

Czerniawski, Jan

Heurystyczna rola filozofii w odkryciu szczególnej teorii względności

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 36/2, 39-50

1991

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.



Jan Czerniawski
(Kraków)

HEURYSTYCZNA ROLA FILOZOFII W ODKRYCIU SZCZEGÓLNEJ TEORII WZGLĘDNOŚCI

Wstęp

W naszych czasach, gdy scjentyistyczna spuścizna pozytywizmu została już w znacznej mierze przewyciężona, wpływ idei filozoficznych na rozwój nauki nie może być na serio kwestionowany. Wykazywanie, że taki wpływ miał miejsce w związku z tym czy innym odkryciem naukowym, nie jest więc specjalnie interesujące. Ciekawe mogą być natomiast wyniki refleksji nad sposobem, w jaki ten wpływ się dokonuje.

Nie ulega wątpliwości, że dokonuje się on przede wszystkim w umyśle odkrywcy. Jest to miejsce najbardziej bezpośredniej interakcji różnych idei naukowych i pozanaukowych, gdzie najtrudniej przeprowadzić między tymi dwoma rodzajami idei jakieś ostre rozgraniczenie. Bywa, że idea filozoficzna, po odpowiedniej „obróbce”, zostaje zaanektowana przez naukę — wówczas wspomniany wpływ jest najbardziej widoczny. Nawet jednak, gdy dana idea nie poddaje się takiej „obróbce”, bądź pozostaje poza zakresem zainteresowania nauki, może ona odegrać pewną rolę w ukierunkowaniu poszukiwań naukowych. Można wówczas mówić o jej oddziaływaniu heurystycznym. Oczywiście oddziaływanie takie może nie tylko pomagać, ale i przeszkadzać w znalezieniu rozwiązania, kierując poszukiwania na fałszywy trop; takie negatywne oddziaływanie jednak, które samo w sobie mogłoby być tematem odrębnego artykułu, nie będzie nas tu interesować.

Nie wdając się w rozważania ogólne, przeanalizujemy konkretny przykład z historii nauki. Zastanówmy się, jakie przeświadczenia o charakterze filozoficznym mogły odegrać pozytywną rolę heurystyczną w odkryciu szczególnej teorii względności. Ograniczymy przy tym nasze rozważania do samego odkrycia, uwzględniając ciąg koncepcji, które w procesie rozwoju fizyki poprzedziły teorię względności, jedynie o tyle, o ile wpłynęły one na ukształtowanie się sytuacji problemowej, wobec której stanął jej autor, zanim wpadł na trop swojego odkrycia.

Zasada względności

Zgodnie ze słowami A. Einsteina celem zrealizowanym przez szczególną teorię względności było pogodzenie elektrodynamiki Maxwella—Lorentza z zasadą względności¹. Te ostatnią sformułował on następująco:

¹ A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen* „Jahrbuch der Relativität und Elektronik” 1907 t. 4 s. 411-462; *Principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne*. „Archives des sciences physiques et naturelles” ser. 4 nr 29 s. 5-28, 125-144; *Die Relativitätstheorie*. „Naturforsch. Gesellschaft, Vierteljahresschrift”, Zürich 1911 t. 56 s. 1-14; *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Braunschweig 1965 s. 10-12

„Prawa, według których zmieniają się stany układów fizycznych, nie zależą od tego, do którego z układów współrzędnych, poruszających się względem siebie jednostajnie i prostoliniowo, odnoszą się te zmiany stanów”².

Sformułowanie to wymaga komentarza, bez którego nie jest wystarczająco zrozumiałe. Rozumiane bowiem literalnie sugeruje stosowalność tak sformułowanej zasady względności do dowolnych dwóch układów współrzędnych, pozostających względem siebie w pewnej relacji (mianowicie w relacji jednostajnego ruchu względnego). Faktycznie jednak dowolność tę drastycznie ogranicza określona fizyczna interpretacja współrzędnych (tzw. „przepis Einsteina” na ich wprowadzenie), wiążąca jednoznacznie układ współrzędnych z układem odniesienia poprzez dokonywane w nim pomiary za pomocą sztywnych prętów i zegarów oraz znaną sygnałową procedurę oceny równoczesności³. Mimo to mogłoby się wydawać, że ograniczenie to nie eliminuje jeszcze układów nieinercjalnych. W rzeczywistości wystarcza ono do ich eliminacji, gdyż przepis Einsteina nie jest w nich stosowalny⁴. Einstein jednak w 1905r. przypuszczalnie nie był jeszcze tego świadom. Faktycznie rozważał on wtedy tylko przypadek, gdy w jednym z tych układów („spoczywającym”) spełnione są prawa ruchu Newtona;⁵ nie zmienia to jednak faktu, że w samym sformułowaniu zasady nie uwzględnił tego ograniczenia. Przekonamy się, że nie było to tylko przypadkowe niedopatrzanie. Nie było też przypadkiem, iż w sformułowaniu wystąpił termin „układ współrzędnych”, a nie „układ odniesienia”. W swojej *Autobiografii*⁶ Einstein wspomina o paradoksie, na który natknął się już w wieku szesnastu lat. Otóż zauważył wówczas, że obserwator ścigający promień świetlny z prędkością światła powinien postrzegać ten promień jako zmienne periodycznie w przestrzeni, lecz stałe w czasie pole elektromagnetyczne. Tymczasem nic takiego nie udało się nikomu zaobserwować, ani wyprowadzić z równań Maxwella. Proste rozwiązanie tego paradoksu w ramach nierelatywistycznego modelu rzeczywistości samo się nasuwa: widocznie Ziemia nie porusza się wystarczająco szybko względem eteru. W ziemskim układzie odniesienia do zjawisk elektromagnetycznych z dobrym przybliżeniem stosują się równania Maxwella, dokładnie słusznie tylko w układzie spoczywającym względem eteru; natomiast w układzie poruszającym się z prędkością c obowiązują inne prawa, dopuszczające nieobserwowalne na Ziemi zjawiska. Jest mało prawdopodobne, by Einsteinowi rozwiązanie takie w ogóle nie przyszło do głowy; dlaczego więc nie było ono dla niego zadawalające?

