

# Wstęp

## I

Każdemu, kto zna historię nauki nowożytnej, wyrażenie „cudowny rok” natychmiast przypomina łacińskie określenie *annus mirabilis*, jakim od dawna nazywa się rok 1666. W roku tym Isaac Newton stworzył podstawy teorii fizycznych i matematycznych, które zrewolucjonizowały siedemnastowieczną naukę. Wydaje się, że jest rzeczą jak najbardziej właściwą określić w ten sam sposób rok 1905, w którym Albert Einstein nie tylko ożywił część spuścizny Newtona, lecz również położył fundamenty pod rewolucję w nauce XX wieku.

Wyrażenie to zostało jednak ukute bez związku z Newtonem. John Dryden, znany poeta okresu restauracji, napisał długi poemat *Annus mirabilis: The Year of Wonders, 1666* (*Annus mirabilis: rok cudów, 1666*), w którym opiewał zwycięstwo angielskiej floty nad Holendrami oraz przetrwanie Londynu po Wielkim Pożarze. Określenia Drydena zaczęto następnie używać dla podkreślenia naukowych odkryć Newtona, dokonanych w tym samym roku – stworzył on wtedy podstawy swojej wersji rachunku różniczkowego, teorii barw oraz prawa powszechnego ciężenia<sup>[1]</sup>. Oto jak sam Newton (znacznie później) podsumował swoje osiągnięcia z tego okresu:

Na początku 1665 roku odkryłem metodę przybliżania szeregów oraz regułę redukowania dwumianu dowolnej potęgi do szeregu [dwumian Newtona]. Tego samego roku w maju odkryłem metodę stycznych [...], w listopa-

dzie znałem już metodę fluksji [rachunek różniczkowy], w styczniu zaś następnego roku miałem już teorię barw, a w maju znalazłem odwrotną metodę fluksji [rachunek całkowity]. W tym samym roku zacząłem myśleć, że grawitacja sięga do Księżyca, i (odkrywszy, jak obliczyć siłę, z jaką kula krążąca wewnątrz sfery naciska na powierzchnię sfery [siła odśrodkowa]) z prawa Keplera, według którego okresy planet są proporcjonalne do ich odległości od środka orbity w potęgze trzech drugich [trzecie prawo Keplera], wydedukowałem, iż siły utrzymujące planety na ich orbitach muszą być odwrotnie proporcjonalne do kwadratu ich odległości od środka, wokół którego krążą. I porównawszy siłę konieczną do utrzymania Księżyca na orbicie z siłą ciężenia działającą na powierzchni Ziemi, stwierdziłem, że zgadzają się zupełnie dobrze. To wszystko działo się podczas dwóch lat zarazy 1665 i 1666. W tym czasie byłem w najlepszym okresie życia do dokonywania odkryć i interesowałem się matematyką oraz filozofią bardziej niż kiedykolwiek później.<sup>[2]</sup>

W bliższych nam czasach określenie *annus mirabilis* było stosowane w odniesieniu do badań Alberta Einsteina z 1905 roku. Podkreślano w ten sposób podobieństwo między przełomowymi latami życia twórcy fizyki klasycznej i jego dwudziestowiecznego następcy<sup>[3]</sup>. Czego dokonał Einstein w swym cudownym roku? Tak się szczęśliwie składa, że dysponujemy jego własnym streszczeniem artykułów z 1905 roku, sporządzonym w tym właśnie czasie. O pierwszych czterech pracach Einstein tak pisał w liście do bliskiego przyjaciela:

Obiecuję ci cztery artykuły [...], pierwszy z nich będę mógł ci wkrótce przysłać, gdyż niedługo dostanę darmowe odbitki. Praca dotyczy promieniowania oraz energetycznych właściwości światła i jest bardzo rewolucyjna, o czym sam się przekonasz [...]. Drugi artykuł jest poświęcony wyznaczaniu prawdziwych rozmiarów atomów na podstawie obserwacji dyfuzji i lepkości rzadkich roztworów obojętnych substancji. W trzeciej dowodzę, na podstawie molekularnej [kinetycznej] teorii ciepła, że ciała o średnicy około 1/1000 mm, zawieszane w cieczy, muszą wykonywać obserwowalne, przy-

padkowe ruchy, spowodowane ruchami cieplnymi; w istocie, fizjolodzy zaobserwowali już ruch niewielkich, nieożywionych ciał zawieszonych w cieczy, które nazywają molekularnymi ruchami Browna. Czwarta praca istnieje dopiero w postaci brudnopisu, dotyczy elektrodynamiki ciał w ruchu i polega na zmodyfikowaniu teorii przestrzeni i czasu; jej czysto kinematyczna część z pewnością cię zainteresuje.<sup>[4]</sup>

Piątą pracę Einstein przedstawił tak:

Dostrzegłem jeszcze jedną konsekwencję pracy o elektrodynamice. Zasada względności, w połączeniu z równaniami Maxwella, wymaga, by masa była bezpośrednią miarą energii zawartej w ciele; światło również ma masę. Zaważalne zmniejszenie się masy powinno wystąpić w przypadku radu. Dowód jest zabawny i uwodzicielski, ale na ile to rozumiem, Bóg może się z niego śmiać i wodzić mnie za nos.<sup>[5]</sup>

Analogie są oczywiste: obaj uczeni mieli dwadzieścia parę lat, w życiu obu trudno się dopatrzeć zapowiedzi nagłego rozkwitu geniuszu, a jednak obaj w krótkim czasie zrewolucjonizowali naukę swoich czasów. Wprawdzie Newton w 1666 roku miał dwadzieścia cztery lata, a Einstein w 1905 dwadzieścia sześć, ale nie należy oczekiwać, by takie analogie były zupełnie ścisłe.

Wprawdzie podobieństwa są niewątpliwe, ale – przy bliższym zbadaniu – dostrzegamy także różnice w działalności obu uczonych w okresie ich *anni mirabiles*, i to bardziej istotne niż niewielka niezgodność wieku; jak również w bezpośrednich konsekwencjach ich prac. Przede wszystkim sytuacja życiowa każdego z nich była zupełnie inna. Einstein skończył politechnikę w Zurychu (Eidgenössische Technische Hochschule, ETH) w 1900 roku, ale nie otrzymał żadnej posady uniwersyteckiej. W 1905 roku był już żonaty i wychowywał rocznego syna, miał też poważne obowiązki związane z pracą na pełnym etacie w biurze patentowym. Newton nigdy się nie ożenił (spekuluje się nawet, że zmarł jako prawiczek). W 1666 roku miał

już od pewnego czasu stopień bakałarza, ale dziś nazwalibyśmy go doktorantem. Prawdę mówiąc, został tymczasowo zwolniony nawet ze swoich skromnych obowiązków akademickich, gdyż w okresie zarazy Uniwersytet w Cambridge został zamknięty.

