

Wiesław Wójcik

Mechanizm ewolucji fizyki według Poincarégo

Wprowadzenie

Rozwój nauki zawiera dwie pozornie sprzeczne ze sobą tendencje. Jedną z nich jest dążenie do formułowania prostych praw obejmujących coraz większą liczbę zjawisk. Drugą natomiast jest odkrywanie pod pozorną prostotą coraz bardziej skomplikowanych struktur, nie dających się ująć w jedno prawo.

„Któraż z dwu tych dążeń, zdających się triumfować kolejno, weźmie ostatecznie górę? Jeśli pierwsza, nauka jest możliwa; ale nic nie dowodzi tego *a priori* i obawiać się można, że po próżnych usiłowaniach nagięcia odpornej przyrody do naszego ideału jedności, zalani zbierającą ustawicznie falą nowych bogactw, będziemy zmuszeni rzec się ich ogarnięcia, porzucić nasz ideał i zredukować naukę do rejestru niezliczonych recept”¹.

W pierwszej połowie XIX wieku zdawała się święcić triumfy pierwsza z wyżej wymienionych tendencji. Odkrycia H.Ch. Oersteda, A.M. Ampera i M. Faradaya doprowadziły do połączenia w jedną teorię elektromagnetyzmu zjawisk elektrycznych oraz magnetycznych. Ogromnym sukcesem w dążeniu do jedności była teoria Maxwella łącząca zjawiska elektromagnetyczne ze zjawiskami optycznymi.

Teoria Lorentza, która powstała pod koniec XIX wieku, była próbą utrzymania pełnej jedności w fizyce. Miała połączyć mechanikę klasyczną z nowo powstałą i odbiegającą od klasycznych wzorców fizyki teorią Maxwella. Napotkała jednak na poważne trudności. Na usunięcie tych trudności liczył Poincaré. Mimo wielu interesujących rozwiązań i sugestii nie odniósł jednak sukcesu. Zresztą, w trakcie jego prac nad teorią elektronu (bo tak nazywała się teoria Lorentza–Poincarégo) pojawiła się praca A. Einsteina *O elektrodynamice ciał w ruchu*, która zupełnie zmieniła perspektywę patrzenia na przyrodę i odrzuciła wiele starych schematów i przyzwyczajęń. Program Lorentza–Poincarégo został zaniechany, mimo iż nie zaniechano prób w dążeniu do osiągnięcia jedności.

¹ H. Poincaré: *La science et l'hypothèse*. Paris 1925. Przekład M.H. Horowitz. Warszawa 1908, s. 143.

Dla Poincaré'go istnieje dowolnie wiele pokładów rzeczywistości. Pod pozornie skomplikowanym układem ukrywa się prosty mechanizm, który nim kieruje; ta prostota jest znów wynikiem niedokładności naszego patrzenia i w konsekwencji otrzymujemy proste, lecz statystyczne prawa. To, na którym poziomie się zatrzymamy, jest w dużym stopniu sprawą konwencji i wygody (lecz nie do końca).

W ewolucji fizyki Poincaré wyróżnił dwa etapy i przewidywał nadchodzący ewentualnie trzeci²:

1. Fizyka sił centralnych. Na tym etapie rozwoju fizyki prawo grawitacji Newtona stało się wzorem, zgodnie z którym próbowano budować całą fizykę. Pewne fragmenty nowej fizyki zaczęły wyłamywać się z tego modelu. Był to przełom w fizyce.

2. Fizyka zasad. Nowa era fizyki polegała na tym, iż powstające zasady, które wynikały właściwie z hipotezy sił centralnych (z wyjątkiem zasady Carnota, która mówiła o nieodwracalności pewnych zjawisk i była wręcz w sprzeczności z tą hipotezą), nie określały mechanizmu działania przyrody, lecz podawały jej fenomenologiczny opis. Przykładem podanym przez Poincarégo jest teoria Maxwella, którą francuski uczony uważał za fenomenologiczny opis eteru. „Niczego nie wiemy o tym, co to takiego eter, jak rozmieszczone są jego molekuly, czy przyciągają się wzajemnie, czy odpychają. Wiemy jednakże, że ośrodek ten przekazuje zarówno zaburzenia optyczne, jak i elektromagnetyczne. Wiemy, że to przekazywanie zachodzi w zgodzie z ogólnymi prawami mechaniki i że to okazuje się wystarczające do tego, by ustalić równania pola elektromagnetycznego”³. Zasady są na tyle ogólne, że nie wnikają w szczegóły mechanizmu, dają tylko ogólny schemat działania. Ta ogólność zapewnia im wiarygodność i uodparnia na ciosy doświadczenia. Zasady cechuje również prostota.

Jednak koniec XIX wieku to dla Poincarégo kryzys fizyki zasad. Poincaré wierzył, że fizyka ta wyjdzie z tego kryzysu zwycięsko, że proste, dogodne zasady będą zachowane w niezmienionej postaci. Jednak biorąc pod uwagę negatywny, według niego, bieg zdarzeń, podał istotę nowej fizyki, która powstałaby po fizyce zasad.

3. Jak fizyka zasad usunęła prostotę jedności hipotezy sił centralnych, zastępując ją kilkoma zasadami (wokół których skupiały się nowe teorie), tak nowa fizyka odrzuci prostotę zasad i będzie szukać dokładniejszych praw mechaniki (stare zasady będą tylko granicznymi, uproszczonymi przypadkami) oraz praw statystycznych, na wzór kinetycznej teorii gazów. Prawa, które

² H. Poincaré: *L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique*. „Bull. des Sciences Math.” 1904, ser. 2, s. 28; jest to referat, który Poincaré wygłosił na Międzynarodowym Kongresie Nauki i Sztuki w St. Luis w USA, 24 września 1904 r.

³ W. Kruczek (red.): *Literatura źródłowa do Kursu „Podstawy fizyki na Politechnice Warszawskiej”*. T. 3. Warszawa 1981, s. 258.

do tej pory miały postać równań różniczkowych, staną się prawami statystycznymi.