Otóż „intuicyjnie oczywiste” było dla niego, że „z punktu widzenia takiego obserwatora wszystko powinno odbywać się zgodnie z tymi samymi prawami, co dla obserwatora nieruchomego względem Ziemi”⁷. Stwierdzenie to wyraźnie współgra z inną wypowiedzią Einsteina, kwestionującą rolę znajomości wyników eksperymentu Michelsona w jego bada-

2 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. „Annalen der Physik” 1905 t. 17 s. 891-921; cyt. wg: F.Zawielski: *Czas i jego pomiary*. wyd. 2 Warszawa 1981 s. 233

3 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

4 A. Einstein: *Über die spezielle...* s. 48-50

5 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

6 A. Einstein: *Autobiographisches*. [W:] P. Schilpp (ed.): *Albert Einstein, Philosopher—Scientist*. New York 1951 s. 2-94

7 Tamże, s. 52; cyt. wg: W. Kruczek (red.): *Literatura źródłowa do kursu „Podstawy fizyki” na Politechnice Warszawskiej*. Warszawa 1983 t. 2 s. 116

niach, które doprowadziły do sformułowania szczególnej teorii względności. W liście do F.G.Davenporta z dn. 2. lutego 1954 r. Einstein pisze:

„... na podstawie ogólnych wyobrażeń byłem mocno przekonany o tym, że żaden ruch absolutny po prostu nie istnieje i moje zadanie polegało tylko na tym, żeby ten stan wiedzy połączyć z tym, co było wiadomym z elektrodynamiki.”⁸

Jak widać, zasada względności była dla Einsteina „na podstawie ogólnych wyobrażeń” *a priori* oczywista. O jakich „ogólnych wyobrażeniach” tu mowa?

Sformułowana jak wyżej zasada względności ma określony sens fizyczny; wynika z niej bowiem, że wynik żadnego eksperymentu nie zależy od tego, w którym inercjalnym układzie odniesienia zostanie on przeprowadzony. Jako taka podlega więc testowi empirycznemu i bez żadnych dodatkowych przysłanek nie może być uważana za *a priori* obowiązującą⁹. Dodatkowego wsparcia może jej jednak dostarczyć argumentacja filozoficzna.

Od dawna znana jest własność ruchu, którą można określić jako jego „kinematyczna względność”¹⁰. Przejawia się ona w tym, że fizyczny obserwator obiekty poruszające się razem z nim postrzega jako nieruchome, w ruchu zaś innych postrzega jedynie składnik stanowiący różnicę tego ruchu i ruchu, w którym sam bierze udział (sposrzczenie to odnotowane zostało już w pismach Mikołaja z Kuzy i Mikołaja Kopernika)¹¹. Jej konsekwencją jest zależność wyników obserwacji od przypadkowego ze względu na stan obserwowanych obiektów stanu ruchu obserwatora. Można przy tym zauważyć, że tym, co wspólne w wynikach obserwacji układu fizycznego przez różnych obserwatorów, są względne ruchy jego części. Stąd już tylko krok do odmówienia obiektywnego sensu ruchowi pojedynczego obiektu w pustej przestrzeni (ruchowi absolutnemu)¹² i przypisania go jedynie ruchom względnym.¹³ Oczywiście takiego kroku okazuje się jednak pozorna, jeśli wziąć pod uwagę zjawiska dynamiczne;¹⁴ nie można bowiem z góry wykluczyć wpływu, jaki na przebieg tych zjawisk może mieć absolutny ruch układu.

Hipotezę o braku takiego wpływu ruchu jednostajnego sformułował Galileusz¹⁵, słusznie wobec tego uważany za autora szczególnej zasady względności jako zasady fizycznej; wyniki obserwacji dynamicznych skutków ruchu niejednostajnego powstrzymały go jednak od odrzucenia pojęcia absolutnego ruchu.¹⁶ Ten sam motyw powstrzymał też od zrobienia tego kroku I. Newtona¹⁷, który z drugiej strony dostarczył zasadzie względności solidnej

8 G. Holton: *Einstein and the 'Crucial Experiment'*. „American Journal of Physics” 1969 t. 37 nr 10 s. 968—982; cyt. wg: W. Kruczek (red.): *Literatura...* s. 350

9 A. Einstein: *Über die spezielle...* s. 7-9

10 A. Einstein: *Einiges über die Entstehung der Allgemeinen Relativitätstheorie*. [W:] A. Einstein: *Mein Weltbild*. Frankfurt am Main 1955 s. 170-175

11 W. Kruczek: *Kopernik, Einstein i ewolucja struktury pojęciowej zasady względności*. [W:] W. Kruczek (red.): *Literatura* s. 3-20

12 A. Einstein: *Die Relativitätstheorie*

13 A. Einstein: *Physikalische Grundlagen einer Gravitationstheorie*. „Naturforsch. Gesellschaft, Vierteljahresschrift”, Zürich, 1913 t.58 s. 284-290; *Vom Relativitäts-Prinzip*, „Vössiache Zeitung” 26. April 1914 s. 33-34; *Über die spezielle...* s. 5-6.

14 A. Einstein: *Einiges über die Entstehung...*

15 Gaileo Galilei: *Dialog o dwu najważniejszych układach świata, Ptolemeuszowym i Kopernikowym*. Warszawa 1962 s. 201-203, 274-275.