Następnie warto odnotować różnice w ich pozycji w nauce. Do 1666 roku Newton niczego nie opublikował, natomiast Einstein miał już za sobą pięć przyzwoitych, choć niezbyt rewelacyjnych prac, wydrukowanych w prestiżowym czasopiśmie „Annalen der Physik”. Tak więc w 1666 roku geniusz Newtona rozkwitł i rozpoczął on niezależne badania, natomiast w 1905 roku dojrzały talent Einsteina ujawnił się w postaci twórczej eksplozji, która zaowocowała epokowymi pracami, opublikowanymi w „Annalen” jeszcze w tym samym roku lub w ciągu następnego. Wyniki badań Newtona z 1666 roku zostały ogłoszone drukiem znacznie później: „Pierwsze kwiaty geniuszu Newtona rozwinęły się na osobności, obserwowane w milczeniu tylko przez niego samego w latach 1664–1666, jego *anni mirabiles*”<sup>[6]</sup>. Przyczyny cechującego Newtona oczywistego braku potrzeby uznania – a w istocie jego zdecydowanej niechęci do dzielenia się swymi odkryciami z innymi, czego dowodem jest to, że wszystkie jego ważne dzieła przyjaciele musieli mu wydierać z rąk – już od dawna są przedmiotem psychologicznych, a nawet psychopatologicznych spekulacji.

Minęło kilka lat – które bardzo się dłużyły młodemu człowiekowi pragnącemu uznania (zob. s. 114) – zanim osiągnięcia Einsteina zostały w pełni docenione, ale proces ten rozpoczął się niemal natychmiast, jeszcze w 1905 roku. W 1909 roku Einstein został już powołany na katedrę fizyki teoretycznej, stworzoną specjalnie dla niego na Uniwersytecie Zuryskim, i otrzymał zaproszenie do wygłoszenia wykładu na dorocznym zjeździe uczonych z krajów niemieckojęzycznych.

Tak więc 1905 rok był również początkiem kariery Einsteina jako najwybitniejszego fizyka swoich czasów, natomiast Newton z własnej woli pozostawał zupełnie nieznanym jeszcze długo po 1666 roku. Dopiero w 1669 ro-

ku, gdy pod naciskiem przyjaciół zgodził się na puszczenie w bardzo ograniczony obieg matematycznego rękopisu, w którym zdradził pewne fragmenty odkrytego rachunku różniczkowego, „anonimowość Newtona zaczęła znikać”<sup>[7]</sup>.

Kolejna uderzająca różnica między tymi dwoma uczonymi dotyczyła skali ich talentów matematycznych. Newton od samego początku przejawiał niezwykle, twórcze zdolności matematyczne. „Mniej więcej w ciągu roku [1664] bez czyjejkolwiek pomocy opanował wszystkie osiągnięcia siedemnastowiecznej analizy i wkroczył na nowe obszary [...]. Młody człowiek, o którym nikt nie słyszał, nie mający jeszcze dwudziestu czterech lat, nie korzystający z formalnego wsparcia, stał się czołowym matematykiem Europy”<sup>[8]</sup>.

Newton potrafił zatem stworzyć matematykę konieczną do rozwinięcia jego pomysłów dotyczących mechaniki i grawitacji, natomiast Einstein, zdolny uczeń i praktyk, nigdy nie był naprawdę twórczym matematykiem. Wspominając swoje studenckie lata, Einstein pisał:

To, że do pewnego stopnia lekceważyłem matematykę, wiązało się nie tylko z tym, iż bardziej interesowałem się naukami przyrodniczymi niż matematyką, ale także z następującym osobliwym doświadczeniem. Wiedziałem, że matematyka dzieli się na liczne specjalności, z których każdej można byłoby poświęcić całe to krótkie życie, które jest nam dane. Czułem się więc jak osioł Buridana, nie umiejący wybrać jednej konkretnej wiązki siana. Najwidoczniej brakowało mi intuicji matematycznej, aby odróżnić to, co fundamentalne i rzeczywiście istotne, od mniej lub bardziej zbytecznej erudycji. Ponadto zainteresowanie badaniem natury było u mnie niewątpliwie silniejsze, a jako młody student nie uświadamiałem sobie, że dostęp do głębszej znajomości podstawowych praw fizyki wymaga najsubtelniejszych metod matematycznych. Stało się to dla mnie jasne stopniowo, po latach niezależnej pracy naukowej.<sup>[9]</sup>

Na szczęście w pracach z 1905 roku Einstein potrzebował tylko takiej matematyki, jakiej nauczył się w szkole. Mimo to ostateczną, najbardziej wła-

ściwą postać matematyczną nadali szczególnej teorii względności dopiero Henri Poincaré, Hermann Minkowski i Arnold Sommerfeld.

Gdy w toku pracy nad ogólną teorią względności okazało się konieczne zastosowanie nowych metod matematycznych, Einstein musiał zadowolić się rachunkiem tensorowym, w postaci, jaką podali Gregorio Ricci-Curbastro i Tullio Levi-Civita; z wersją tą zaznajomił go Marcel Grossmann, przyjaciel i kolega ze studiów. Odwoływała się ona do geometrii Riemanna, w której wówczas brakowało pojęć przeniesienia równoległego i koneksji afinicznej; bardzo ułatwiłyby one pracę Einsteina. Nie potrafił on jednak stworzyć niezbędnych koncepcji matematycznych; zadanie to wykonali Levi-Civita i Hermann Weyl dopiero po sformułowaniu ogólnej teorii względności.

Wróćmy do Newtona: w pewnym sensie miał on rację, gdy wahał się, czy opublikować swoje wyniki w 1666 roku. „Pod koniec 1666 roku Newton nie dysponował jeszcze rezultatami, dzięki którym zyskał nieśmiertelną sławę – ani w matematyce, ani w mechanice, ani w optyce. We wszystkich tych dziedzinach stworzył podstawy, w niektórych bardziej rozległe niż w innych. Mógł na nich spokojnie budować, ale pod koniec tego roku niczego jeszcze nie zamknął, nie był nawet bliski zamknięcia”<sup>[10]</sup>.