W każdym z tych przypadków Poincaré sądzi, że rozwój nauki jest procesem ciągłym. Istotne cechy starej fizyki zawsze można odnaleźć na kolejnym etapie jej rozwoju. W niedługim czasie po tych przewidywaniach Poincarégo powstała szczególna teoria względności. Teoria ta była w pewnym stopniu kontynuacją fizyki zasad. Jednak Poincaré miał opory, jeśli chodzi o jej akceptację. Dzięki analizie ewolucji zasady względności poprzez pryzmat filozofii nauki Poincarégo, będę starał się ten problem naświetlić i wyjaśnić; ukażę również różnice między rolą tej zasady w teorii względności Einsteina i w teorii elektronu Poincarégo.

W celu uchwycenia istoty filozofii nauki Poincarégo, konieczną rzeczą jest przyjrzenie się temu, co i w jaki sposób stanowiło inspirację dla Poincarégo w jego rozważaniach nad strukturą nauki. Z jednej strony Poincaré był pod bardzo silnym wpływem filozofii Kanta, a z drugiej – w dużym stopniu czerpał z idei zawartych w programie z Erlangen F. Kleina.

Rola struktur apriorycznych w budowie wiedzy

W 1872 r. niemiecki matematyk F. Klein ogłosił program geometrii*, który rzucał nowe światło na matematykę.

Klein wychodzi od spostrzeżenia, że istnieją przekształcenia, które nie zmieniają pewnych własności figur geometrycznych. Za podstawowe własności uznaje własności geometryczne, tzn. własności niezależne od położenia, wielkości bezwzględnej i od porządku. Istnieją pewne przekształcenia (przesunięcia, obroty, symetrie, podobieństwa), które nie zmieniają własności geometrycznych. Co więcej, przekształcenia te tworzą grupę, którą Klein nazywa grupą główną. Można więc traktować geometrię elementarną jako teorię badającą te własności figur geometrycznych, które nie zmieniają się pod działaniem grupy głównej.

Zauważmy, co dzieje się, gdy zamiast grupy głównej będziemy rozpatrywać pewną jej podgrupę, np. podgrupę wszystkich przekształceń zachowujących długość odcinków (tzn. izometrii). Oczywiście, większa liczba własności figur jest zachowywana przy izometriach, niż przy przekształceniach grupy głównej (obszerniejszej od grupy izometrii). Znaczy to, że struktura przestrzeni względem grupy głównej jest uboższa (badamy mniej własności) niż struktura przestrzeni względem grupy izometrii. Można jednak sztucznie wzbogacić strukturę przestrzeni, rozpatrywanej względem grupy głównej, o dodatkowy element, który jest zarazem elementem stałym grupy izometrii (w tym przypadku

* Program ten wygłosił F. Klein podczas wstąpienia do senatu uniwersytetu w Erlangen w 1872 r.

tym elementem stałym jest odcinek o ustalonej długości, określający strukturę metryczną przestrzeni). Otrzymujemy tym samym dwie równoważne sytuacje: „Jest jedno i to samo, czy utwory przestrzenne badamy ze względu na grupę główną i dołączamy do nich punkt dany, czy też, gdy nie dołączając nic danego, zastępujemy grupę główną przez grupę w niej zawartą, a której przekształcenia punkt ten pozostawiają bez zmian”⁴.

W programie Kleina geometria zostaje sprowadzona do teorii niezmienników danej grupy przekształceń. „Jak długo podstawą badania geometrycznego jest ta sama grupa przekształceń, treść geometrii pozostaje niezmienną”⁵. Znaczy to, że dana ustalona grupa przekształceń jednoznacznie ustala daną geometrię, niezależnie od własności przestrzeni, na której działa. W tym ujęciu istotna staje się ogólna struktura (grupa danych przekształceń), którą narzucamy na badaną przestrzeń. Sama możliwość narzucenia takiej struktury determinuje już własności tej przestrzeni.

Poincaré w dużym stopniu był pod wpływem wyżej przedstawionych idei. Uważał, że pojęcie grupy oraz niezmiennika ma podstawowe znaczenie dla matematyki⁶. Tym pojęciom przypisywał zasadniczą rolę we wszelkim poznaniu. Sądził, że pojęcie grupy „preegzystuje w umyśle ludzkim” i określa pewną aprioryczną strukturę umysłu. Ta aprioryczna struktura stanowi formę poznania.

Zwróćmy uwagę na różnicę z koncepcją Kanta, dla którego pojęcia czasu i przestrzeni stanowiły formę doświadczenia. Poincaré przyznaje więc doświadczeniu znacznie większą rolę, niż czyni to Kant. Świat, według Poincarégo, ma swoją własną, obiektywną, niezależną od umysłu strukturę, która przyjmowana jest przez umysł w sposób przedrefleksyjny. Pojęcie grupy istnieje w umyśle przed wszelkim doświadczeniem, jednak taka a nie inna struktura doświadczenia umożliwia, że to pojęcie zaczyna funkcjonować. Dokładniej, do tych elementów struktury doświadczenia należą:

- 1) istnienie ciał sztywnych;
- 2) możliwość kompensowania ruchu ciał sztywnych, dzięki zdolności poruszania się.

Poznanie, a więc wszelkie świadome ujęcie struktury świata, możliwe jest wyłącznie w ramach pojęcia grupy. W programie Kleina bowiem, dzięki pojęciu grupy powstaje dana struktura geometryczna (dana geometria powstaje jako teoria niezmienników określonej grupy przekształceń). Myślę, że w tym momencie można koncepcję Poincarégo nazwać teorią podstawowych struktur poznania. Pojęcie grupy oraz niezmiennika stanowią centralny element podstawowych struktur poznania.

⁴ F. Klein: *Rozważania porównawcze o nowszych badaniach geometrycznych*. „Mathematische Annalen” 1893, nr 43. Przekład S. Dickstein. „Wiadomości Matematyczne” 1900. T. 4, s. 32.

⁵ Tamże, s. 37.

⁶ M. Poincaré: *La science et l'hypothèse*, wyd. cyt., rozdział czwarty.