16 Tamże, s. 458-459.

17 I. Newton: *Mathematical Principles*. Berkeley 1947 s. 237-239.

podbudowy teoretycznej, pozwalającej przy założeniu redukowalności wszystkich zjawisk fizycznych do mechanicznych traktować ją jako obowiązującą *a priori*.¹⁸ Zdecydował się nań dopiero G.W. Leibniz, opierając negację absolutnego ruchu na wyrafinowanej konstrukcji relacyjnej koncepcji przestrzeni i czasu.¹⁹

Eliminacja pojęcia absolutnego ruchu prowadzi do znanych kłopotów przy formułowaniu zasady bezwładności²⁰ (dla jej sformułowania trzeba posłużyć się pojęciem inercjalnego układu odniesienia, którego zdefiniowanie jednak jest wówczas niemożliwe bez odwołania się do zasady bezwładności). Leibniz próbował trudność tę obejść, odwołując się do pojęcia eteru.²¹ Nie przedstawił jednak żadnej teorii oddziaływań materii „cielesnej” z eterem, różnej od mechaniki Newtona; gdyby zaś ta ostatnia miała mieć do nich zastosowanie, to nie można byłoby wyjaśnić zasady bezwładności przez odwołanie się do nich. Inną drogą poszedł E. Mach, formułując postulat redukcji bezwładności do grawitacji (tzw. „zasadę Macha”)²² i przedstawiając bardzo gruntowną krytykę wyjaśniania bezwładności, odwołującego się do pojęcia przestrzeni absolutnej.²³

Należy tu podkreślić filozoficzny charakter argumentacji Leibniza i Macha: obaj odwoływali się do bardzo fundamentalnych, ogólnych wyobrażeń ontologicznych, nie przedstawiając żadnego konkretnego modelu, alternatywnego w stosunku do modelu Newtona. To zapewne właśnie te wyobrażenia, bezpośrednio zaczerpnięte od Macha (świadczy o tym choćby charakterystyczne ujęcie przestrzeni absolutnej jako „fikcyjnej przyczyny” bezwładności ciał)²⁴, oddziaływały na sposób myślenia Einsteina, ugruntowując jego zaufanie do zasady względności.

Było jednak, jak się zdaje, również inne źródło tego zaufania. Z analizy omawianej wyżej kinematycznej względności ruchu wynika, że opis wyników obserwacji zjawisk fizycznych zawiera składnik nie odzwierciedlający żadnych obiektywnych relacji w obrębie tych zjawisk. Składnik ten jest konsekwencją nieuniknionego związania obserwatora z określonym układem odniesienia. Ze względu na przebieg obserwowanych zjawisk ma on charakter przypadkowy; to właśnie on jednak decyduje o określeniu ruchu układu jako całości. O ile więc odrzucić pojęcie ruchu absolutnego, nasuwa się potraktowanie ruchu układu jako całości jako fikcyjnego, nie mającego nic wspólnego z obiektywnym stanem rzeczy w opisywanym układzie produktu tego przypadkowego składnika opisu. Wprowadzenie układu współrzędnych pozwala obserwatorowi uwolnić się od ograniczenia, jakim jest związanie z określonym układem odniesienia, gdyż z układu tego jest on w stanie wykreować dowolną ilość innych układów współrzędnych, a wzory transformacyjne pozwalają mu bez trudu uzyskać opis przedmiotu swoich obserwacji w którymkolwiek z nich. Może on wobec tego do opisu obserwowanego zjawiska wybrać dowolny z tych układów, kierując się jedynie

18 A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip...; Über die spezielle...* s. 7-9.

19 G.W. Leibniz: *Polemika Leibniz—Clarke*. [W:] *Wyznanie wiary filozofa*. Warszawa 1969 s. 336, 355-356, 385-388.

20 M. Heller, A. Staruszkiewicz: *A Physicist's View on the Polemics between Leibniz and Clarke*. „*Organon*” 1975 t. 11 s. 205—213.

21 G.W. Leibniz, dz. cyt., s. 340.

22 E. Mach: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig 1901 s. 246.

23 Tamże, s. 232-253.

24 A. Einstein: *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. „*Annalen der Physik*” 1916 t. 49 s. 769—822; *The Meaning of Relativity*. Princeton 1945 s. 56; *Fundamental Ideas and Problems of the Theory of Relativity*. [W:] *Nobel Lectures Physics*. Amsterdam 1967 s. 482-492.

względami wygody. Niektóre z nich można zinterpretować jako układy współrzędnych, wprowadzone w taki sam sposób, jak układ wyjściowy, w różnych układach odniesienia; wybór któregoś z nich jest więc równoważny ustaleniu układu odniesienia. Wspomniany wyżej przypadkowy składnik opisu zjawisk jest w takim przypadku efektem dowolnego wyboru układu współrzędnych, który oczywiście w jawny sposób nie ma nic wspólnego z obiektywnym przebiegiem tych zjawisk, jako że układ współrzędnych stanowi jedynie narzędzie do ich opisu.²⁵ Ruch układu fizycznego jako całości jawi się w tym kontekście jako wytwór ustalenia, będącego przedmiotem wolnej decyzji.

Łatwo zauważyć, że taka interpretacja jest już w pełni zbieżna z konwencjonalistycznym stanowiskiem H. Poincarégo.²⁶ Można więc zaryzykować przypuszczenie, że drugim czynnikiem sprzyjającym ugruntowaniu przekonania Einsteina o słuszności zasady względności były wyniki przeprowadzonej przez Poincaré'go filozoficznej analizy roli matematycznych środków opisu układów fizycznych. Przypuszczenie to nie ma równie silnego oparcia w treści wypowiedzi Einsteina, jak teza o wpływie idei Macha, którą można uznać za dobrze udokumentowaną.²⁷ Einstein na wyniki analiz Poincarégo powoływał się w kontekście podstaw ogólnej, a nie szczególnej teorii względności. Wiadomo wprawdzie, że z książką *La science et l'Hypothèse* zapoznał się on przed listopadem 1905r.;²⁸ nie jest jednak jasne, czy miało to miejsce przed, czy już po napisaniu *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Tym niemniej, w pracy z 1905 r.²⁹ można wskazać rozwiązania, które wydają się być wyraźnymi śladami wpływu idei Poincarégo.³⁰ Do wątku tego jeszcze powrócimy; warto jednak już tutaj zauważyć, że założenie wpływu ujęć Poincarégo wyjaśniałoby wspomniany na wstępie fakt użycia przez Einsteina w sformułowaniu jego postulatów terminu „układ współrzędnych”, a nie „układ odniesienia”.