Wyniki badań Newtona nad metodą fluksji (jak określał rachunek różniczkowy), nawet jeśli praca nie została ukończona, zasługiwały na opublikowanie i stanowiłyby wielką pomoc dla współczesnych matematyków, gdyby uzyskali do nich dostęp. Znacznie mniej zaawansowane były jego badania fizyczne. Zamknięcie uniwersytetu przerwało jego eksperymenty dotyczące teorii barw; po powrocie do Cambridge w 1667 Newton jeszcze przez dziesięć lat prowadził badania optyczne. Mimo to wolno uznać, że bardziej otwarty uczyony mógłby opublikować wstępny zarys teorii barw już w 1666 roku. Natomiast w przypadku grawitacji fizyk Leon Rosenfeld, po starannym rozważeniu wszystkich informacji o pracach Newtona z tej dziedziny w 1666 roku, stwierdził, że „dla każdego uczonego jest jasne, iż

na tym etapie Newton miał przed sobą nową, podniecającą perspektywę, ale nie dysponował wówczas niczym, co nadawałoby się do publikacji”<sup>[11]</sup>. Nie ulega również wątpliwości, że w rozważaniach z dziedziny mechaniki nie doszedł on jeszcze do jasnego sformułowania pojęcia siły – stanowiącego kluczowy element newtonowskiej mechaniki. Newton podał „nową definicję siły, traktującą ciało fizyczne jak pasywny przedmiot, na który działają zewnętrzne siły, nie zaś aktywne źródło sił, działających na inne ciała”. Ale: „Po ponad 20 latach cierpliwych, choć przerywanych rozważań ostatecznie wyprowadził z tej początkowej myśli całą dynamikę”<sup>[12]</sup>.

Podsumowując, możemy powiedzieć, że w 1666 roku Newton był jeszcze studentem i mógł swobodnie dysponować czasem przeznaczonym na pracę; jego geniusz matematyczny już w pełni dojrzał, natomiast badania fizyczne, choć genialne, znajdowały się dopiero w fazie początkowej. Natomiast Einstein w 1905 roku miał już rodzinę i pracował zawodowo, co zmuszało go do rozmyślania o fizyce wyłącznie w nielicznych chwilach wolnych od innych obowiązków. Mimo to już w pełni opanował fizykę teoretyczną i był gotów zademonstrować światu swoje mistrzostwo w tej dziedzinie.

## II

Wielki spadek pozostawiony przez Newtona to jego wkład w rozwój, jak to wówczas mówiono, filozofii mechanistycznej, czyli mechanicznej wizji świata. Ucieleśnieniem tej filozofii w fizyce był tak zwany program sił centralnych. Fizycy zakładali, że materia jest zbudowana z korpuskuł różnych rodzajów, określanych terminem „molekuły”. Dowolne dwie molekuły miały na siebie oddziaływać różnymi siłami: grawitacyjnymi, elektrycznymi, magnetycznymi, kapilarnymi i tak dalej. Przyjmowano, że siły te – przyciągające lub odpychające – są centralne, czyli działają wzdłuż linii łączącej dwie molekuły, i że spełniają odpowiednie prawa, takie jak prawo odwrotnej proporcjonalności do kwadratu odległości między molekułami, które obowiązuje w przypadku siły ciężenia i siły elektrostatycznej. Zakładano, że

wszystkie zjawiska fizyczne można wyjaśnić, stosując trzy zasady dynamiki Newtona do molekuł, oddziałujących odpowiednimi siłami centralnymi.

Program sił centralnych doznał wstrząsu mniej więcej w połowie XIX wieku, kiedy się okazało, że w celu wyjaśnienia oddziaływań elektromagnetycznych między poruszającymi się molekułami z ładunkiem należy przyjąć, iż istnieją siły zależne od prędkości i przyspieszenia cząsteczek. W końcu program ten otrzymał *coup de grâce*, gdy większość fizyków zaakceptowała wprowadzone przez Faradaya i Maxwella pojęcie pola elektromagnetycznego. Zgodnie z polowym punktem widzenia dwie naładowane cząstki nie oddziałują bezpośrednio: każda z nich wytwarza w swoim otoczeniu pole i to ono działa na drugą cząstkę. Początkowo pola elektryczne i magnetyczne uważano za pewne stany ośrodka mechanicznego – elektrycznego eteru. Zakładano, że właściwości tych stanów uda się ostatecznie wyjaśnić za pomocą odpowiedniego mechanicznego modelu eteru. Tymczasowo przyjmowano, że równania Maxwella opisują możliwe stany pól elektrycznego oraz magnetycznego w całej przestrzeni i że określają ich zmiany w czasie. Jednakże pod koniec XIX wieku większość uczonych zarzuciła próby znalezienia mechanicznego modelu eteru i przyjęła jawnie dualistyczną koncepcję Hendrika Antoona Lorentza: uznano, że pola elektryczne i magnetyczne to fundamentalne stany eteru, którymi rządzą równania Maxwella i które nie wymagają żadnych dodatkowych wyjaśnień. Cząstki naładowane, które Lorentz nazywał elektronami (inni wciąż mówili o molekułach lub jonach), miały się poruszać zgodnie z zasadami dynamiki Newtona pod wpływem działających na nie sił, w tym również sił elektrycznych i magnetycznych, wywieranych przez eter. Z drugiej strony przyczyną powstania tych pól była właśnie obecność i ruch w eterze cząstek z ładunkiem.

Określiłem koncepcję Lorentza jako dualistyczną, ponieważ przyjął on mechaniczną teorię elektronową, ale uważał eter, wraz z polami elektrycznym i magnetycznym, za dodatkowy, niezależny element fizycznej rzeczy-



wistości, którego nie można wyjaśnić w sposób mechaniczny. Dla uczonych wychowanych na doktrynie jedności natury, popularnej zwłaszcza w Niemczech od czasów Alexandra von Humboldta, taki dualizm był co najmniej nieprzyjemny, by nie powiedzieć – nie do zaakceptowania.

I rzeczywiście, już wkrótce Wilhelm Wien i inni fizycy zwrócili uwagę na odmienną możliwość: być może to pole elektromagnetyczne jest wielkością fundamentalną i zachowanie materii zależy wyłącznie od jej własności elektromagnetycznych. Zamiast tłumaczyć zachowanie pól elektromagnetycznych za pomocą mechanicznego modelu eteru, zwolennicy nowej koncepcji mieli nadzieję, że uda się im wyjaśnić mechaniczne cechy materii, odwołując się do właściwości pól elektromagnetycznych. Nawet Lorentz flirtował z tą koncepcją, choć nigdy jej całkowicie nie zaakceptował.

Pojawienie się elektrodynamiki Maxwella nie spowodowało natychmiastowego końca mechanicznej wizji świata. Przeciwnie, ostatnie trzydzieści lat XIX wieku przyniosło wiele wspaniałych osiągnięć programu mechanicznego. Dzięki zastosowaniu metod statystycznych do dużych zbiorów cząsteczek (miarą wielkości takich zbiorów jest liczba Avogadra  $6,02 \times 10^{23}$  molekuł na mol dowolnej substancji) Maxwell i Ludwig Boltzmann zdołali podać mechaniczne podstawy zasad termodynamiki i zapoczątkowali program wyjaśniania makroskopowych własności materii w ramach kinetyczno-molekularnych teorii gazów, cieczy i ciał stałych.