Drugim elementem tej struktury jest zasada indukcji apriorycznej, która nadbudowuje się nad elementem pierwszym. Ta zasada polega na uświadomieniu sobie przez umysł możliwości wykonania danej operacji nieskończenie wiele razy. Jest ona istotnym elementem powstawania każdej wiedzy. Przykładem działania tej zasady jest zasada indukcji matematycznej czy wszelkiego typu definicje rekurencyjne. Dzięki tym dwóm wskazanym elementom, konstytuującym podstawowe struktury poznania, powstają pojęcia ogólne oraz prawa ukazujące związki pomiędzy pojęciami ogólnymi.

Zasada fizyki jako konwencja

Raczej oczywistą tezą jest stwierdzenie, iż na powstanie teorii fizycznej wpływ mają elementy konwencjonalne, takie jak: wybór języka czy uznanie danych faktów za fakty surowe, tzn. za fakty, które są przedstawieniem subiektywnych spostrzeżeń. Sądzę, że nie to jest interesujące i odkrywcze w konwencjonalizmie Poincarégo.

Oczywiste jest, że już u początku powstania teorii fizycznej pojawia się konwencja. W tym momencie jest ona czymś zewnętrznym w stosunku do budowanej teorii (sam wybór nie staje się elementem teorii, lecz wynik tego wyboru). Fakty surowe są niewystarczające dla nauki, gdyż odpowiadają im tylko jednostkowe spostrzeżenia. Na ich podstawie nie można nic ogólnie wnioskować. „Zaobserwowany fakt nigdy przeto nie powróci; twierdzić można jedynie, że w warunkach analogicznych zajdzie fakt analogiczny. Aby przewidywać, trzeba więc odwoływać się do analogii, co już znaczy uogólniać”⁷.

W celu stworzenia przydatnej teorii fizycznej należy budować zdania ogólne. Ponieważ uogólniać możemy na wiele sposobów (przy zachowaniu zgodności z doświadczeniem), więc potrzebne są kolejne elementy konwencjonalne. Ponieważ uogólnienie jest tylko hipotezą, więc powinno ulec sprawdzeniu przez doświadczenie. Może ono potwierdzić hipotezę lub ją obalić. Ciągłe potwierdzana hipoteza zamienia się, na pewnym etapie rozwoju, w zasadę fizyki. Według Poincarégo, zasady fizyki są niezależne od doświadczenia – są to konwencje. Konwencję, którą jest zasada fizyki, nazwę konwencją w sensie ścisłym, w odróżnieniu od poprzednich, które są wyłącznie pewnymi wyborami.

Spójrzmy na budowę prawa naukowego, zanim stanie się ono zasadą. Prawo to jest pewną strukturą f zależną od trzech elementów: b – baza, p – prostota, e – eksperyment.

$$p(\text{prawo}) = f(b, p, e)$$

W trakcie rozwoju nauki prawo fizyki ewoluuje. Powstaje „ciąg” praw f_i ,

⁷ Tamże, s. 119.

$f_2, f_3, \dots$. Oczywiście, przy wyborze każdego z kolejnych praw w tym ciągu decyduje konwencja. Sam ciąg $\{f_n\}$ jest więc pewną konwencją k . Właśnie ten ciąg staje się zasadą fizyki z . Zasada jest już strukturą F zależną od czterech elementów: b, p, e oraz k .

$$z(\text{zasada}) = F(b, p, e, k)$$

W odróżnieniu od prawa fizyki zasada tym się charakteryzuje, iż konwencja jest jej wewnętrznym elementem (dla prawa naukowego konwencja jest tylko zewnętrznym wobec niego wyborem). Myślę, że w takim rozumieniu zasady fizyki – konwencji tkwi sedno konwencjonalizmu Poincarégo; takie rozumienie decyduje o tym, że zasada fizyki mimo, iż powstaje w oparciu o doświadczenie, to jednak jest niemożliwe, aby doświadczenie było w stanie ją obalić.

W celu dokładniejszego wyjaśnienia tej kwestii, spójrzmy na zasadę fizyki – konwencję przez pryzmat podstawowych struktur poznania. Przyjrzyjmy się, jaki jest mechanizm powstawania zasady fizyki.

W trakcie rozwoju fizyki powstaje ciąg praw: $f_1, f_2, f_3, \dots$. Prawa te są kolejnymi uzgodnieniami z eksperymentem. Eksperyment może potwierdzić prawo całkowicie, lecz praktycznie zawsze istnieje pewna niezgodność między prawem fizyki a doświadczeniem. Niezgodność ta narastając z czasem wymaga pewnych modyfikacji – po takiej modyfikacji prawo uznaje się za potwierdzone przez doświadczenie. Często dane prawo pozostaje niezmiennione, jedynie modyfikuje się towarzyszące mu prawa, co jednak i tak zmienia jego sens.

Prawo fizyki f_1 zostało sformułowane na podstawie pewnych danych doświadczalnych, dzięki ogólnemu pojęciu grupy (w dalszej części wyjaśnię to dokładniej). Prawo to ma więc eksperymentalne potwierdzenie. Modyfikacja, uzgadniająca dane prawo fizyki z nowymi doświadczeniami, jest możliwa dzięki drugiemu składnikowi podstawowych struktur poznania (tj. dzięki zasadzie indukcji apriorycznej), który pokazuje, że zgodność prawa z doświadczeniem może być w sposób sensowny utrzymana. Znaczący to, że wkracza czysty umysł z aprioryczną zdolnością uświadamiania sobie możliwości wykonania modyfikacji nieskończenie wiele razy. I tak powstaje zasada fizyki – konwencja. Kolejne prawa fizyki powstały na podstawie konwencji (również dzięki doświadczeniu oraz formalizmowi matematycznemu), która ustalała konieczność uzgodnienia danego prawa z doświadczeniem. Natomiast sama zasada jest konwencją, która polega na tym, że konwencjonalne postanowienie uzgodnienia danego prawa z doświadczeniem uznaje się za zawsze możliwe i sensowne (jest to więc stwierdzenie istnienia nieskończonego ciągu praw: $f_1, f_2, f_3, \dots$). Tym samym,

konwencja zaczyna pełnić w strukturze teorii fizycznej rolę elementu apriorycznego – staje się niekwestionowaną podstawą rozbudowy teorii i określa zarazem poprawność formułowanych praw i twierdzeń.

