

Wojciech Sady

## Zasady konwencjonalizmu Poincarégo a relatywistyczna rewolucja w fizyce

**Słowa kluczowe:** *konwencjonalizm, H. Poincaré, rozwój wiedzy naukowej, odkrycie naukowe*

Grupa katolickich filozofów, skupiona wokół ks. prof. Michała Hellera, stara się przekonać nas o tym, że poglądy filozoficzne nie tylko mogą, ale nieraz faktycznie wywierają wpływ na treść twierdzeń wygłaszanych przez naukowców. Polemizowałem niedawno z jedną z takich prób (Sady 2015). Teraz spróbuję zilustrować niewrażliwość nauki na tezy formułowane przez filozofów, koncentrując się na relatywistycznej rewolucji w fizyce i stosunku do niej konwencjonalistycznej filozofii. Spróbuję wykazać, że tezy konwencjonalizmu nie wpłynęły na teoretyczne dociekania jego twórcy, Henri Poincarégo, na temat elektrodynamiki ciał w ruchu. Faktyczny przebieg relatywistycznej rewolucji w fizyce zdaje się też podważać samą konwencjonalistyczną filozofię nauki.

### 1. Podstawowe zasady konwencjonalizmu Poincarégo

Henri Poincaré – wybitny matematyk i fizyk – sformułował zasady konwencjonalistycznej filozofii nauki w wyniku refleksji nad stanem, w jakim znalazły się geometria i fizyka na przełomie XIX i XX wieku. Przemiany, do jakich doszło w tych naukach, wywołały upadek najważniejszej wtedy epistemologii, kantyizmu, i trzeba było tę pustkę wypełnić.

Gdy Immanuel Kant przyjmował newtonowską mechanikę za wzorzec wiedzy – jako systemu przekonań prawdziwych i uzasadnionych – to wszystko, czego obecność w newtonowskim systemie budziła krytyki empirystów,

uznał za wkład do wiedzy ze strony podmiotu poznającego. Są to sądy syntetyczne *a priori*: twierdzenia arytmetyki, twierdzenia geometrii euklidesowej oraz sądy czystego przyrodoznawstwa (np. przy wszelkich zmianach zjawisk materia trwa, a jej ilość pozostaje stała). Wszystkie one mają charakter prawd koniecznych, które możemy sobie uświadomić, ale nie możemy ich zmienić czy wymyślić w ich miejsce czegoś innego.

Od publikacji *Krytyki czystego rozumu* minęło ledwie czterdzieści parę lat, gdy Nikolaï Łobaczewski i János Bolyai niezależnie wymyślili to, co według Kanta wymyślone być nie mogło: system hiperbolicznej geometrii nieeuklidesowej. Taki system sformułował sto lat wcześniej Giovanni Saccheri, ale nieintuicyjne rezultaty, jakie uzyskał, uznał za sprzeczność, dowodzącą metodą *reductio ad absurdum* prawdziwości piątego postulat Euklidesa. W 1854 r. ich wyniki uogólnił Bernhard Riemann, uzyskując dodatkowo system geometrii eliptycznej.

Można było te pomysły traktować jako ciekawostkę, bez większego znaczenia poznawczego. Jednak badania nad elektrodynamiką (w tym optyką) ciał w ruchu, podjęte w latach 1880., zaczęły podważać wyobrażenia o czasie i przestrzeni leżące u podstaw mechaniki klasycznej. Dociekania teoretyczne i badania eksperymentalne wykazały, że masa elektronów rośnie z prędkością, co z kolei prowadziło do zakwestionowania twierdzenia, iż ilość materii pozostaje stała. Począwszy od końca lat 1880. Henri Poincaré począł wygłaszać pierwsze tezy filozoficzne na temat natury wiedzy naukowej. W rozwiniętej postaci znalazły się one w wyborze jego tekstów popularnonaukowych *Nauka i hipoteza* (1902).