Eter

Eliminacja eteru w pracy z 1905 r.³¹ z pozoru wydaje się być oczywistym skutkiem zastosowania przejętej od Macha „zasady ekonomii”;³² interpretację taką niedwuznacznie sugeruje jedyne zdanie z tej pracy, w którym pojawia się słowo „eter”. W miarę jednak zapoznawania się z podejmowanymi przez Einsteina próbami rekonstrukcji rozumowania, które doprowadziło go do odkrycia szczególnej teorii względności, jak również z losami pojęcia eteru w jego późniejszych pracach,³³ interpretacja ta budzi coraz większe wątpliwości

25 A. Einstein: *Die Grundlage...; What is the Theory of Relativity?*. „Times” 28th Nov. 1919; *Time, Space and Gravitation*. [W:] *Out of my Later Years*. New York 1950 s. 54-58.

26 H. Poincaré: *La Science et l'Hypothèse*. Paris 1902 s. 92-109.

27 A. Einstein: *Über die spezielle...* s. 44, 91; *The Meaning...* s. 56; Listy do M. Besso z dn. 6.01.1948r. i z dn. 6.03.1952r. [W:] A. Einstein, M. Besso: *Correspondance 1903—1955*. Paris 1972 s. 390-392, 464-465.

28 M. Solovine: *Introduction*. [W:] A. Einstein: *Briefe an Maurice Solovine (1906—1955)*. Berlin 1960 s. X, XIV.

29 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

30 A. Pais: *'Subtle is the Lord...' The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford 1982 s. 133.

31 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

32 E. Mach, dz. cyt., s. 509-519.

33 L. Kostro: *Einstein's Conception of the Ether and its up-to-date Applications in the Relativistic Wave Mechanics*. [W:] *Quantum Uncertainties*. New York 1987.

— tym bardziej, że sam Mach użył „zasady ekonomii” jedynie do eliminacji przestrzeni absolutnej, nie będąc bynajmniej skłonny do potraktowania w ten sam sposób eteru.³⁴

W jednej z pierwszych takich retrospektywnych wypowiedzi³⁵ Einstein określił eliminację eteru jako pierwszy, niezbędny krok na drodze do pogodzenia elektrodynamiki Lorentza z zasadą względności. Wyglądałoby więc na to, że eter nie był tylko „rupiecieniem”, który po sformułowaniu szczególnej teorii względności okazał się bezużyteczny, w związku z czym odstawiony został do lamusa — lecz jawił się jako „zawalidroga”, bez usunięcia którego droga do STW byłaby zamknięta. Jeśli zatem nawet teoria względności uczyniła go zbędnym, to i tak do jego eliminacji musiało dojść wcześniej, jeszcze zanim to nastąpiło. Wobec tego zaś „zasada ekonomii” nie mogła być motywem rezygnacji z eteru, lecz co najwyżej podstawą wtórnego uzasadnienia tego kroku już po jego wykonaniu.

Wydaje się, że rolę eteru jako takiego „zawalidrogi” można uznać za udokumentowaną. Z pewnych wypowiedzi Einsteina można wywnioskować, że do eliminacji eteru doszło w wyniku konfliktu koncepcji eteru nie tyle z teorią względności, co raczej z zasadą względności³⁶, która dla niego była nie wnioskiem z teorii względności, lecz postulatem w stosunku do niej logicznie i genetycznie wcześniejszym.³⁷

O ile wyrażone w poprzednim rozdziale przypuszczenia na temat źródeł zaufania Einsteina do zasady względności są uzasadnione, to fizyczną zasadę względności traktował on jako konsekwencję bardziej od niej podstawowej zasady — nazwijmy ją tu „ontologiczną zasadą względności ruchu” — zgodnie z którą ruch jest z istoty swej względny, wobec czego pojęciu ruchu nie można przypisać żadnego absolutnego sensu³⁸ (innymi słowy: absolutny ruch nie istnieje).³⁹ Oczywiście w szczególności oznacza to, że żadnego sensu nie ma też rozróżnienie ruchów jednostajnych i przyspieszonych.⁴⁰ Naturalną konsekwencją ontologicznej zasady względności w dziedzinie fizyki powinna wobec tego być nie szczególna, lecz ogólna zasada względności, zgodnie z którą obiektywne prawa przyrody nie powinny zależeć już nie tylko od jednostajnego, lecz w ogóle od jakiegokolwiek ruchu układu odniesienia.⁴¹

Nic dziwnego, że realizacja ogólnej zasady względności, która miałyby oznaczać eliminację z fizyki pojęcia „układu inercjalnego”,⁴² była od początku perspektywicznym celem poszukiwań Einsteina, a początkowe ograniczenie się do szczególnej zasady względności musiało być uważane za przejściowy kompromis. Nieprzypadkowo, jak się zdaje, sama szczególna zasada względności sformułowana została niejako „na wyrost”, bez zaznaczenia

34 E. Mach, dz. cyt., s.241, 252-253.

35 A. Einstein: *Principe de relativité ...*

36 A. Einstein: *Principe de relativité ...; Die Relativitätstheorie*

37 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...; Vom Relativitäts-Prinzip*; G. Holton, dz. cyt.

38 A. Einstein: *Über die spezielle... s. 5-6; Die Relativitätstheorie; Vom Relativitäts-Prinzip.*

39 A. Einstein: *Relativity: Essence of the Theory of Relativity*. [W:] „Amer. People Encycl.”. Chicago 1949 t. 16; G. Holton, dz. cyt.