Gdyby spojrzeć na ciąg praw f_n jako na program badawczy w sensie Lakatosa, to wówczas zasady fizyki (według Lakatosa) znajdowałyby się w twardym rdzeniu każdej teorii f_n i nie podlegałyby zmianie przy ewolucji tych praw. Natomiast w koncepcji Poincarégo dopiero od pewnego momentu rozwoju teorii prawo zamienia się w zasadę, tzn. twardy rdzeń „rozszerza się” w trakcie rozwoju.

Zasada względności Galileusza

Przyjrzyjmy się obecnie zasadzie względności Galileusza z punktu widzenia teorii podstawowych struktur poznania. Powstanie tej zasady stanowi zarazem istotny moment ewolucji zasady względności jako konwencji. Wraz z powstaniem tej zasady dokonują się równocześnie dwie rzeczy:

1. Utożsamienie ruchu jednostajnego prostoliniowego (inercjalnego) ze spoczynkiem.

2. Uznanie ruchu jednostajnego prostoliniowego za pierwotne pojęcie fizyczne.

Ruchy inercjalne uzyskują status pojęcia niezależnego od innych pojęć – również od pojęcia przestrzeni absolutnej.

Zauważmy, że zasada względności jest ściśle związana z przekształceniami Galileusza (zmiana współrzędnych położenia i prędkości przy przejściu do innego układu inercjalnego). Patrząc przez pryzmat podstawowych struktur poznania widzimy, że zasada względności Galileusza powstała na bazie ogólnego pojęcia grupy. To ogólne pojęcie grupy, dzięki utożsamieniu (w sensie fizycznym) ruchów jednostajnych prostoliniowych ze spoczynkiem, stało się grupą przekształceń Galileusza.

Zauważmy, że w fizyce Arystotelesa każdy ruch wymaga fizycznego wyjaśnienia (tylko spoczynek jest stanem, którego nie trzeba fizycznie usprawiedliwiać). W mechanice klasycznej Newtona wszelki ruch inercjalny ma już taki status (jest to więc pierwotne pojęcie fizyczne, gdyż prawa mechaniki nie mogą stwierdzić istnienia ruchu inercjalnego). I właśnie w tym momencie pojawia się zasada względności. Ma ona jednak charakter ograniczony – właśnie do ruchów inercjalnych. Nie uznawał jej więc Poincaré za zasadę fizyki w swoim rozumieniu tego słowa, gdyż nie była dość ogólna. Bo „dlaczego zasada ta jest prawdziwa jedynie o tyle, o ile ruch osi jest prostoliniowy i jednostajny? Czy nie powinna by ona narzucać się nam z równą siłą, gdy ruch ten jest niejednostajny, albo przynajmniej gdy sprowadza się do jednostajnego obrotu. Otóż w obu tych przypadkach zasada ta nie jest prawdziwa”¹⁸.

Poincaré rozważa zjawisko obrotu Ziemi wokół własnej osi. Nawet gdybyśmy nie mieli możliwości obserwowania innych obiektów poza Ziemią, to jednak dałoby się stwierdzić jej ruch wirowy, na przykład poprzez eksperyment Foucaulta z wahadłem. Pojęcie ruchu jest jednak pojęciem względnym – można mówić jedynie o ruchu jednego ciała względem drugiego. Natomiast w przypadku ruchu wirowego Ziemi nie można stwierdzić względem czego się ona obraca, jeśli nie posiadamy oczywiście pojęcia przestrzeni absolutnej. Stwierdzenie: „Ziemia się obraca” ma taki sam sens jak zdanie: „dogodniej jest przyjąć, że Ziemia się obraca”. Zastanówmy się, na czym polega wspólny sens powyższych wyrażen.

Stwierdzamy, iż Ziemia nie jest układem inercyjnym, tzn. że prawa mechaniki nie są w układzie związanym z Ziemią spełnione. Wyrażając się jeszcze inaczej, znaczy to, że położenia Ziemi nie można wyliczyć na podstawie równania różniczkowego drugiego rzędu. „Wartości odległości w jakiegokolwiek chwili należą od ich wartości początkowych, pierwszych pochodnych oraz od czegoś innego. Czym jest to coś innego?”

Są przynajmniej trzy możliwości:

1. Tym dodatkowym parametrem może być przyspieszenie układu. Przyjęcie tej możliwości wiązałoby się z odrzuceniem podstawowej zasady fizyki, na mocy której, mając określone położenie i prędkość układu w danej chwili, możemy określić stan tego układu w dowolnej innej chwili.

2. Może to być struktura geometryczna przestrzeni, określająca w tym przypadku ruch Ziemi po krzywej.

3. Można wreszcie przyjąć istnienie jakiegoś hipotetycznego obiektu, określając jego położenie i prędkość.

Wszystkie te trzy możliwości likwidują ruch Ziemi i prowadzą to tego, iż te zjawiska obserwowane na Ziemi, które można wytłumaczyć ruchem wirowym Ziemi, zostają wyjaśnione w inny sposób: poprzez zmienione prawa fizyki lub dzięki narzuceniu przestrzeni pewnej nowej struktury matematycznej, lub przez założenie istnienia pewnego hipotetycznego obiektu.

Zauważmy, że przez to rozumowanie Poincaré proponuje uznanie pojęcia ruchu za pojęcie pierwotne: zakładamy, że Ziemia się obraca i nie analizujemy już dalej, co przez to należy rozumieć. Przyjmujemy założenie o ruchu wirowym Ziemi tylko jako założenie upraszczające strukturę teorii, bez wnioskowania, że ruch ten musi odbywać się względem absolutnej przestrzeni (jak sądził Newton). Tym samym, ruch staje się pojęciem mającym sens sam w sobie, staje się pojęciem pierwotnym. Pojęcie ruchu, jako pojęcie pierwotne, zastępuje newtonowskie pojęcie absolutnej przestrzeni.

Widzieliśmy, że w mechanice Newtona status pojęcia pierwotnego miał tylko ruch inercyjny (np. ruch obrotowy był to ruch względem absolutnej

⁸ Tamże, s. 97.