Arytmetykę, dla której nie istniała alternatywa, Poincaré uznał – a przy najmniej leżącą u jej podstaw zasadę indukcji matematycznej – za syntetyczną *a priori*. Zasady tej nie można udowodnić ani analitycznie, ani doświadczalnie, a zarazem nie ma ona charakteru umownego, „narzuca się nam z koniecznością (...), doświadczenie jest dla [naszego umysłu] jedynie okazją do posługiwania się nią, a tym samym do uświadomienia jej sobie” (Poincaré 1902: rozdz. I). Skoro w geometrii dysponujemy alternatywami, to jej aksjomaty nie są syntetyczne *a priori*: „Gdyby tak było, narzucałyby się nam z taką siłą, że nie moglibyśmy wprost pojąć twierdzeń przeciwnych” (Poincaré 1902: rozdz. III). Są to ukryte definicje pojęć w nich występujących. Jeśli więc przez prawdziwość rozumiemy zgodność z rzeczywistością, to popełnia błąd kategoryalny ten, kto pyta o prawdziwość twierdzeń geometrycznych: „Czy geometria euklidesowa jest prawdziwa? Pytanie to jest bezsensowne. Równie dobrze moglibyśmy pytać, czy system metryczny jest prawdziwy, a dawne systemy miar fałszywe” (Poincaré 1902: rozdz. 3). Definicje przyjmuje się na mocy umowy – konwencji – zawieranej przez uczonych. W kolejnej książce – w rozdziale pierwotnie ogłoszonym w 1898 r. – pojawiają się analogiczne uwagi na temat czasu: możliwe są różne sposoby określania czasu i nie ma

sensu mówić, że któryś jest prawdziwy, czy prawdziwszy od innych (Poincaré 1905: rozdz. II). To samo wreszcie twierdzi Poincaré na temat zasad mechaniki klasycznej. Nie obowiązują *a priori* – bo gdyby tak było, to znalazłyby je starożytni Grecy. Nie są też sprawdzalne doświadczalnie. Są umownymi „definicjami w przebraniu” terminów w nich występujących: „Na mocy definicji siła jest równa iloczynowi masy i przyspieszenia; oto zasada, którą nie może zachwiać żadne późniejsze doświadczenie. Podobnie, na mocy definicji akcja jest równa reakcji” (Poincaré 1902: rozdz. VI).

Skoro tak, to fizyka mogłaby być inna, niż jest, zbudowana z użyciem innej geometrii, innych zasad ustalania czasu, a wreszcie innych zasad mechaniki. Tyle powiedziawszy, Poincaré twierdzi, że faktycznie dokonywane wybory są – i powinny być – ograniczane przez wymóg prostoty i związanej z tym wygody: „Jedna geometria nie może być bardziej prawdziwa od innej; może być tylko dogodniejsza. Otóż geometria euklidesowa jest i pozostanie najdogodniejsza” (Poincaré 1902: rozdz. III); „(...) jeden sposób mierzenia czasu nie może być prawdziwszy od drugiego; ten, który przyjęto powszechnie, jest tylko *dogodniejszy*” (Poincaré 1905: rozdz. II). Gdybyśmy zbudowali inny system mechaniki niż newtonowski, to wartości mas, jakie przypisujemy ciałom, stałyby się inne (albo w ogóle nie byłoby tam wielkości takich jak masy), inne też byłyby wartości sił między ciałami działających: „Równania tej nowej mechaniki byłyby jednak bardziej złożone” (Poincaré 1902: rozdz. 6).

Konwencjonalizm Poincarégo ma zatem charakter zarówno opisowy, jak i normatywny. Z jednej strony przedstawia on faktyczną ewolucję fizyki i jej współczesny mu stan, z drugiej twierdzi, że choć taki a nie inny jej rozwój nie był konieczny, to dobrze się stało, iż był taki, jaki był. Powstaje pytanie, co w zaistniałej kryzysowej sytuacji należy czynić. Tu autor *Nauki i hipotezy* z jednej strony podkreśla, że przyszedł rozwój fizyki jest nieprzewidywalny, z drugiej nie powstrzymuje się od czasu do czasu od udzielania rad. Jeśli o geometrię euklidesową chodzi, to zalecał trwanie przy niej, gdyż nie tylko jest najdogodniejsza, ale taką pozostanie. Przyszłe odkrycia eksperymentalne tego nie zmieniają, gdyż: „Doświadczenia, które skłoniły nas do przyjęcia podstawowych konwencji geometrii jako najdogodniejszych, dotyczą przedmiotów niemających nic wspólnego z przedmiotami, które bada geometria; dotyczą one właściwości ciał sztywnych i prostoliniowego rozchodzenia się światła” (Poincaré 1902: rozdz. VIII). Gdybyśmy mierząc np. kąty, pod jakimi z każdego z trzech punktów widać dwa pozostałe, stwierdzili, że ich suma różni się od  $180^\circ$ , to zapewne orzeklibyśmy, że światło w tego typu przypadkach nie rozchodzi się po liniach prostych bądź przyrządy pomiarowe ulegają deformacjom – a Poincaré wybór takiej strategii by pochwalił. Podobnie jest z przyjętymi sposobami określania czasu. W odniesieniu do zasad mechaniki rzecz ma się jednak inaczej, gdyż dotyczą one wprost przedmiotów podległych

obserwacji. I tu Poincaré jakoś się zawahał. Choć wyniki eksperymentów nie mogą, powtórzył, tym zasadom zaprzeczyć, to jednak w obliczu nowych odkryć zasada może przestać być użyteczna (Poincaré 1902: rozdz. X).