40 A. Einstein: *Physikalische Grundlagen...; Zum Relativitätsproblem*. „Scientia” 1914 t. 15 s. 337-348; *Antwort auf vorstehende Betrachtung*. „Naturwissenschaften” 1920 t. 8 s. 1010-1011; *Einiges über die Entstehung...*

41 A. Einstein: *Die Grundlage...*

42 A. Einstein: *On the Generalized Theory of Gravitation*. *Scientific American* 1950 nr 182 s. 13-17; *Generalization of Theory of Gravitation*. [W:] *The Meaning of Relativity*. London 1950 wyd. 4 s. 127-141.

ograniczenia jej ważności do układów inercjalnych,⁴³ a już w 1907 r. pojawiają się symptomy dążności do przewyciężenia tego ograniczenia.⁴⁴

Tymczasem na początku XX w. można było odnieść wrażenie, że cel ten raczej się oddala niż przybliża. Zasada Macha pozostawała niezrealizowanym projektem. Włączenie do fizyki pojęcia pola podważało wiarę w mechanistyczną redukowalność zjawisk,⁴⁵ od której, jak pamiętamy, zależał aprioryczny status zasady względności. Co gorsza, zarówno dane eksperymentalne, jak i względy metodologiczne po kolei eliminowały wszystkie rozsądne alternatywy dla elektrodynamiki Maxwella—Lorentza z jej koncepcją nieruchomego eteru, zdającą się wskrzeszać ideę absolutnego spoczynku.⁴⁶ W literaturze, którą ze względu na swoje zainteresowania Einstein zapewne znał, pojawiła się zresztą interpretacja wprost utożsamiająca eter z absolutną przestrzenią.⁴⁷

W okresie studiów Einstein był już bliski kapitulacji. Chociaż obraz świata nie realizujący zasady względności nie mógł mu się podobać, wydawało się, że jego akceptacja jest nie do uniknięcia. Sam zaprojektował nawet eksperyment mający na celu wykrycie ruchu Ziemi względem eteru.⁴⁸ Pilnie poszukiwał też informacji na temat już przeprowadzonych w tym samym celu innych eksperymentów. W miarę jednak zapoznawania się z ich wynikami — nieodmiennie mniej lub bardziej jednoznacznie negatywnymi — odzyskiwał wiarę w słuszność zasady względności (w końcu zrezygnował nawet z realizacji swojego eksperymentu).

W dalszym ciągu jednak zagrożenie dla niej wydawał się stanowić eter — należało więc jakoś się go pozbyć. Podstawy do tego mogłaby dostarczyć „zasada ekonomii”; nie można jej było jednak stosować „na kredyt”, licząc na to, że przyszła teoria jakoś obejdzie się bez eteru. Należało znaleźć jakąś prowizoryczną podstawę do uznania go za byt zbędny. Einstein znalazł taką podstawę, dokonując rewizji koncepcji pola. Zgodnie z nową koncepcją pole nie potrzebowało już żadnego substancjalnego „nośnika”, lecz samo było niezależnym bytem na równi z materią korpuskularną.⁴⁹

Czy Einstein wiązał z tą koncepcją jakąś określoną intuicję? Można wątpić; raczej była ona początkowo tylko pewnym heurystycznym chwytem, pozwalającym pozbyć się skrupułów przed bezceremonialnym odrzuceniem tego, co dotychczas uważane było za bytowy „fundament” pola, bez eliminacji samego pola. Sama idea przypuszczalnie zaczerpnięta została z podręcznika chemii W. Ostwalda,⁵⁰ który Einstein dobrze znał, o czym świadczy choćby powołanie się nań w jednej z wczesnych prac.⁵¹ Być może jakąś rolę przy jej akceptacji odegrała Hume’owska krytyka pojęcia substancji;⁵² Einstein wymienia Hume’a jako tego filozofa, którego prace, obok prac Macha, inspirowały go w badaniach prowadzą-

43 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

44 A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip...*

45 A. Einstein: *Über die spezielle...* s. 7-9.

46 A. Einstein: *Principe de relativité...*

47 P. Drude: *Physik des Aethers*. Stuttgart 1894 s. 9; *Lehrbuch der Optik*. Leipzig 1900 s. 419-420.

48 L. Kostro, dz. cyt.

49 A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip... ; Antwort auf... ; On the Generalized...*

50 W. Ostwald: *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*. Leipzig 1903 t. 2 s. 1016. (Z sugestią wpływu Ostwalda i Drudego zetknąłem się w udostępnionym mi przez autora maszynopisie przygotowywanej do druku pracy habilitacyjnej dra L. Kostro, gdzie znalazłem również szereg cennych informacji bibliograficznych, wykorzystanych w artykule).

51 A. Einstein: *Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen*. „Annalen der Physik” 1901 t. 4 s. 513-523.

52 D. Hume: *Traktat o naturze ludzkiej*. Warszawa 1963 t. 1 s. 30-32, 285-293.

cych do sformułowania szczególnej teorii względności.⁵³ Nie bez znaczenia było też zapewne świeże odkrycie skwantowanego charakteru energii promieniowania elektromagnetycznego,⁵⁴ wskazujące, że pole elektromagnetyczne ma zaskakujące, sprzeczne z intuicją własności. Z czasem zaś okazało się, że poszukiwana teorię można zbudować bez posługiwania się terminem „eter” — co pozwoliło wótrnie uzasadnić eliminację eteru na podstawie „zasady ekonomii”, tym razem już bez odwoływania się do nowej koncepcji pola, której w 1905 r. Einstein ze względów, jak się zdaje, taktycznych nie chciał jeszcze eksponować. Z kolei sama ta koncepcja uzyskała teraz podstawę, gdyż wobec wyeliminowania eteru z fizyki wcześniejsza koncepcja nie stanowiła już dla niej poważnej konkurencji.

Czy ta rewolucyjna, podważająca najbardziej podstawowe intuicje zmiana koncepcji pola była konieczna? Z logicznego punktu widzenia — na pewno nie. Nie ma powodu, dla którego zachowywać się zgodnie z relatywistycznie niezmienniczymi prawami nie mogłoby pole, którego substancjalny „nośnik” spoczywałby w pewnym układzie inercyjnym. Gdyby w doświadczeniu obecność tego „nośnika” przejawiała się tylko poprzez pole, w żaden sposób nie naruszałaby ona fizycznej zasady względności, popadając w konflikt jedynie co najwyżej z ontologiczną zasadą względności (istniałby wówczas wyróżniony stan ruchu, mogący kandydować do roli absolutnego spoczynku — choć empirycznie niewykrywalny). Jednakże wobec roli jaką ta ostatnia odgrywała w światopoglądzie Einsteina, takie rozwiązanie było dla niego nie do przyjęcia. To zapewne miał na myśli, pisząc: „Taka asymetria w budowie teoretycznej, której nie odpowiada asymetria w systemie doświadczeń, jest dla teoretyka nieznośna”.⁵⁵ Eliminacja eteru miała więc określone znaczenie psychologiczne — bez niej zasada względności nie mogłaby odegrać w rozumowaniach Einsteina swojej heurystycznej roli.