### III

A zatem na studiach Einstein musiał opanować zarówno tradycyjny pogląd mechanistyczny, zwłaszcza w zastosowaniu do atomistycznej teorii materii, jak i nowe, polowe podejście Maxwella do zjawisk elektromagnetycznych, zwłaszcza w sformułowaniu Lorentza. Wiedział również o pewnej liczbie nowych zjawisk, takich jak promieniowanie ciała doskonale czarnego i efekt fotoelektryczny, które uparcie nie poddawały się wszyst-

kim próbom dopasowania ich do mechanicznej lub elektromagnetycznej wizji rzeczywistości – czy też dowolnej kombinacji tych koncepcji. Patrząc z tej perspektywy, możemy podzielić epokowe prace Einsteina z 1905 roku na trzy kategorie. Pierwsze dwie zawierają rozwinięcia i modyfikacje dwóch teorii fizycznych, które zdominowały fizykę końca XIX wieku: mechaniki klasycznej i elektrodynamiki Maxwella.

1. Dwie prace o rozmiarach molekuł i ruchach Browna, czyli pierwszy i drugi artykuł w tej książce, miały na celu rozwinięcie i udoskonalenie klasycznego, mechanicznego podejścia, zwłaszcza w odniesieniu do wynikających z niego wniosków kinetyczno-molekularnych.
2. Dwa artykuły o szczególnej teorii względności, czyli prace trzecia i czwarta, miały na celu rozwinięcie i udoskonalenie teorii Maxwella przez wprowadzenie zmian w podstawach mechaniki klasycznej, tak aby usunąć sprzeczność między mechaniką i elektrodynamiką.

W tych czterech pracach Einstein wykazał swoje mistrzowskie opanowanie – jak dziś mówimy – fizyki klasycznej, pokazał, że jest dziedzicem i kontynuatorem tradycji, którą zapoczątkowali Galileusz i Newton, a którą doprowadzili do końca Faraday, Maxwell i Boltzmann, by wymienić tylko kilku najwybitniejszych jej przedstawicieli. Chociaż z punktu widzenia ówczesnych uczonych prace Einsteina wydawały się niezwykle rewolucyjne, jego nowe koncepcje, dotyczące natury czasu, przestrzeni i ruchu, konieczne do sformułowania szczególnej teorii względności, dziś uważamy za punkt kulminacyjny tradycji klasycznej.

3. Pracę o hipotezie kwantu światła, czyli piątą w tym tomie, Einstein jako jedyną uważał za naprawdę rewolucyjną. W pierwszym liście, cytowanym na stronie 16, napisał, że „praca dotyczy promieniowania oraz energetycznych właściwości światła i jest bardzo rewolucyjna”<sup>[13]</sup>. Einstein wykazał w niej, że zarówno mechanika klasyczna, jak i elektrodynamika Maxwella mają ograniczone możliwości wyjaśnienia właściwości światła.

Następnie w celu wytłumaczenia nowych zjawisk, takich jak efekt fotoelektryczny, nie poddających się wyjaśnieniu w ramach fizyki klasycznej, wprowadził hipotezę o ziarnistej strukturze światła. Tu i w następnych pracach Einstein – mistrz tradycji klasycznej – okazał się jej najsurowszym i najbardziej konsekwentnym krytykiem oraz pionierem poszukiwań nowych, jednolitych podstaw całej fizyki.

## IV

Prace przedstawione w tym tomie zostały uszeregowane, biorąc pod uwagę przedstawiony wyżej podział na trzy kategorie, czyli w przybliżeniu zgodnie z ich oddaleniem od fizyki klasycznej. Czytelnik jednak nie musi ich czytać w takiej kolejności. Można równie dobrze zapoznać się z nimi w porządku chronologicznym lub też przeskoczyć od razu do prac o szczególnej teorii względności i teorii kwantów – albo po prostu dokonać wyboru w zgodzie z własnymi zainteresowaniami lub kapryсами.

W głównej części niniejszej książki czytelnicy znajdą dokładne omówienie każdej z pięciu prac, zaczerpnięte z esejów wstępnych, opublikowanych w tomie 2 *The Collected Papers of Albert Einstein*. Teraz chciałbym dokonać przeglądu prac Einsteina z okresu do 1905 roku włącznie w każdej z tych trzech kategorii.

### 1. Prace mające na celu rozwinięcie i udoskonalenie mechaniki klasycznej

Jak wynika z niedawno odkrytych listów, już na przełomie wieków Einstein zajmował się problemami, których zgłębianie zmusiło go do wyjścia poza granice fizyki klasycznej. Niemniej wszystkie prace, które opublikował przed 1905 rokiem, dotyczą zagadnień mieszczących się w ramach mechaniki newtonowskiej i jej zastosowań w teorii kinetyczno-molekularnej materii. W swoich pierwszych dwóch artykułach, opublikowanych w latach 1901 i 1902, Einstein próbował wyjaśnić pewne pozornie zupełnie

odmienne zjawiska, które zachodzą w cieczach i roztworach, na podstawie jednej, prostej hipotezy sił centralnych, działających między molekułami, i ich zależności od składu chemicznego. Einstein miał nadzieję, że praca ta przyczyni się do rozstrzygnięcia statusu starego (a obecnie odrzuconego) przypuszczenia o wspólnym źródle sił molekularnych i grawitacji. Artykuł ten wskazuje również, że Einstein od samego początku miał ambicję przyczynienia się do teoretycznej unifikacji wszystkich, pozornie odmiennych zjawisk fizycznych. W 1901 roku pisał w liście: „To wspaniałe uczucie, gdy zdajemy sobie sprawę z jedności złożonych zjawisk, które, kiedy postrzegamy je bezpośrednio zmysłami, wydają się całkowicie niezależne”<sup>[14]</sup>. Znacznie później, gdy zastanawiał się nad swoim życiem, stwierdził: „Prawdziwym celem moich badań naukowych zawsze było uproszczenie i unifikacja fizyki teoretycznej”<sup>[15]</sup>.

Jak wspomniałem na stronie 23, kolejne wielkie zadanie dziewiętnastowiecznej fizyki miało polegać na wykazaniu, że doskonale potwierdzone empirycznie zasady termodynamiki można wyjaśnić teoretycznie na podstawie atomistycznego modelu materii. Pionierami takich badań byli Maxwell i Boltzmann, Einstein zaś uważał, że kontynuuje i udoskonala ich teorie.