Przechodząc do charakterystyki mniej podstawowych części fizycznego obrazu świata, Poincaré wyodrębnia w nim składniki metafizyczne. Chodzi o wszelkie próby odpowiedzi na pytania w rodzaju „czym (w swej istocie) jest światło?”, „czym jest ciepło?” itd. Nie chce uwalniać nauki od metafizyki, przyznając, że poglądy tego typu kierują badaniami, ale podkreśla ich nietrwałość: „po okresie powodzenia kolejno zostają porzucane” (Poincaré 1902: rozdz. X). W związku z tym czyni niesłychanie ciekawą, ze względu na dalszy rozwój wydarzeń, uwagę:

Niewiele nas obchodzi, czy eter istnieje rzeczywiście; ta kwestia należy do metafizyków. Istotne znacznie ma dla nas to, że wszystko odbywa się tak, jak gdyby istniał, i że hipoteza ta jest dogodna, gdy naszym celem jest wyjaśnienie zjawisk. (...) nadejście zapewne dzień, kiedy eter zostanie porzucony jako beзуyteczny (Poincaré 1902: rozdz. XII).

Zarazem podkreśla, że gdy w wyniku badań ustalone zostaną związki między zjawiskami, to zachowują one swą ważność na zawsze. Na przykład to, co Coulomb pisał o „płynach elektrycznych”, a Sadi Carnot o „cieplikach”, poszło w niepamięć, ale prawo Coulomba oraz związek między temperaturami źródła ciepła i chłodnicy a pracą wykonaną przez maszynę cieplną w systemie naukowej wiedzy pozostały i w takiej czy innej formie powracają w kolejnych teoriach.

## 2. Ewolucja fizyki od Fresnela i Oersteda do Lorentza

W 1818 r. Fresnel przekonał fizyków, że światło ma naturę falową, co zgodnie z mechaniką klasyczną wymagało wypełnienia przestrzeni ośrodkiem, w którym mogły biec fale – eterem. Od razu musiał wyjaśnić zjawisko polaryzacji odkryte w 1808 r. przez Malusa, a także wyniki eksperymentu Arago z 1810 r., świadczące o tym, że światło gwiazd załamuje się w pryzmacie tak, jakby docierało z tą samą prędkością ze wszystkich kierunków – a zatem jakby Ziemia nie poruszała się po orbicie. Ani Fresnelowi, ani jego następcom nigdy się to do końca nie udało. Badania nad polaryzacją świadczyły o tym, że jeśli światło jest falą, to zawsze podłużną, a nigdy poprzeczną, ale wszystkie zaproponowane hipotezy mające eliminować możliwość powstawania fal podłużnych miały poważne wady. Podobnie było z hipotezami częściowego unoszenia eteru we wnętrzach ciał przezroczystych Fresnela czy lepkiego eteru Stokesa (1845), które miały wyjaśnić wyniki pomiarów Arago oraz – odkryte jeszcze w 1728 r. przez Bradleya – zjawisko aberracji światła gwiazd. Hipoteza Fresnela została w 1851 r. potwierdzona przez Fizeau, który

badał interferencję strumieni światła biegnących pod prąd i z prądem strumieni wody, a w 1871 r. przez Airy'ego, który mierzył kąt aberracji gwiazdnej przez teleskop napełniony wodą. Uzyskali oni dokładność rzędu  $v/c$ , gdzie  $v$  – prędkość orbitalnego ruchu Ziemi,  $c$  – prędkość światła.

W 1820 r. Oersted odkrył siły działające między prądami elektrycznymi a magnesami. W ciągu paru następnych miesięcy Ampère odkrył i zbadał siły działające między prądami elektrycznymi. W 1829 r. Zantedeschi, a w 1831 r. niezależnie Faraday i Henry odkryli zjawisko indukcji elektromagnetycznej. W wyniku tych odkryć stało się jasne, że magnetyzm jest wytworem ruchu elektryczności. Ich eksperymentalne ustalenia ujął matematycznie w 1845 r. Wilhelm Weber: siły działające – na odległość i centralnie – między ładunkami elektrycznymi zależą od ich odległości, wzajemnych prędkości i wzajemnych przyspieszeń. Akurat w tym czasie Mayer, Joule i Helmholtz, w wyniku badań nad przekształcaniem pracy w ciepło i ciepła w pracę, sformułowali zasadę zachowania energii. James Clerk Maxwell, uważając, że wzór Webera jest z tą zasadą niezgodny, spróbował opisać zjawiska elektryczne, magnetyczne, a także przepływu prądów, jako skutki procesów w niewidzialnym ośrodku podległym prawom mechaniki. Raz analizując hipotetyczne modele, a raz wyprowadzając wzory z wyników eksperymentów, praw mechaniki i przyjętych definicji, uzyskał do 1862 r. zbiór równań, które – acz było ich dwadzieścia, zapisanych przy użyciu dwudziestu zmiennych – były równoważne tym, które dziś znamy jako równania Maxwella. Nie zdołał natomiast zbudować modelu eteru, który sprowadzałby te równania do równań mechaniki. W rezultacie zaczęły one – niezależnie od intencji twórcy – funkcjonować jako równania autonomiczne.