⁹ Tamże, s. 103.

przestrzeni) – u Poincarégo wszelki ruch ma ten status. Tak jak przyjęcie założenia o tym, że ruchy inercjalne mają status pojęcia pierwotnego w fizyce, wiązało się z przyjęciem zasady względności Galileusza (obejmującej układy inercjalne), opartej na grupie przekształceń Galileusza, tak również nadanie takiego statusu wszelkim ruchom powinno wiązać się ze sformułowaniem maksymalnie ogólnej zasady względności, obejmującej wszelkie układy odniesienia i opartej na pewnej grupie przekształceń.

Krokiem do osiągnięcia tego celu była dla Poincarégo teoria Lorentza. Rozpoczął więc budowę teorii elektronu, która miała zunifikować mechanikę klasyczną z elektrodynamiką Maxwella. Teoria ta, zgodnie z filozofią nauki Poincarégo, miała być oparta na grupie przekształceń – tą grupą stała się w teorii elektronu grupa przekształceń Lorentza¹⁰.

Teoria elektronu Lorentza–Poincarégo

Okazuje się, że nie wszystkie prawa fizyki są niezmiennicze względem przekształceń Galileusza (równania elektrodynamiki Maxwella nie są niezmiennicze względem tych przekształceń; jednak pewne wyniki doświadczalne potwierdzały zasadę względności (negatywne wyniki doświadczeń Michelsona–Morleya). Oprócz przekształceń Galileusza (dotyczą praw mechaniki) pojawiają się przekształcenia Lorentza, względem których niezmiennicze są prawa elektrodynamiki. Można powiedzieć, że doświadczenie domagało się nowej grupy przekształceń, która stałaby się podstawą nowej teorii. Poincaré uznał więc grupę przekształceń Lorentza za podstawę teorii mającej zunifikować całą dotychczasową fizykę (ta modyfikacja miała jednak przebiegać w duchu fizyki zasad). Rozpoczął więc budowę teorii elektronu, w oparciu o teorię Lorentza.

Doświadczenia Michelsona–Morleya ukazywały niemożność określenia absolutnego ruchu Ziemi. Coraz dokładniejsze pomiary wskazywały w sposób nieuchronny na zasadę względności jako na ogólne prawo przyrody. Baza eksperymentalna była dla Poincarégo wystarczająca, aby uznać zasadę względności za konwencję, która stałaby się podstawą nowej teorii unifikującej mechanikę klasyczną z elektrodynamiką Maxwella.

Chcąc wytłumaczyć fakt niemożności wykrycia ruchu Ziemi względem eteru, Lorentz podał hipotezę mówiącą o skróceniu długości wszystkich ciał w kierunku ruchu. Oczywiście, ta hipoteza uwzględniała wyłącznie wyniki doświadczeń, które wykazywały niemożność określenia ruchu Ziemi przy ustalonym stopniu dokładności pomiarów. Istniała teoretyczna możliwość przeprowadzenia dokładniejszych pomiarów, które wykryłyby ten ruch.

¹⁰ H. Poincaré: *Sur la dynamique de l'électron*. Compt. Rend. 1905, 140, s. 1504–1508; również w *Oeuvres*, s. 489–493. H. Poincaré: *Sur la dynamique de l'électron*. Rendiconti Circolo math. di Palermo 1906, 21, s. 139–176, również w *Oeuvres*, s. 494–550.

Jednak Poincaré sądził, iż „można przewidzieć, że te doświadczenia, jeśli uda się je kiedykolwiek urzeczywistnić, dadzą także sprzeczny rezultat. Lorentz starał się uzupełnić i zmienić hipotezę tak, aby ustanowić odpowiedniość między nią a postulatem o zupełnej niemożności określenia absolutnego ruchu”¹¹. Według Poincarégo, chciał więc Lorentz skonstruować zasadę fizyki, a więc konwencję (zawierałaby ona w sobie możliwość jej uzgadniania z dowolnie dokładnymi pomiarami).

Na hipotezę Lorentza, która podawała wzór na skrócenie długości ciał w kierunku ruchu, można spojrzeć jak na przekształcenia układu współrzędnych (tzw. przekształcenia Lorentza – nazwę tę wprowadził Poincaré w cytowanej pracy¹². Te przekształcenia, podane przez Poincarégo w oparciu o pracę Lorentza *Elektromagnetyczne zjawiska w układzie poruszającym się z dowolną prędkością, mniejszą od prędkości światła*, mają następującą postać:

$$x' = k l (x + \epsilon t), y' = l y, z' = l z, t' = k l (t + \epsilon x),$$

gdzie x, y, z, t – współrzędne (t – czas) przed przekształceniem, natomiast x', y', z', t' – po przekształceniu, ϵ – wielkość stała określająca dane przekształcenie,

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \epsilon^2}}, \text{ a } l - \text{ pewna funkcja zależna od } \epsilon.$$

Zgodnie ze swoją filozofią poznania Poincaré uważał, że te przekształcenia (jeśli mają być podstawą budowanej teorii) wraz z przestrzennymi obrotami powinny stanowić grupę. W tym przypadku jednak l powinno być równe 1. To był pierwszy krok upraszczający strukturę przekształceń Lorentza. W celu zrobienia następnego (tzn. ukazania, że przekształcenia Lorentza można wiązać z zasadą względności w analogiczny sposób, jak związana była zasada względności z przekształceniami Galileusza w ramach mechaniki Newtona) podał hipotezę pewnych sił (tzw. nacisków Poincarégo), które miałyby być odpowiedzialne za skrócenie długości ciał. Poincaré sądził, że definiując takie siły doprowadzi do niezależności zasady względności od doświadczenia – na ten kontakt z doświadczeniem i ewentualne korekty narażona byłaby tylko teoria tych sił (nacisków). „Ale badając hipotezę Lorentza zauważamy, że zgodność między formułami nie wynika sama z siebie; otrzymujemy ją równocześnie z wyjaśnieniem ściśnięcia elektronu, gdy założymy, że deformujący i zgniatający się elektron podlega stałemu zewnętrznemu naciskowi, którego praca jest proporcjonalna do zmiany objętości tego elektronu”¹³. Poincaré rozumie elektrony jako elementarne cząstki, z których zbudowana jest materia.

Poincaré próbuje w swoją teorię elektronu włączyć również oddziaływania grawitacyjne. Uważa, że oddziaływania te (jak również inne oddziaływania

¹¹ Tamże (1905).

¹² Tamże, s. 490.