Nie znaczy to, że dla kroku tego nie było żadnej alternatywy — w kilkanaście lat później znalazł ją zresztą sam Einstein. Wynaleziona przez niego nowa koncepcja eteru⁵⁶ była już zgodna z ontologiczną zasadą względności. Z czasem swój „relatywistyczny” eter Einstein utożsamiał z pustą czasoprzestrzenią;⁵⁷ pod koniec życia zaś powrócił do koncepcji pola bez „nośnika”.⁵⁸ Ewolucja koncepcji pola w pismach Einsteina, ściśle powiązana z ewolucją jego wyobrażeń na temat przestrzeni, sama w sobie mogłaby być przedmiotem interesujących badań, które jednak wykraczałyby znacznie poza ramy niniejszej pracy.

Równoczesność

Niewątpliwie o sukcesie poszukiwań Einsteina ostatecznie zadecydowała jego analiza pojęcia równoczesności.⁵⁹ Jej wyniki pozwoliły mu prawidłowo zinterpretować fizycznie

53 A. Einstein: *Autobiographisches* s. 52; *Relativität und Raumproblem*. [W:] *Über die spezielle...* s. 85-102; Listy do M. Besso...

54 A. Einstein: *Autobiographisches*; K.F. Schaffner: *Einstein versus Lorentz: Research Programmes and the Logic of Comparative Theory Evaluation*. „The British Journal for the Philosophy of Science” 1974 t.25 s. 45-78.

55 A. Einstein: *Eter a teoria względności*. Wiedeń 1923 s. 9.

56 Tamże

57 A. Einstein: *Das Raum-, Feld- und Ätherproblem in der Physik*. „Die Koralle” 1930 t.5 s. 486-487.

58 A. Einstein: *Relativität und Raumproblem*

59 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik... ; Über das Relativitätsprinzip... ; Principe de relativité... ; Die Relativitätstheorie ; Autobiographisches* s. 52.

współrzędne powiązane ze współzrędnymi w układzie spoczywającym wzorami przekształceń Lorentza jako „prawdziwe” współrzędne w poruszającym się układzie odniesienia,⁶⁰ co właśnie jego czyni autorem szczególnej teorii względności. Zastanówmy się więc, jakie idee filozoficzne mogły mu pomóc w zrobieniu tego decydującego kroku.

O ile w analizie pojęcia czasu Einstein miał licznych poprzedników (w jego pracach łatwo zauważyć np. wpływ koncepcji Macha pomiaru czasu jako porównywania równoległe przebiegających procesów),⁶¹ to w analizie pojęcia równoczesności poprzednik był, jak się zdaje, tylko jeden. Określenie czasu jako „porządku następstwa”⁶² wydawało się czynić je pojęciem nieanalizowalnym. Egzystencjalne rozumienie tego następstwa (czas jako „zmienna niezależna istnienia”)⁶³ prowadziło do utożsamienia równoczesności z relacją „współistnienia”, w którą wchodzi zdarzenia obiektywnie współistniejące (czy raczej: „stające się” razem — przy założeniu, rzecz jasna, że nie wszystkie zdarzenia „stają się” na raz). Taka ontologiczna koncepcja równoczesności wydawała się być do tego stopnia jasna i oczywista, że przez całe wieki nie zwrócono uwagi na jej aspekt epistemologiczny. Wziął go pod uwagę dopiero H. Poincaré.

Zauważył on, że w fizyce rola pojęcia czasu polega nie na odzwierciedleniu egzystencjalnego porządku zdarzeń, lecz na ujednoznacznieniu opisów procesów fizycznych. Aby mogło ono taką rolę odegrać, musi przede wszystkim być kryterialne. Powinno więc zawierać określenie metody, pozwalającej na podstawie obserwacji jednoznacznie przyporządkować każdemu zdarzeniu określoną wartość współrzędnej czasowej.

Przyporządkowanie czasu zdarzeniom zachodzącym w tym samym miejscu nie przedstawia większych trudności; wystarczy w tym celu obserwować wskazania zlokalizowanego w pobliżu standardowego zegara. Kłopoty pojawiają się, gdy konieczne jest określenie wspólnego czasu dla zdarzeń zachodzących w różnych miejscach. Nie można całkowicie wykluczyć możliwości, że Einstein zauważył te trudności zupełnie samodzielnie; podobieństwo ujęć (np. równości prędkości światła w obie strony jako ustalonej „przez definicję”) i zastosowanego rozwiązania (wykorzystanie do synchronizacji zegarów promieni świetlnych)⁶⁴ wydaje się jednak wskazywać na co najmniej pośredni wpływ Poincarégo.⁶⁵ Nie oznacza to, że do analizy pojęcia równoczesności Einstein nie wniósł nic istotnie nowego; przeciwnie, jego wkład ma fundamentalne znaczenie. Zauważył on mianowicie względność określonej za pomocą sygnałów świetlnych równoczesności, tj. jej zależność od układu odniesienia, w którym świe:lna procedura synchronizacji została zastosowana. Potrafił też powiązać ten fakt z możliwością nadania fizycznej interpretacji przekształceniom, w których dochodzi do „mieszania się” współrzędnych przestrzennych ze współzrędną czasową w sposób naruszający absolutność czasu.

Nie wystarczyło jednak tylko uczynić takie spostrzeżenie; trzeba było jeszcze mieć odwagę przeciwstawić się tradycji wiązania równoczesności ze „współistnieniem” i potra-

60 A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip...*; H.A. Lorentz: *The Theory of Electrons*. Leiden 1916; *Teoria elektronov*. Moskwa 1956 s. 438.