Równania Maxwella mają m.in. rozwiązania falowe, a są to fale poprzeczne, nigdy podłużne. Ich prędkość można teoretycznie obliczyć znając współczynniki przenikalności elektrycznej i magnetycznej ośrodka, w którym te fale się rozchodzą. Okazało się, że tak obliczona prędkość jest w granicach błędów pomiarowych równa zmierzonej w eksperymentach optycznych prędkości światła. A zatem – o ile wykluczyć niezwykle zbiegi okoliczności – eter światłonośny jest też ośrodkiem przenoszącym siły między ciałami naelektryzowanymi i magnesami, a światło jest falą elektromagnetyczną.

Elektrodynamika Maxwella, z uwagi na skomplikowaną strukturę matematyczną, przez ćwierć wieku znalazła niewielu zwolenników. Alternatywną teorię, łączącą idee oddziaływania na odległość i oddziaływania przez kontakt, sformułował Helmholtz. Na rzucone przez Helmholtza wyzwanie odpowiedział jego uczeń Hertz, który w 1887 r., wytworzywszy fale radiowe, obalił teorię swego nauczyciela, a potwierdził teorię Maxwella. W tym samym czasie Heaviside nadał tej teorii wygodną, znaną do dziś z podręczników, formę matematyczną. Wszystko to razem spowodowało, że zaczęła ona zyskiwać powszechną akceptację.

Trzeba było teraz zbudować elektrodynamikę ciał w ruchu, a to wiązało się z odpowiedzią na pytanie, czy eter, wypełniający, a także otaczający ciała „materialne”, przemieszcza się wraz z nimi. Rowland, Röntgen i Hertz mierzyli w związku z tym pola magnetyczne wytwarzane przez wirujące, naelektryzowane dyski. Zaś Lodge w 1891 r. badał interferencję promieni przechodzących w obie strony między wirującymi, równoległymi dyskami – by stwierdzić, że ciała w ruchu nie udzielają eterowi nawet  $1/200$  swej prędkości. W 1881 r. Michelson przeprowadził słynny eksperyment interferometryczny, pozwalający zmierzyć wpływ ruchu Ziemi na przebieg zjawisk optycznych z dokładnością rzędu  $v^2/c^2$ . Uzyskał wynik sprzeczny z hipotezą Fresnela, a zarazem potwierdzający hipotezę Stokesa. Popenił jednak błędy przy teoretycznej interpretacji wyników. Po ich poprawieniu we współpracy z Morleyem w znacznie ulepszonej wersji powtórzył eksperyment Fizeau, a w 1887 r. własny eksperyment interferometryczny. Wynik pierwszego potwierdził hipotezę Fresnela, wynik drugiego potwierdził hipotezę Stokesa.

Voigt w 1887 r., rozważając klasyczne równanie falowe, wyprowadził transformacje czasu i współrzędnych przestrzennych zachowujące jego niezmienniczość. Były identyczne – z dokładnością do pewnej funkcji prędkości – z tymi, które dziś noszą miano transformacji Lorentza. Wspomnianej funkcji prędkości Voigt nie zamienił na „właściwą”, gdyż traktował wyprowadzone wzory jako narzędzie obliczeniowe i nie próbował nadawać im interpretacji fizycznej. Jego praca przeszła bez echa. Niezależnie teoretycy zaczęli zdawać sobie sprawę z tego, że równania Maxwella – w przeciwieństwie do równań mechaniki klasycznej – nie są niezmiennicze względem transformacji Galileusza. W 1889 r. FitzGerald w związku z zerowym wynikiem eksperymentu Michelsona-Morleya stwierdził:

(...) niemal jedyna hipoteza, która może tę sprzeczność rozwiązać, jest taka, że długość ciał materialnych zmienia się w trakcie ruchu przez eter czy wskroś niego, w stopniu zależnym od kwadratu stosunku ich prędkości do prędkości światła. Wiemy, że na siły elektryczne wpływa ruch ciał naelektryzowanych względem eteru i nie wydaje się, by nieprawdopodobne było przypuszczenie, iż ruch wywiera wpływ na siły molekularne, a w rezultacie rozmiar ciała ulega zmianie.