¹³ Tamże, s. 491.

z wyjątkiem nacisków oraz bezwładności) mają pochodzenie elektromagnetyczne – dzięki temu możemy te oddziaływania podporządkować przekształceniom Lorentza. Wówczas, podobnie jak w przypadku równań Maxwella, prawa opisujące te oddziaływania powinny być niezmiennicze względem przekształceń Lorentza. Nad tym pracował Poincaré, nie odnosząc jednak sukcesu. Nikt praktycznie nie podjął pracy nad jego teorią – została zaniechana, a podstawą dalszego rozwoju fizyki w tym zakresie stała się szczególna teoria względności Einsteina. Zresztą Einstein postawił sobie, w pierwszym etapie, znacznie skromniejszy zamiar – jego teoria miała być wyłącznie teorią mierzenia, nie uwzględniającą żadnych oddziaływań pomiędzy ciałami (przestrzeń szczególnej teorii względności jest przestrzenią „pustą”).

Zaznaczmy jednak, że w pewnym sensie podejście Poincarégo i Einsteina było takie same – również Poincaré dostrzegł, iż nowa teoria fizyczna, oprócz zasady względności, jako podstawę powinna zawierać jeszcze zasadę mówiącą o stałości prędkości światła. Poincaré uważa, że „jeśli przyjęlibyśmy zasadę względności, to w prawie grawitacji i w prawach elektromagnetyzmu odnaleźlibyśmy ogólną stałą – prędkość światła. Dokładnie tak samo odnaleźlibyśmy tę stałą we wszystkich innych siłach dowolnego pochodzenia, co można wyjaśnić tylko z dwóch punktów widzenia: albo wszystko, co istnieje w świecie, ma pochodzenie elektromagnetyczne, albo to pokrewieństwo, okazujące się ogólnym dla wszystkich fizycznych zjawisk, jest niczym innym jak czymś, co jest związane z metodami naszych pomiarów”¹⁴. Przyjmując ten drugi punkt widzenia, Poincaré sądzi, że „zgodnie z tą teorią, dwoma równymi odcinkami – z definicji – będą takie dwa odcinki, które światło pokonuje w tym samym czasie”¹⁵.

Zauważmy jeszcze, że Poincaré traktował skrócenie Lorentza jako efekt dynamiczny. Dlatego też potrzebował wprowadzenie pewnych sił, które by to skrócenie wyjaśniały. Założenie o istnieniu tych sił było poza tym jednym z podstawowych założeń koncepcji Poincarégo. Natomiast dla Einsteina skrócenie Lorentza było wyłącznie kinematycznym efektem – rezultatem narzucenia na czasoprzestrzeń pewnej struktury wynikającej z dwu przyjętych postulatów (tzn. zasady względności obejmującej wszystkie prawa fizyki oraz zasady o stałości prędkości światła w próżni).

Chciałbym przy okazji zwrócić uwagę na jedną bardzo ważną zasługę teorii Lorentza–Poincarégo. Teoria ta ukazała sprzeczność w potocznym rozumieniu tego, co realne i prawdziwe. Chodzi o to, że w teorii tej występował podział na „czas realny (prawdziwy)” i „czas fikcyjny”. Pojęcie skrócenia długości nie wymagało wprowadzenia takiego podziału – poradzono z nim sobie przyjmując hipotezę pewnych sił (nacisków), które powodowały to skrócenie. Z pojęciem czasu nie dało się nic zrobić. Sprzeczność, która się

¹⁴ Tamże, s. 498.

¹⁵ Tamże, s. 498.

pojawiła, polega na tym, iż podział na czas prawdziwy i fikcyjny uderza w zasadę względności – wyróżniony jest układ, w którym czas jest prawdziwy (jest to układ związany z eterem).

Dzięki temu można było zauważyć, że przynajmniej takie pojęcia, jak czas i realność, w swoim intuicyjnym rozumieniu zawierają sprzeczność; trzeba więc te pojęcia włączyć do teorii i uściślić. Te pojęcia zostały uściślone w szczególnej teorii względności. Włączenie czasu w strukturę teorii stało się więc dopiero faktem w szczególnej teorii względności – w teorii Poincarégo natomiast, czas jest elementem zewnętrznym względem teorii.

Szczególna teoria względności

W celu zrozumienia, dlaczego w szczególnej teorii względności zasada względności staje się zasadą fizyki (a więc konwencją w sensie Poincarégo), zobaczmy, na czym polega różnica pomiędzy rolą tej zasady w teorii Lorentza-Poincarégo i w teorii Einsteina.

Przy pomocy doświadczenia, z pojęć empirycznych powstaje prawo fizyczne. Rozpoczyna się proces ewolucji tego prawa, które może zakończyć się powstaniem zasady fizyki (tylko część praw i to mała, staje się zasadami). Prawo, które ewoluje w kierunku zasady, tym się charakteryzuje, że pojęcia fizyczne wchodzące w jego skład ewoluują w kierunku pojęć pierwotnych. Na przykład, u Arystotelesa za zasadę fizyki można uznać stwierdzenie mówiące, że każde ciało dąży do swego naturalnego miejsca. Pojęcie naturalnego miejsca jest w tej zasadzie pojęciem pierwotnym¹⁶.

Mogłoby się wydawać, że w fizyce Newtona zasada względności zawiera pojęcie ruchów inercjalnych jako pojęcie pierwotne. Jednak sędzę, że w mechanice klasycznej ruch inercjalny nie staje się pojęciem pierwotnym. Pojęcie (istnienie) ruchu inercjalnego (tzn. ruchu bez przyspieszeń) zależne jest od pojęcia (istnienia) układu odniesienia, względem którego ten ruch się odbywa. Układ odniesienia, a więc pojęcie przestrzeni, jest u Newtona pojęciem pierwotnym (jest to absolutny układ odniesienia związany z absolutną przestrzenią).