W swoich pierwszych dwóch pracach Einstein wielokrotnie korzystał z argumentów termodynamicznych; w istocie, termodynamika odgrywa ważną rolę we wszystkich jego wczesnych pracach. W drugim artykule Einstein sformułował pytanie na temat związku między termodynamicznym i kinetyczno-molekularnym podejściem do zjawisk cieplnych. Odpowiedział na nie w następnej pracy. Był to pierwszy z trzech artykułów, opublikowanych w latach 1902–1904, poświęcony atomistycznym podstawom termodynamiki. Miał za cel sformułowanie minimalnych założeń atomistycznych na temat układów mechanicznych, potrzebnych do wyprowadzenia podstawowych pojęć i zasad termodynamiki. Einstein uważał drugą zasadę termodynamiki za „konieczny wniosek wynikający z mechanistycznego światopoglądu”<sup>[16]</sup> zapewne dlatego, że wyprowadził ją z tak ogół-

nych założeń. Obliczył również średni kwadrat fluktuacji energii układu w równowadze termodynamicznej. Mimo mechanicznego pochodzenia tego wzoru występują w nim wyłącznie wielkości termodynamiczne. Einstein śmiało zastosował swój wzór do układu, którego z pewnością nie można uznać za mechaniczny: do promieniowania ciała doskonale czarnego (była to jego pierwsza opublikowana wzmianka na ten temat), czyli promieniowania elektromagnetycznego pozostającego w równowadze termodynamicznej z materią. Promieniowanie ciała doskonale czarnego było jedynym układem, co do którego Einstein miał pewność, że fluktuacje energii są fizycznie znaczące w obserwowalnej skali. Jego obliczenia zgadzały się ze znanymi właściwościami promieniowania. Rozumowanie Einsteina sugeruje, że już wówczas myślał o tym, by rozpatrywać promieniowanie ciała doskonale czarnego tak, jakby był to układ mechaniczny – co stanowiło podstawę jego „bardzo rewolucyjnej” hipotezy o kwantowej naturze światła z 1905 roku.

W pierwszej pracy z tego tomu, czyli w swojej rozprawie doktorskiej, Einstein wykorzystał metody klasycznej hydrodynamiki i teorii dyfuzji, aby pokazać, że mierząc lepkość cieczy w zależności od stężenia substancji rozpuszczonej, można wyznaczyć liczbę Avogadra (zob. s. 23) oraz rozmiary molekuł tej substancji. Druga praca, poświęcona ruchom Browna, również stanowi rozszerzenie zakresu stosowalności pojęć mechaniki klasycznej. Einstein zwrócił uwagę, że jeżeli kinetyczno-molekularna teoria ciepła jest poprawna, to prawa termodynamiki nie mogą być zawsze spełnione, ponieważ fluktuacje muszą powodować mikroskopowe, lecz obserwowalne naruszenia drugiej zasady termodynamiki – dostrzegamy je, gdy masa drobin zawieszonych w cieczy jest na tyle duża, iż jej ruch daje się zaobserwować pod mikroskopem. Einstein udowodnił, że taka jest właśnie przyczyna dobrze znanych ruchów Browna mikroskopijnych drobin zawieszonych w cieczy. Uważał, że z pracy tej wynikają ograniczenia zakresu stosowalności termodynamiki.

## **2. Prace mające na celu rozwinięcie i udoskonalenie elektrodynamiki Maxwella oraz zmodyfikowanie mechaniki klasycznej, tak aby nie pozostawała z nią w sprzeczności**

Na długo przed 1905 rokiem Einstein najwyraźniej znał rezultaty wielu eksperymentów, z których wynikało, że obowiązującą w mechanice zasadę względności – czyli równoważność wszystkich inercjalnych układów odniesienia przy opisie dowolnych zjawisk mechanicznych – należy rozciągnąć również na zjawiska optyczne i elektromagnetyczne. Takie rozszerzenie zasady względności było jednak sprzeczne z teorią elektronową Lorentza, którą Einstein uważał za najlepsze istniejące sformułowanie elektrodynamiki. Lorentz bowiem przypisywał wyróżnioną rolę jednemu szczególnemu układowi inercjalnemu: układowi spoczynkowemu eteru (zob. s. 22).

W pracach trzeciej i czwartej w niniejszej książce Einstein zdołał usunąć tę sprzeczność dzięki krytycznej analizie kinematycznych podstaw fizyki, czyli teorii czasu i przestrzeni, która stanowi fundament mechaniki, elektrodynamiki i w istocie każdej innej teorii dynamicznej (choć wówczas znano tylko te dwie). Po głębokim, krytycznym rozważeniu pojęcia równoczesności odległych zdarzeń Einstein zrozumiał, że zasadę względności można pogodzić z równaniami Maxwella, odrzucając newtonowski czas absolutny i wprowadzając nową wielkość absolutną, taką samą we wszystkich układach inercjalnych – prędkość światła. To powoduje, że reguły Galileusza i Newtona przekształcania współrzędnych przestrzennych i czasowej przy przejściu od jednego układu inercjalnego do drugiego muszą zostać zastąpione regułami, zwanymi obecnie przekształceniem Lorentza<sup>[17]</sup>. Ponieważ te przekształcenia mają charakter kinematyczny, dowolna akceptowalna teoria fizyczna musi być niezmiennicza ze względu na grupę takich przekształceń. Równania Maxwella, odpowiednio zinterpretowane po wyeliminowaniu pojęcia eteru, spełniają ten wymóg, natomiast równania ruchu Newtona wymagają zmiany.

Praca Einsteina o szczególnej teorii względności jest przykładem jego zdolności do odnajdywania drogi pośród paradoksów i sprzeczności. Zastosował on jedną teorię – elektrodynamikę Maxwella – aby znaleźć ograniczenia zakresu ważności drugiej – mechaniki newtonowskiej – mimo że zdawał sobie już wówczas sprawę z ograniczonej ważności tej pierwszej (zob. s. 30–32).

Jedno z najważniejszych osiągnięć podejścia Einsteina polegało na tym, że kinematyka relatywistyczna jest niezależna od teorii, które doprowadziły do jej sformułowania. Innym uczonym trudno było to zrozumieć. Einstein podał spójne kinematyczne podstawy nie tylko mechaniki i elektrodynamiki, lecz także (odkładając na bok problem grawitacji) wszystkich nowych teorii fizycznych, które mogłyby pojawić się w przyszłości. W rzeczy samej, choć od tamtego czasu minął już wiek, rozwój fizyki nie wstrząsnął jej podstawami kinematycznymi. Według terminologii, którą Einstein posługiwał się w późniejszych latach, stworzył on teorię zasad, nie zaś teorię konstruktywną<sup>[18]</sup>. Natomiast wówczas w taki sposób ujął to rozróżnienie: „Z pewnością nie mamy tu do czynienia [...] z »systemem«, w którym pojedyncze prawa są zawarte *implicite* i można je znaleźć wyłącznie za pomocą wnioskowania dedukcyjnego, lecz jedynie z zasadą, która (podobnie jak druga zasada termodynamiki) pozwala zredukować pewne prawa do innych”<sup>[19]</sup>. Zasady takiej teorii, której najlepszym przykładem jest termodynamika, to ogólne wnioski wyciągnięte z obszernych danych empirycznych; zasady te streszczają i uogólniają wyniki obserwacji, ale nie próbują ich wyjaśnić. Natomiast teorie konstruktywne, takie jak kinetyczna teoria gazów, tłumaczą zjawiska, odwołując się do pewnych bytów hipotetycznych, takich jak atomy w ruchu, wprowadzonych właśnie w celu wyjaśnienia zjawisk.

