⁹. Jednakże wszechstronnie rozwinął i logicznie wyłożył ten punkt widzenia dopiero Hertz.

Drogę w kierunku wykluczenia pojęcia siły wskazuje sama mechanika Galileusza-Newtona. Wraz bowiem z właściwymi siłami, będącymi przyczynami zmiany stanu ruchu, mechanika ta wprowadziła drugi rodzaj sił, a mianowicie siły warunkujące więzy układu i ograniczające stopnie swobody jego ruchu. Kierunek tych ostatnich sił określony jest czysto geometrycznymi warunkami, a wielkość ich, ściśle mówiąc — nie jest znana.

Mechanika elementarna w zwykłym wykładzie miesza te dwa rodzaje sił, rozpatrując siły więzów jako właściwe siły o wielkości początkowo nie znanej. Siły ograniczające ruch sprowadzone są zatem do sił właściwych. Jednakże już w mechanice analitycznej różnica pomiędzy tymi siłami występuje bardzo wyraźnie, wyraźniej niż w mechanice elementarnej. W równaniach analitycznej mechaniki siły więzów ruchu mają zupełnie inną postać niż siły właściwe, będąc określone tylko geometrycznymi warunkami ruchu.

Hertz postawił sobie zadanie odwrotne do tego, jakie w taki czy inny sposób rozwiązuje elementarna mechanika: czy nie należy wszystkich właściwych sił sprowadzić do sił ograniczających ruch? Być może, wszystkie w ogóle obserwowane zmiany prędkości, których nie wymaga jakoby punkt widzenia więzów geometrycznych, spowodowane są, w rzeczy samej, nie siłami, ale jakimiś jeszcze nie zbadanymi geometrycznymi więzami. Sama siła jest tylko sposobem opisu tych więzów, dającym się stosować w pewnych warunkach, ale bynajmniej nie koniecznym do jednoznacznego, jasnego i naukowego badania świata. Pojęcie siły jako przyczyny opóźnień czy przyspieszeń zupełnie nie występuje w mechanice Hertza. Siła, z punktu widzenia Hertza, jest tylko miarą przenoszenia czy wzajemnej wymiany ruchu między „bezpośrednio sprzężonymi” układami. Zagadkowa energia potencjalna zachowawczych układów zwykłej mechaniki okazuje się zwykłą energią kinetyczną ukrytych układów materialnych. U podstaw oddziaływania występującego między odległymi ciałami (np. planetami) leży materialny proces, przebiegający w ukrytych materialnych układach wiążących zwykle, tzn. obserwowane, układy. Mechanika Hertza daje więc bardzo jasny, wewnętrznie niesprzeczny, matematycznie umotywowany obraz mechaniki. Jedynym brakiem tego obrazu okazuje się jego ... „iluzoryczność”. Hertz wykazał tylko, że ukryte czyli adiabatyczno-cykliczne układy, dopełniające zwykłe układy do stanu swobodnego, obdarzone są wszystkimi własnościami zwykłych, zachowawczych układów. Ale z tego jeszcze nie wynika, że realne, zachowawcze układy okażą się takimi, jakimi są one w mechanice Hertza.

Nosicielem ukrytych układów cyklicznych, według Hertza, jest światowy eter, a ponieważ ukrytym układom przypisuje Hertz ogólnie przyjęte własności mechanicznych ruchów, przeto i eter ma w mechanice Hertza charakter czysto mechanicznego układu: cząstkom eteru przypo-

¹⁹ Zob. przypis 10.

rządkowane zostały własności zwykłej materii bezwładnej, zwykle mechaniczne ruchy i kinetyczna energia, ruch cząstek eteru podporządkowany został prawom klasycznej mechaniki itd.