Dlatego też zasada względności Galileusza nie jest w przypadku mechaniki Newtona zasadą fizyki w sensie Poincarégo. Zasada względności mówi: ruchy inercjalne (ruchy jednostajne prostoliniowe względem absolutnego układu odniesienia) są nierozróżnialne przy pomocy praw fizyki (mechaniki). Jednak w mechanice klasycznej ruch względem absolutnej przestrzeni jest wyróżniony tzn. istnieje jeden wyróżniony układ inercjalny – układ związany z absolutną przestrzenią. Natomiast zasada bezwładności (jak i pozostałe zasady mechaniki

¹⁶ W. Wójcik: *Koncepcja dowodu a struktura rozwoju nauki*. „*Studia Philosophiae Christianae*” 1990, 26, s. 194–202.

Newtona) jest zasadą fizyki w sensie Poincarégo, gdyż w jej sformułowaniu możemy pominąć pojęcie ruchu inercjalnego i ograniczyć się wyłącznie do pojęcia układu inercjalnego (zasada ta stwierdza po prostu istnienie układu inercjalnego).

W szczególnej teorii względności pojęciem pierwotnym staje się pojęcie prędkości światła w próżni. Zakłada się, że ta prędkość jest maksymalną prędkością w przyrodzie. Z tego założenia wynika wprost, że prędkość ta jest stała we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Pojęcie przestrzeni staje się w szczególnej teorii względności zależne od pojęcia prędkości światła w próżni. Można rzec, że założenie, iż prędkość światła w próżni jest graniczną prędkością w przyrodzie, określa przestrzeń i nadaje jej pewną strukturę (oczywiście, wraz z postulatem względności). Dokładniej, tą strukturą jest geometria Minkowskiego. W szczególnej teorii względności zasada względności staje się więc zasadą w sensie Poincaré'go. Przyjrzyjmy się temu dokładniej.

Do czasów Einsteina uznawano za pojęcia pierwotne: czas, interwały czasowe, równoczesność zdarzeń, odległość. Brano je za intuicyjnie oczywiste – na przykład w oparciu o pojęcia interwałów czasowych i przestrzennych definiowano prędkość. Tym samym pojęcie prędkości nie było pojęciem pierwotnym.

Einstein odrzuca częściowo tę zależność – za pojęcie pierwotne przyjmuje prędkość światła w próżni (wraz z ogólnym pojęciem ruchu inercjalnego), natomiast pojęcia interwałów czasowych, przestrzennych itp. stają się zależne od pojęcia prędkości światła. Wobec tego, iż prędkość światła stała się pojęciem pierwotnym, prawdziwość stwierdzeń zawierających to pojęcie (i ewentualnie inne pojęcia pierwotne) musiała być uznana na zasadzie konwencji (dlatego w konsekwencji konwencjami są oba postulaty Einsteina; zauważmy, że pojęcia ruchu inercjalnego oraz układu inercjalnego też są pojęciami pierwotnymi).

Natomiast dowolny (konwencyjonalny) wcześniej status wypowiedzi o czasie i przestrzeni uległ zmianie. Te wypowiedzi trzeba uzasadnić. Jako przykład może służyć teza uznawana do czasów Einsteina za oczywistą: „Długość wszystkich ciał można zmierzyć przy pomocy sztywnych prętów (wzorców długości)”. W tezie tej występują w sposób jawny następujące pojęcia pierwotne: długość ciała, wzorec długości, sztywny pręt oraz samo pojęcie mierzenia. Natomiast w sposób ukryty w tej tezie pojawia się pojęcie równoczesności zdarzeń.

W teorii Einsteina uległy zmianie przynajmniej trzy elementy:

1. Pojęcie prędkości światła stało się pojęciem pierwotnym, a tym samym przestało być nim pojęcie długości.
2. Wzorcem pomiaru (innym od pojęcia sztywnego prętu) stała się prędkość światła w próżni.
3. Przestało być pojęciem pierwotnym pojęcie równoczesności – do pomiaru długości ciał w ruchu konieczne jest ustalenie równoczesności zdarzeń.

Po tym wszystkim czymś naturalnym wydaje się fakt, że równania elektrodynamiki Maxwella są niezmiennicze względem przekształceń Lorentza. Przekształcenia Lorentza wynikają wprost z postulatów Einsteina, a więc w gruncie rzeczy z faktu przyjęcia za pojęcie pierwotne pojęcia prędkości światła w próżni oraz z zasady względności. Natomiast teoria Maxwella z samej swojej istoty opiera się na pojęciu prędkości światła (fal elektromagnetycznych), jako na pojęciu pierwotnym – jest fenomenologicznym opisem zjawisk elektromagnetycznych.

Szczególna teoria względności a podstawowe struktury poznania

Patrząc przez pryzmat podstawowych struktur poznania na szczególną teorię względności zauważmy, że teoria ta zakłada istnienie nowego obszaru elementów apriorycznych w podstawowych strukturach poznania. U Einsteina ten obszar wypełnia pojęcie prędkości światła (wraz z założeniem o stałości tej prędkości w próżni) – to pojęcie określa nową strukturę aprioryczną, która zostaje umieszczona pomiędzy pojęciem grupy a rzeczywistością. Przypomnijmy, że w koncepcji Poincarégo pojęcie grupy stanowi strukturę aprioryczną bezpośrednio odpowiedzialną za kontakt poznawczy z rzeczywistością.

Jak zauważyłem wcześniej, oba postulaty Einsteina są konwencjami w sensie Poincarégo. Nie są to więc ani sądy empiryczne, ani analityczne, ani syntetyczne *a priori*. Jest to całkiem nowy rodzaj sądów – nowy rodzaj „prawdy apriorycznej”. Tak rozumiane konwencje definiują strukturę rzeczywistości, którą poznajemy w trakcie badań, a dokładniej – określają strukturę najprostszą dla danego zbioru doświadczeń. Szczególna teoria względności jest praktycznie opisem tej struktury i umieszczeniem istniejących praw fizycznych w tej właśnie strukturze. Z przyjętych dwóch postulatów (jak również z założenia o jednorodności czasu i przestrzeni, izotropowości przestrzeni oraz natychmiastowej zmianie kierunku rozchodzenia się światła) wynikają przekształcenia Lorentza oraz prawa nowej mechaniki: przy czym stare prawa okazują się przypadkiem granicznym nowych (gdy prędkość układu jest „znacznie” mniejsza od prędkości światła).