Jak dobrze wiadomo, ważne elementy przyjętego przez Einsteina rozróżnienia między teoriami zasad i teoriami konstruktywnymi są obecne w pismach Poincarégo. Do dwóch mniej znanych źródeł, które Einstein

znał i które mogły uzmysłwić mu znaczenie roli zasad w fizyce, należą piśma Juliusa Violle'a i Alfreda Kleinera.

Niezależnie od zalet szczególnej teorii względności Einstein uważał, że nie stanowi ona substytutu teorii konstruktywnej. „Teorię fizyczną można uznać za zadowalającą tylko wtedy, gdy jej struktura opiera się na elementarnych podstawach. Z tego punktu widzenia szczególna teoria względności jest równie niezadowalająca, jak na przykład termodynamika, zanim Boltzmann zinterpretował entropię jako prawdopodobieństwo”<sup>[20]</sup>.

### **3. Dowód ograniczonej stosowalności mechaniki klasycznej i elektrodynamiki Maxwella oraz próby zrozumienia zjawisk, których nie mogą wyjaśnić te teorie**

Wysiłki Einsteina, mające na celu udoskonalenie mechaniki klasycznej i elektrodynamiki Maxwella oraz uzgodnienie ich ze sobą, można uważać za kontynuację, w najszerszym sensie, klasycznego podejścia do fizyki. Niezależnie od tego, jak oryginalne były prace Einsteina z tej dziedziny i jak rewolucyjne wydawały się ówczesnym uczonym jego wnioski na temat przestrzeni i czasu, a także jak owocne okazały się jego koncepcje w badaniach nowych zjawisk, wyciągnął on tylko ostateczne wnioski ze schematu pojęciowego fizyki, który okrzepł już pod koniec XIX wieku. Wyjątkowym elementem stanowiska Einsteina w pierwszym dziesięcioleciu XX wieku było zdecydowane przekonanie, że klasyczne pojęcia mechaniki i elektrodynamiki Maxwella – jak również wszelkie drobne modyfikacje tych teorii – nie wystarczą do wyjaśnienia coraz liczniejszych, niedawno odkrytych zjawisk związanych z zachowaniem i oddziaływaniem materii oraz promieniowania. Einstein stale przypominał kolegom o konieczności wprowadzenia radykalnie nowych pojęć w celu wytłumaczenia struktury materii i promieniowania. Sam zaproponował niektóre z tych koncepcji – zwłaszcza hipotezę o kwantowej naturze światła – ale nie był w stanie połączyć ich w jedną, spójną teorię fizyczną.



Piąta praca, czyli pierwsza praca Einsteina o kwantach światła, stanowi uderzający przykład jego stylu, w którym łączył krytykę starych pojęć z poszukiwaniami nowych. Einstein rozpoczął od wykazania, że twierdzenie o ekwipartycji energii<sup>[21]</sup> i równania Maxwella w jednoznaczny sposób określają widmo promieniowania ciała doskonale czarnego – dziś nazywamy je rozkładem Rayleigha–Jeansa. Takie widmo energii promieniowania, zgodne w zakresie niskich częstości z potwierdzonym doświadczalnie rozkładem Plancka, nie może być poprawne dla dużych częstości, gdyż oznaczałoby to, że całkowita energia promieniowania jest nieskończona. (Wkrótce Einstein w podobny sposób udowodnił, również korzystając z twierdzenia o ekwipartycji energii, że klasyczna mechanika nie może wyjaśnić cieplnych i optycznych właściwości ciał stałych, uważanych za sieć krystaliczną zbudowaną z oscylujących atomów lub jonów).

Następnie Einstein zbadał zakres wysokich częstości, w którym klasyczny rozkład energii promieniowania gwałtownie się załamuje. Udowodnił, że w tym obszarze, zwanym granicą Wiena, entropia monochromatycznego promieniowania o ustalonej temperaturze zależy od objętości dokładnie tak samo, jak entropia zwykłego gazu statystycznie niezależnych molekuł. Krótko mówiąc, monochromatyczne promieniowanie w granicy Wiena zachowuje się z punktu widzenia termodynamiki tak, jak gdyby składało się ze statystycznie niezależnych kwantów energii. Aby otrzymać ten wynik, Einstein musiał przyjąć, że energia każdego kwantu jest proporcjonalna do częstości promieniowania. Ośmielony tym rezultatem, Einstein zdecydował się na ostateczny krok i sformułował „bardzo rewolucyjną” hipotezę, że materia i promieniowanie mogą oddziaływać wyłącznie przez wymianę takich kwantów energii. Następnie pokazał, że hipoteza ta tłumaczy pozornie zupełnie różne zjawiska, a zwłaszcza efekt fotoelektryczny. Właśnie na to osiągnięcie wskazał komitet Nagrody Nobla, przyznając Einsteinowi wyróżnienie w 1921 roku.

W 1905 roku Einstein nie posłużył się pełnym rozkładem Plancka. Rok później udowodnił, że wyprowadzenie podane przez Plancka zależy *implicitnie* od założenia, iż energia oscylujących ładunków elektrycznych może przyjmować wyłącznie wartości będące wielokrotnością energii kwantu, a zatem oscylatory mogą wymieniać energię z promieniowaniem tylko poprzez emisję i absorpcję takich kwantów. W 1907 roku Einstein zasugerował, że podobnie skwantowana musi być energia oscylatorów bez ładunku elektrycznego, co pozwala wyjaśnić zarówno sukces prawa Dulonga–Petita dla większości ciał stałych w temperaturze pokojowej, jak i anomalnie małe wartości ciepła właściwego niektórych substancji. Einstein powiązał charakterystyczną temperaturę, przy której przestaje obowiązywać prawo Dulonga–Petita – obecnie zwaną temperaturą Einsteina – z podstawową częstotliwością drgań oscylatorów atomowych, a tym samym również z optycznym widmem absorpcyjnym ciała stałego.