Główna wada mechaniki Hertza nie leży w jej konkretnych mechanicznych konstrukcjach, ale w uniwersalizacji rozwiniętej w tej mechanice interpretacji sił. Przekonanie Hertza o tym, że pozorne działanie sił na odległość sprowadza się wyłącznie do ruchów mechanicznych w wypełniającym przestrzeń środowisku, którego najmniejsze cząstki połączone są stałymi więzami, zostało obalone przez późniejszy rozwój fizyki, a przede wszystkim przez mechanikę Einsteina. Mechaniczna teoria eteru, na której oparty był system Hertza, okazała się bezpodstawna.

Jednakże niektóre ważne koncepcje teorii względności i mechaniki Hertza mają wiele wspólnego. W teorii względności ruch planet wokół Słońca wyjaśnia się bez wprowadzania działających sił, a przy pomocy pojęcia bezwładności jako podstawowej własności ciał. Planety poruszają się, analogicznie jak w mechanice Hertza, po najkrótszych torach w przestrzeni Riemana. Pod tym względem rozbieżność między mechaniką Hertza a teorią względności polega tylko na tym, że w tej ostatniej materialne, poruszające się ciała określają metrykę czasoprzestrzeni, jej geometrię, podczas gdy u Hertza taki ruch określony jest kinematycznymi warunkami narzuconymi przez ukryte masy układu.

Bez względu więc na całe historyczne ograniczenie związane z mechanistycznym obrazem świata, mechanika Hertza odegrała doniosłą rolę w rozwoju jednego z podstawowych zagadnień fizyki — czasowo-przestrzennej formy ruchu materii.

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ МЕХАНИКИ ГЕНРИХА ГЕРЦА

Генрик Герц широко известен во всем мире как один из крупнейших ученых конца XIX века. Острый и смелый ум, широкое физико-математическое образование, глубокое понимание основных проблем современного ему естествознания и виртуозное владение техникой эксперимента позволили Герцу получить научные результаты первостепенного значения. Он обогатил физическую науку своими фундаментальными исследованиями в области электродинамики. Наряду с исследованиями по физике Герц также разрабатывал ряд актуальных вопросов гидродинамики, теории упругости, механики.

В последний период своей жизни он написал свою знаменитую книгу *Принципы механики, изложенные в новой связи*, вышедшую в свет уже после его смерти. Эта книга Герца является одним из самых глубоких и своеобразных исследований фундаментальных идей классической механики в мировой научной литературе. Исключительная логическая стройность и завершенность, блестящее обобщение механики Ньютона, глубокая геометризация основ динамики характеризуют эту предсмертную работу Г. Герца. Важно отметить, что о Герце неоднократно упоминал В. И. Ленин в своей книге *Материализм и эмпириокритицизм*, отнеся его к физикам-материалистам. Герцу, — писал Ленин, — даже и не приходит в голову возможность нематериалистического взгляда на энергию.

Статья посвящена работам Герца в области механики и его философским взглядам.

PRINCIPAL IDEAS OF HEINRICH HERTZ'S MECHANICS

Heinrich Hertz is widely known the world over as one of the greatest scientists at the close of the nineteenth century. The sharp and bold mind, the broad education in physics and mathematics, the profound comprehension of basic

problems of contemporary natural science and the masterly command of the technique of experiment enabled Hertz to get scientific achievements of greatest importance. He enriched physical science with his fundamental research in the field of electrodynamics. Apart from investigations in the sphere of physics, he was also elaborating a number of important problems of hydrodynamics, of the theory of elasticity and of mechanics.

In the last years of his life, he wrote his famous book *Principles of Mechanics, Expounded in their New Connection* which did not appear till he was dead. This book of Hertz is one of the most profound and the most original works on fundamental ideas of classical mechanics in the world scientific literature. It is characterized by its exceptionally logical harmoniousness and elaborateness, by the excellent generalization of Newton's mechanics and by the profound geometrization of the fundamentals of dynamics. It is important to emphasize that Lenin in his book *Materialism and Empiriocriticism* repeatedly referred to Hertz, counting him among the physicists-materialists. The possibility of a non-materialist view on energy does even not come into his head, writes Lenin.

The paper deals with Hertz's work in the field of mechanics and with his philosophical views.