61 E. Mach, dz. cyt., s.236; A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*; *Autobiographisches*.

62 G.W. Leibniz, dz. cyt., s. 336.

63 A. Einstein: *Die Relativitätstheorie*.

64 H. Poincaré: *La Mesure du Temps*. „Revue de Métaphysique et de Morale” 1898 t. 6 s. 1-13; przedruk [W:] *La Valeur de la Science* Paris 1905 s.35-58.

65 K.F. Schaffner, dz. cyt.

ktować nowe określenie równoczesności jako jej definicję.⁶⁶ Odwagę tę mógł Einstein czerpać z pism Hume'a i Macha, którzy podkreślali rolę pojęć jako jedynie narzędzi do porządkowania doświadczenia, jak również wyrażali pogląd, że jedynym źródłem poczucia oczywistości najbardziej podstawowych spośród nich jest przyzwyczajanie.⁶⁷ Można zastanawiać się, czy pod ich wpływem nie posunął się on za daleko.

Niewątpliwie nowa, kryterialna definicja równoczesności jako pojęcia fizycznego była potrzebna. Nie oznacza to jednak, że musiało dojść do zupełnego zanegowania sensowności starego określenia. Można je było zachować, przesuując do ontologii i dokonując rozróżnienia rozumianej w jego sensie „równoczesności ontologicznej” i określonej przez nową definicję „równoczesności fizycznej”. Ze względu na wzajemną logiczną niezależność określeń absolutność pierwszej w niczym nie przeszkadzałaby względności drugiej i *vice versa* (byłoby to rozróżnienie w pełni analogiczne do rozróżnienia Newtona między przestrzenią absolutną i przestrzenią względną).⁶⁸ Dlaczego więc Einstein odmówił staremu określeniu wszelkiej użyteczności,⁶⁹ traktując je jako jedynie wynik przyjmowania w fizyce nierelatywistycznej błędnego, ukrytego założenia odnośnie możliwości synchronizacji zegarów?⁷⁰

Przyczyna była zapewne ta sama, która skłoniła go wcześniej do eliminacji eteru. Nie wchodząc do fizykalnego opisu zjawisk, pojęcie równoczesności ontologicznej w żaden sposób nie może popaść w konflikt z fizyczną zasadą względności — jest jednak nie do pogodzenia z jej ontologicznym odpowiednikiem. Z równoczesnością ontologiczną musiałaby się bowiem pokrywać (a co najmniej: lokalnie ją aproksymować) równoczesność względna w pewnym układzie inercyjnym. Oczywiście wówczas układ ten byłby ze względu na tę koincydencję wyróżniony wśród fizycznie równorzędnych układów inercyjnych. To zaś oznaczałoby znów pojawienie się „nieznośnej asymetrii”, o której była już mowa w kontekście stosunku teorii względności do hipotezy eteru.

Pozostając, jak się zdaje, pod wpływem konwencjonalistycznych ujęć Poincarégo, Einstein sam konsekwentnym konwencjonalistą nie był. Skłaniając się mniej lub bardziej zdecydowanie w stronę poglądu o konwencjonalności pewnych elementów opisu fizykalnego, zawsze jednak wydaje się wierzyć w możliwość wyodrębnienia obiektywnych elementów tego opisu,⁷¹ pozwalających scharakteryzować opisywane zjawiska w sposób niezależny już od jakiegokolwiek konwencji.⁷² Jego poglądy na temat zakresu konwencjonalnych elementów opisu ewoluowały w miarę postępu badań dotyczących konsekwencji teorii względności dla fizykalnego obrazu świata; nic jednak nie wskazuje na to, by w 1905 r. zaliczał on do nich równoczesność. Jeszcze w 1907 r.⁷³ traktuje swoją metodę określenia czasu nie jako dowolną konwencję, lecz jako po prostu poprawne (bo operacyjne) sformułowanie „zwykłego” pojęcia czasu; ustalenie niezależności prędkości światła od kierunku „przez definicję”⁷⁴ nie oznaczało bynajmniej dla niego, że kwestię tę równie dobrze (tj. z równą racją) można było rozstrzygnąć inaczej.

66 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

67 D. Hume, dz. cyt., s. 36—43; E. Mach, dz. cyt., s. 514.

68 I. Newton, dz. cyt.

69 A. Einstein: *Die Relativitätstheorie*.

70 A. Einstein: *Principe de relativité...; The Meaning...* s. 25.

71 A. Einstein: *Einiges über die Entstehung...; Relativity and...*

72 A. Einstein: *What is the Theory...; Antwort auf...; Fundamental Ideas...; Generalization of theory...*

73 A. Einstein: *Über das Relativitätsprinzip...*

74 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*

Szczególna teoria względności nie dostarcza zresztą żadnej podstawy dla odmiennego stanowiska. Względność równoczesności fizycznej jest faktem niezależnym od konwencji odnośnie sposobu jej określenia — o ile tylko dopuszcza się jego stosowalność w każdym układzie inercyjnym, nie wyróżniając arbitralnie żadnego z nich. Poza tym obserwator operujący w układzie inercyjnym nie dysponuje żadną rozsądną, a zarazem nierównoważną alternatywą dla procedury oceny równoczesności, przyjętej przez Einsteina. Procedura ta jest bowiem zgodna z założeniem izotropii przestrzeni, którego nie podważa wynik żadnego eksperymentu, w związku z czym wybór procedury opartej na jakimkolwiek założeniu alternatywnym stanowiłby naruszenie zasady racji dostatecznej.⁷⁵ Wśród zgodnych z tym założeniem, równoważnych procedurze Einsteina sposobów określenia równoczesności wymienić można zwłaszcza procedurę synchronizacji zegarów przez nieskończenie powolny transport,⁷⁶ stanowiącą idealizację praktyki stosowanej niegdyś powszechnie w nawigacji.