Struktury aprioryczne, które Poincaré przyjmował przy budowie teorii fizycznej, dalej występują w szczególnej teorii względności, jednak nadbudowują się nad nowym elementem apriorycznym. Tym nowym elementem jest, jak wspomniałem wcześniej, prędkość światła i fakt stałości tej prędkości w próżni. Przy pomocy tego nowego elementu apriorycznego możemy otrzymać grupę przekształceń Lorentza, która tworzy strukturę geometryczną (jest nią geometria Minkowskiego) przestrzeni fizycznej szczególnej teorii względności. Einstein uznał więc prędkość światła za uniwersalną stałą fizyczną, która

jednak zostaje przyjęta w sposób aprioryczny – ani nie na podstawie teorii, ani nie na podstawie doświadczenia (jest pojęciem pierwotnym teorii oraz określa strukturę geometryczną badanej przestrzeni fizycznej).

Dla Poincaré'go założenie o stałości prędkości światła było wyłącznie wnioskiem z doświadczenia oraz z danej, już przyjętej struktury grupy przekształceń (prędkość światła jest niezmiennikiem grupy przekształceń Lorentza). Dla Poincaré'go założenie o stałości prędkości światła nie stanowiło więc osobnego elementu apriorycznego.

Spójrzmy jeszcze raz na różnice między Poincaré'm a Einsteinem w podejściu do zasady względności. Wprawdzie Poincaré uznaje pojęcie ruchu za pojęcie pierwotne, jednak Einstein za takie pojęcie przyjmuje wyłącznie prędkość światła – i to jest decydujące, bo pozwala uwolnić się od absolutnej przestrzeni i zarazem powoduje, że ta zasada fizyki staje się zasadą fizyki w sensie Poincaré'go. Poincaré szukał takiego rozwiązania, ale go nie znalazł. Zdawał sobie sprawę, że zasada względności powinna być zasadą fizyki (w jego sensie) – bo wskazywało na to doświadczenie – ciągle się jednak wahał, gdyż obawiał się innego typu doświadczeń, które zakwestionują jej ogólność. Nie dostrzegł tego, że w rozbudowujących się podstawowych strukturach poznania nowy obszar struktur apriorycznych może zastąpić potrzebę dalszych weryfikujących doświadczeń (tak stało się w teorii Einsteina).

W mechanice klasycznej pojęcia pierwotne były przyjmowane jako pewne pojęcia pozafizyczne, które miały służyć do wyjaśnienia danych zjawisk fizycznych (na przykład pojęcie absolutnej przestrzeni miało wyjaśniać ruch obrotowy i występowanie sił bezwładności) – brak było analiz nad wpływem tych pojęć na strukturę teorii. Okazuje się jednak, że struktura mechaniki klasycznej wskazuje na geometrię afiniczną jako na tę geometrię, która opisuje przestrzeń fizyczną tej mechaniki¹⁷. Nie jest to więc zgodne z założeniem pierwotnym, że przestrzeń mechaniki klasycznej jest absolutnym zbiornikiem o strukturze geometrii euklidesowej. Podobnie rzecz wygląda, jeśli chodzi o teorię elektronu: eter – pojęcie pierwotne tej teorii – staje się w tej teorii pojęciem pozafizycznym i zaczyna pełnić rolę absolutnego układu odniesienia, wbrew przyjętej zasadzie względności.

W teorii Lorentza–Poincaré'go nie wszystkie układy są więc równouprawnione. Eter przejmuje te funkcje, które w mechanice Newtona pełni absolutna przestrzeń. Zauważmy, że w teorii Maxwella eter ma pewne własności analogiczne do własności ciał stałych. Własności te zostały wprowadzone w tym celu, aby umożliwiać przenoszenie drgań poprzecznych fal elektromagnetycznych (fale elektromagnetyczne jako fale poprzeczne zdawały się wymagać mechanicznego ośrodka). Mimo tego, że skrócenie i hipoteza czasu lokalnego usuwają wszystkie własności mechaniczne eteru, to jednak pozostaje

¹⁷ J. Raine, M. Heller: *The Science of Space-Time*. Pachart, Tuscon 1981, s. 57–81.

jedna kluczowa własność – jest nią spoczynek. Mamy więc taką sytuację, że układ związany z eterem jest wyróżniony. Dlatego zasada względności, która stwierdza równoważność (w sensie fizycznym) wszystkich układów inercjalnych, nie może być w teorii Lorentza–Poincarégo konwencją w sensie Poincarégo.

Natomiast w szczególnej teorii względności zasada względności staje się konwencją. Dzieje się tak dlatego, gdyż Einstein odrzuca pojęcie eteru – ten absolutny układ odniesienia teorii elektronu. To odrzucenie stało się możliwe dzięki przyjęciu za pojęcie pierwotne pojęcia prędkości światła w próżni – to pojęcie staje się „absolutnym” pojęciem szczególnej teorii względności.

Przyjęte w szczególnej teorii względności dwa postulaty w sposób bezpośredni i świadomy służą do określenia struktury geometrycznej przestrzeni teorii fizycznej, którą konstytuują. W nowej idei naukowości określonej przez teorię względności nie szukamy pojęć (czy bytów), które mają nam wyjaśnić sens budowanej teorii (jak czynił na przykład Newton szukając uzasadnienia dla występowania sił grawitacyjnych czy bezwładności), lecz ograniczamy się do przeprowadzenia, na podstawie przyjętych pojęć i zasad, konkretnych konstrukcji. Dana konstrukcja nie musi być *a priori* jasno postrzegana przez umysł. Dopiero badanie tej konstrukcji odsłania jej własności umysłowi ludzkiemu.

Ta nowo kształtująca się idea naukowości pozwala na przekroczenie kontrowersji między kantyzmem a platonizmem. Z jednej strony, w naukach mamy do czynienia z obiektami konstruowanymi przez umysł; jednak z drugiej strony, te konstruowane obiekty mają obiektywną treść, której umysł nie zna *a priori*, którą musi dopiero poznawać. Nauka określana przez nową ideę naukowości nie ogranicza się więc wyłącznie do zdań analitycznych, empirycznych czy syntetycznych *a priori*. Zdania, które ujmują własności uprzednio skonstruowanego obiektu, mają inny charakter: jest to nowy rodzaj prawdy apriorycznej wyrażonej przez pojęcie konwencji w sensie Poincarégo.