Mimo przekonania o fundamentalnych słabościach mechaniki klasycznej, Einstein w dalszym ciągu z wielką zręcznością wykorzystywał jej godne zaufania aspekty do badania struktury promieniowania elektromagnetycznego. W 1909 roku zastosował swoją teorię ruchów Browna do dwustronnego lustro zanurzonego w promieniowaniu ciała doskonale czarnego. Einstein wykazał, że lustro nie mogłoby wykonywać dowolnie długich ruchów Browna, gdyby fluktuacje ciśnienia promieniowania działającego na jego powierzchnię były wyłącznie spowodowane przez losowe zachowanie fal, zgodnie z równaniami Maxwella. Tylko istnienie dodatkowego wyrazu, odpowiadającego fluktuacjom ciśnienia spowodowanym przez losowe zderzenia cząstek z lustrem, gwarantowało podtrzymanie jego ruchów Browna. Einstein udowodnił również, że oba wyrazy we wzorze opisującym fluktuacje energii wynikają z rozkładu Plancka energii promieniowania ciała doskonale czarnego. Wynik ten uważał za swój najsilniejszy argument na rzecz fizycznej rzeczywistości kwantów światła.

Einstein wcale nie twierdził, że jego praca o kwantowej naturze światła stanowi zadowalającą teorię promieniowania lub materii. Jak wspomniałem na stronie 30, podkreślał on, że teorię fizyczną można uznać za zadowalającą tylko wtedy, „gdy jej struktura opiera się na elementarnych podstawach”, po czym dodał: „jesteśmy jeszcze bardzo dalecy od znalezienia zadowalających elementarnych podstaw procesów elektrycznych i mechanicznych”<sup>[22]</sup>. Einstein uważał, że nie udało mu się właściwie zrozumieć zjawisk kwantowych, ponieważ (w przeciwieństwie do jego zadowalającej interpretacji stałej Boltzmanna jako stałej wyznaczającej skalę fluktuacji statystycznych) nie potrafił zinterpretować stałej Plancka „w intuicyjny sposób”<sup>[23]</sup>. Kwant ładunku elektrycznego również pozostawał w jego teorii czymś „obcym”<sup>[24]</sup>. Einstein był przekonany, że zadowalająca teoria materii i promieniowania musi pozwolić na wyprowadzenie tych kwantów ładunku i promieniowania, a nie jedynie postulować ich istnienie.

Jako teoria zasad, szczególnie teoria względności wskazywała ważne kierunki poszukiwań takiej zadowalającej teorii. Einstein przewidywał, że zostanie skonstruowany „kompletny obraz świata, zgodny z zasadą względności”<sup>[25]</sup>. I jego teoria dostarczyła wskazówek, jak taki obraz stworzyć. Jedna z nich dotyczyła struktury promieniowania elektromagnetycznego. Szczególna teoria względności jest zgodna z emisyjną teorią promieniowania, gdyż wynika z niej, iż prędkość światła względem źródła jest zawsze taka sama; ponadto prowadzi do wniosku, że promieniowanie przenosi masę między jego źródłem i obiektem je absorbującym, co jest argumentem na rzecz hipotezy o istnieniu kwantów światła, zgodnie z którą w odpowiednich okolicznościach promieniowanie przejawia strukturę korpuskularną. Einstein uważał, że „następna faza rozwoju fizyki teoretycznej przyniesie teorię światła, którą będzie można uznać za coś w rodzaju syntezy teorii falowej i teorii emisyjnej”<sup>[26]</sup>. Einstein sądził też, że godnymi zaufania przewodnikami w próbach zrozumienia zjawisk kwantowych są zasada zachowania energii i zasada Boltzmanna.

Einstein przewidywał, że „ta sama modyfikacja teorii, która doprowadzi do elementarnego kwantu [ładunku], przyniesie również wyjaśnienie kwantowej struktury promieniowania”<sup>[27]</sup>. W 1909 roku podjął on pierwszą próbę skonstruowania teorii pola, która wyjaśniłaby zarówno strukturę materii (elektron), jak i promieniowania (kwant światła). Po zbadaniu relatywistycznie niezmienniczych, nieliniowych uogólnień równań Maxwella Einstein napisał: „Nie udało mi się [...] znaleźć układu równań, o którym mógłbym powiedzieć, że pozwala na skonstruowanie elementarnego kwantu ładunku i kwantu światła. Liczba możliwości nie jest jednak tak duża, by należało się cofać z lękiem przed podjęciem tego zadania”<sup>[28]</sup>. Tę próbę można uważać za zapowiedź jego późniejszych, trwających niemal czterdzieści lat poszukiwań jednolitej teorii elektryczności, grawitacji i materii.

W 1907 roku, podczas pracy nad włączeniem grawitacji do szczególnej teorii względności, Einstein odkrył nową zasadę formalną – zasadę równoważności. Doszedł wtedy do wniosku, że wskazuje ona na konieczność uogólnienia zasady względności (którą teraz zaczął nazywać szczególną zasadą względności), jeśli ma ona obejmować również grawitację. Einstein stwierdził, że gdy uwzględniamy zjawiska grawitacyjne, nie możemy nadal przypisywać uprzywilejowanej roli układom inercyjnymi i transformacjom Lorentza, tak jak dzieje się to w szczególnej teorii względności. Wobec tego rozpoczął poszukiwania szerszej grupy przekształceń, względem których prawa fizyczne pozostają niezmiennicze, gdy uwzględniamy grawitację. Poszukiwania te trwały do 1915 roku, a ich kulminacją było odkrycie ogólnej teorii względności, którą Einstein uważał za swoje największe osiągnięcie naukowe. To już jednak inna historia, której tu nie podejmę.

Mogę również tylko krótko wspomnieć o wpływie, jaki prace Einsteina o teorii względności i teorii kwantów wywarły nie tylko na rewolucyjne zmiany naszego fizycznego obrazu świata w XX wieku, lecz również – przez ich oddziaływanie na rozwój techniki – na równie rewolucyjne przeobrażenia w naszym życiu. Nie sposób mówić o optyce kwantowej i kwan-

towej teorii pola, by wymienić tylko te dwie teorie, ani o maserach, laserach, klystronach i synchrotronach, czy też o bombach jądrowych i wodorowych, jeśli ograniczymy się jedynie do kilku z licznych wynalazków, które zmieniły oblicze świata, na lepsze lub na gorsze – bez odwołania się do spuścizny po cudownym roku Einsteina.

### Przypisy redakcyjne

<sup>[1]</sup> Biograf Newtona Richard Westfall użył określenia *anni mirabiles* (cudowne lata) dla okresu 1664–1666, co jest bardziej ściśle. Zob. R. Westfall, *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge 1980, s. 140. Książkę tę można polecić jako źródło wiarygodnych informacji biograficznych o życiu Newtona.

<sup>[2]</sup> I. Bernard Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1971, s. 291.