Podsumowanie

Zestawmy pokrótce uzyskane wyniki. Dokonałszy tu przeglądu wyobrażeń filozoficznych, które prawdopodobnie w znacznej mierze ułatwiły Einsteinowi odkrycie szczególnej teorii względności. Przede wszystkim więc były to wyobrażenia związane z założeniem określonym tu jako „ontologiczna zasada względności”, wykluczającym istnienie absolutnego ruchu (i spoczynku). Założenie to odegrało, jak się zdaje, kluczową rolę, przede wszystkim poprzez umocnienie determinacji Einsteina w poszukiwaniu rozwiązania zgodnego z fizyczną zasadą względności; miało jednak też wpływ na zakwestionowanie elementów zastanego obrazu świata utrudniających — ze względów psychologicznych — znalezienie takiego rozwiązania, a mianowicie eteru i absolutnej równoczesności („równoczesności ontologicznej”). Jako jego przypuszczalne źródła wskazane zostały wpływy dokonanej przez Macha krytyki pojęcia przestrzeni absolutnej oraz przeprowadzonej przez Poincarégo analizy roli matematycznych środków opisu zjawisk fizycznych.

Na ważny krok w stronę odkrycia, jakim była eliminacja eteru, miała niewątpliwie wpływ przejęta od Macha „zasada ekonomii”, która jednak nie mogłaby znaleźć zastosowania, gdyby wcześniej nie doszło do odpowiedniej rewizji koncepcji pola. W tej ostatniej zaś, polegającej na dopuszczeniu możliwości istnienia pola jako samodzielnego bytu, mogła Einsteinowi być pomocna dokonana przez Hume’a krytyka pojęcia substancji. Z kolei na decydującą o sukcesie Einsteina rewizję pojęcia równoczesności co najmniej pośredni wpływ miała zapewne analiza tego pojęcia, przeprowadzona przez Poincarégo. Przypuszczalnie to jego zasługą było zwrócenie uwagi Einsteina na rolę pojęcia równoczesności w określeniu czasu, jak również podsuniecie pomysłu wykorzystania w nowej, operacyjnej jego definicji sygnałów świetlnych. Nie bez znaczenia był tu też prawdopodobnie wpływ sceptycyzmu Hume’a i Macha w stosunku do pojęć powszechnie uważanych za oczywiste.

Wzięcie pod uwagę wpływów i inspiracji, którym podlegał Einstein, nie powinno prowadzić do zlekceważenia jego własnego, oryginalnego wkładu. Wspomniane idee oddziaływały heurystycznie na jego rozumowania nie w postaci źródłowej, w jakiej zostały mu przekazane, lecz w postaci zinternalizowanej, przepuszczone przez filtr jego intelektu. I tak

75 H. Poincaré: *La Mesure...*

76 A. Eddington: *The Mathematical Theory of Relativity*. Cambridge 1960 s. 27-28.

np. z samej ontologicznej zasady względności nie wynika w sposób czysto logiczny fizyczna zasada względności. Dopóki zasada Macha pozostaje jedynie projektem, nie sposób *a priori* wykluczyć możliwości, że w świecie, który by ją realizował, istniałby fizyczny absolutny spoczynek, tj. fizycznie wyróżniony stan ruchu (np. spoczynek względem środka masy Wszechświata). Brak fizycznego absolutnego spoczynku wiąże się z symetrią praw przyrody względem określonej grupy przekształceń kinematycznych; nie jest zaś oczywiste, że w holistycznym modelu realizującym zasadę Macha prawa fizyki lokalnej mogłyby cechować potrzebna symetria. Podobnie, do spostrzeżenia faktu względności równoczesności fizycznej mogło dojść jedynie dzięki co najmniej częściowemu przewyżczeniu stanowiska konwencjonalistycznego, które sprzyja raczej jego zlekceważeniu w związku z tendencją do potraktowania go jako produktu konwencji. W każdym z tych przypadków istotną rolę odgrywała jakaś intuicja znacznie wykraczająca poza treść przejętej idei.

W stosunku do przedstawionych wyżej rozważań może pojawić się zarzut niekompletności z powodu nieuwzględnienia genezy zasady równoważności masy i energii, przedstawianej często jako jeden z najdonioślejszych, jeśli nie wręcz najważniejszy wynik STW. Jeśli jednak zgodzić się, że szczególna teoria względności to przede wszystkim nowa kinematyka w powiązaniu z określonym warunkiem, nałożonym na postać równań wyrażających prawa przyrody, to równoważność masy i energii nie ma nic wspólnego z jej odkryciem, lecz stanowi efekt pewnego zastosowania gotowej już teorii. Tak zresztą wydaje się traktować ten wynik sam Einstein.⁷⁷ Analiza heurystycznych uwarunkowań jego genezy, sama w sobie być może interesująca, wykraczałaby więc poza ramy tego artykułu.

Na podstawie przeanalizowanego wyżej przykładu z historii nauki można zorientować się, jak ważną rolę w poszukiwaniach, które doprowadziły do przełomowego odkrycia, odegrały idee filozoficzne. Oczywiście pracę badawczą w dziedzinie jakiejś nauki szczegółowej można prowadzić bez świadomej refleksji filozoficznej. Postępując tak, badacz nie uniknie jednak całkowicie wpływu idei filozoficznych, które będą nań wtedy oddziaływały za pośrednictwem swoich zwulgaryzowanych wersji, funkcjonujących jako intelektualne przesady w środowisku, w którym się obraca. Naturalnie ich zasób będzie również znacznie uboższy, niż w przypadku, gdyby zdecydował się on świadomie czerpać z bogatego dorobku myśli filozoficznej. Poza tym, przesady intelektualne mają status pewników, których zakwestionowanie nie przychodzi nikomu do głowy; nie uświadomione przyjmowanie ich od otoczenia sprzyja więc bezkrytycznemu dogmatyzmowi. Zapewne nie wykluczy to całkowicie możliwości dokonania epokowego odkrycia; trudno byłoby jednak oczekiwać, że będzie mu sprzyjało. Dlatego warto położyć nacisk na pożytek płynący z kształcenia filozoficznego adeptów nauk szczegółowych, jak również na konieczność przezycięzania ciągle jeszcze pokutujących w niektórych środowiskach antyfilozoficznych przesądów.

Recenzent: *Ludwik Kostró*

Artykuł wpłynął do Redakcji w lipcu 1990 r.

77 A. Einstein: *Zur Elektrodynamik...*