<sup>[3]</sup> Zob. np. Albrecht Fölsing, *Albert Einstein. A Biography*, tłum. na j. angielski E. Osers, Viking, Nowy Jork 1997, s. 121: „Nigdy przedtem i nigdy potem żaden uczony samodzielnie nie wzbogacił nauki tak bardzo w tak krótkim czasie, jak Einstein w swoim *annus mirabilis*”. Książkę tę można polecić jako źródło wiarygodnych informacji biograficznych o Einsteinie, ale przedstawione w niej wyjaśnienia naukowe należy traktować z ostrożnością. Relację z badań naukowych Einsteina, ułożoną w porządku biograficznym, zawiera: Abraham Pais, *'Subtle is the Lord...'* *The Science and the Life of Albert Einstein*, Clarendon Press, Oksford; Oxford University Press, Nowy Jork 1982. [Wyd. pol.: *Pan Bóg jest wyrafinowany... Nauka i życie Alberta Einsteina*, tłum. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001].

<sup>[4]</sup> Einstein do Conrada Habichta, 18 lub 25 maja 1905, *The Collected Papers of Albert Einstein*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1987– (dalej jako *Collected Papers*), t. 5, 1993, dok. 27, s. 31. Przekład na podstawie *The Collected Papers of Albert Einstein: English Translation*, Princeton University Press, 1987–, cytowany jako *English Translation*, t. 5, 1995, s. 20; przekład zmieniony.

<sup>[5]</sup> Einstein do Conrada Habichta, 30 czerwca–22 września 1905, *Collected Papers*, t. 5, dok. 28, s. 33; *English Translation*, s. 21; przekład zmieniony. Czterdzie-

ści lat później, gdy wybuch pierwszej bomby atomowej dobitnie uświadomił całemu światu równoważność masy i energii, Einstein mógł się zapewne zastanawiać, jakie sztuczki płata mu Bóg.

[6] Westfall, *op. cit.*, s. 140.

[7] *Ibid.*, s. 205.

[8] *Ibid.*, s. 100, 137.

[9] Albert Einstein, *Autobiographical Notes*, tłum. i red. A. Schilpp, Open Court, LaSalle, Ill. 1979, s. 15. [Wyd. pol.: *Zapiski autobiograficzne*, tłum. J. Bieroń, Wydawnictwo Znak, Kraków 1996, s. 17].

[10] Westfall, *op. cit.*, s. 174.

[11] Newton and the Law of Gravitation, „Arch. Hist. Exact Sci.”, t. 2, 1965, s. 365–386; przedruk w: *Selected Papers of Leon Rosenfeld*, pod red. R. S. Cohena i J. J. Stachela, Reidel, Dordrecht/Boston 1979, s. 65.

[12] Westfall, *op. cit.*, s. 146.

[13] Einstein do Conrada Habichta, maj 1905, *Collected Papers*, t. 5, dok. 27, s. 31.

[14] Einstein do Marcela Grossmanna, 14 kwietnia 1901, *Collected Papers*, t. 1, dok. 100, s. 290.

[15] Z odpowiedzi na kwestionariusz przedstawiony Einsteinowi w 1932 r. Zob. Helen Dukas, Banesh Hoffmann, *Albert Einstein: The Human Side*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1979, s. 11 (tłum. angielskie), s. 122 (tekst niemiecki).

[16] Einstein, Kinetic Theory of Thermal Equilibrium and of the Second Law of Thermodynamics, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 3, s. 72 (s. 432 oryginału z 1902 r.).

[17] Przekształcenia te wprowadził Lorentz, a Henri Poincaré nadał im obecnie używaną nazwę, natomiast Einstein zaproponował zupełnie nową, kinematyczną ich interpretację.

[18] Rozróżnienie między teoriami zasad i teoriami konstruktywnymi wprowadził Einstein w: Time, Space and Gravitation, „Times”, Londyn, 28 listopada 1919, s. 13; przedruk: What Is the Theory of Relativity?, [w:] *Ideas and Opinions*, Crown, Nowy Jork 1954, s. 227–232. [Wyd. pol.: Co to jest teoria względności?, w: Albert Einstein, *Pisma filozoficzne*, tłum. K. Napiórkowski, Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa 1999, s. 40–43]. Później Einstein tak wspominał powstanie szczególnej teorii względności: „Coraz bardziej wątpiłem w możliwość odkrycia prawdziwych praw przez próby ich konstruowania w oparciu o znane fakty. Im dłużej i z większym uporem próbowałem, tym bardziej dochodziłem do przekonania, że do popraw-

nych wyników może doprowadzić tylko odkrycie uniwersalnej zasady formalnej. Przykład widziałem w termodynamice” (*Autobiographical Notes*, s. 48; *Zapiski autobiograficzne*, s. 33). Od 1905 r. Einstein przez wiele lat mówił raczej o zasadzie względności niż o teorii względności.

<sup>[19]</sup> Einstein, Comments on the Note of Mr. Paul Ehrenfest: ‘The Translatory Motion of Deformable Electrons and the Area Law’, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 44, s. 411 (s. 207 oryginału z 1907 r.).

<sup>[20]</sup> Einstein do Arnolda Sommerfelda, 14 stycznia 1908, *Collected Papers*, t. 5, dok. 73, s. 86–88. Dziesięć lat później Einstein rozwinął tę koncepcję: „Gdy mówimy, że udało nam się zrozumieć pewien zbiór zjawisk naturalnych, zawsze oznacza to, iż znaleźliśmy konstruktywną teorię, opisującą te procesy” (z: *Time, Space and Gravitation*).

<sup>[21]</sup> Według klasycznej mechaniki statystycznej na każdy stopień swobody układu mechanicznego w równowadze termodynamicznej przypada taka sama część całkowitej energii tego układu.

<sup>[22]</sup> Einstein do Arnolda Sommerfelda, 14 stycznia 1908, *Collected Papers*, t. 5, dok. 73, s. 87.

<sup>[23]</sup> *Ibid.*

<sup>[24]</sup> Zob. Einstein, On the Present Status of the Radiation Problem, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 56, s. 549 (s. 192 oryginału z 1909 r.).

<sup>[25]</sup> Einstein, On the Inertia of Energy Required by the Relativity Principle, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 45, s. 414–415 (s. 372 oryginału z 1907 r.).

<sup>[26]</sup> Einstein, On the Development of Our Views Concerning the Nature and Constitution of Radiation, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 60, s. 564–565 (s. 482–483 oryginału z 1909 r.).

<sup>[27]</sup> Einstein, On the Present Status of the Radiation Problem, [w:] *Collected Papers*, t. 2, dok. 56, s. 549–550 (s. 192–193 oryginału z 1909 r.).

<sup>[28]</sup> *Ibid.*, s. 550 (s. 193 oryginału z 1909 r.). Ta próba sformułowania teorii pola wydaje się pierwszym krokiem Einsteina w kierunku przyjęcia ontologii polowej.