Od 1892 r. Lorentz ogłosił *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants*. Ładunki elektryczne, które Maxwell wiązał z eterem, Lorentz przypisał cząstkom obdarzonym masą – elektronom – zawieszonym w eterze. Na temat budowy eteru nie spekulował, uznawszy go za ciało zupełnie innego rodzaju niż ciała „ważkie” bądź „materialne”. Nie znając pracy Voigta, stopniowo wprowadzał transformacje czasoprzestrzenne zachowujące niezmienniczość równań Maxwella, w tym równań falowych. W *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern* (1895) wykazał, że równania Maxwella będą miały w układzie poruszającym się względem eteru

tę samą postać z dokładnością do wyrazów rzędu  $v/c$ , jeśli do równań podstawimy „czas lokalny” określony wzorem  $t' = t - vx/c^2$ , gdzie  $t$  – czas „rzeczywisty”. O co chodzi w tym wzorze? Światło, zakładał Lorentz, ma stałą prędkość względem eteru. W układzie, który porusza się względem eteru z prędkością  $v$  wzdłuż osi  $x$ , światło będzie się rozchodzić w kierunku ruchu z prędkością  $c - v$ , a w kierunku przeciwnym z prędkością  $c + v$ . Nie wiedząc o tym, regulujemy znajdujące się w różnych miejscach zegary wysyłając sygnał świetlny i zakładając, że jego prędkość jest w różnych kierunkach ta sama. Wyregulujemy je błędnie, ale używając tych zegarów będziemy stwierdzać, że światło rozchodzi się z taką samą prędkością we wszystkich kierunkach. Wkrótce potem Lorentz dodał do swego systemu hipotezę skrócenia ciał w kierunku ruchu, nadając jej postać matematyczną. W *Simplified Theory of Electrical and Optical Phenomena in Moving Systems* (1899) podał transformacje czasu i współrzędnych przestrzennych które – gdyby uzupełnić je o transformacje pozostałych wchodzących w grę wielkości – zachowywałyby pełną niezmienniczość równań Maxwella.

Podobną teorię elektronową ogłosił Larmor, który w 1900 r. podał wzory transformacyjne nie tylko dla współrzędnych czasoprzestrzennych, ale również dla natężeń pól elektrycznych i magnetycznych. Uzyskał niezmienniczość równań Maxwella z dokładnością do wielkości rzędu  $v^2/c^2$ . Podobnie jak Lorentz, skrócenie ciał traktował jako skutek zmian sił elektromagnetycznych wiążących atomy, a zatem jako efekt dynamiczny. Za realnością czasu absolutnego argumentował jeszcze w latach 1920. W tym samym roku Theodor des Coudres i Wilhelm Wien przedstawili zmodyfikowane wersje teorii Stokesa.

Według teorii Maxwella pole elektromagnetyczne – wciąż traktowane jako stan eteru – jest nośnikiem energii i pędu. A skoro ładunek w ruchu wytwarza też pole magnetyczne, którego natężenie rośnie z prędkością, to powinien on się zachowywać tak, jakby oprócz masy „ważkiej” miał też rosnącą z prędkością masę „elektromagnetyczną”. Pierwszych analiz teoretycznych dokonał J.J. Thomson w 1881 r., na dowolne prędkości uogólnili je Heaviside (1888) i Searle (1897). Ten drugi zauważył, że aby rozprędzić cząstkę do prędkości większej niż prędkość światła, potrzeba by było nieskończonej energii. W 1900 r. Wien wyraził przypuszczenie, że cała masa ciała jest masą elektromagnetyczną, a Poincaré stwierdził, że energia elektromagnetyczna  $E$  w teorii Lorentza zachowuje się niczym „fikcyjna” ciecz o masie  $m = E/c^2$  i do tej wielkości jest proporcjonalny elektromagnetyczny pęd.

Zajrzyjmy teraz do uwag poczynionych na te tematy na kartach *Nauki i hipotezy*. Ustalone w połowie XIX w. związki między elektrycznością, magnetyzmem i światłem uważał Poincaré za ostateczne, podkreślając zarazem prowizoryczność teorii mających odpowiedzieć na pytanie, czym jest elektryczność lub jak powstaje i czym jest światło. Píše o Maxwellowskiej teorii światła podkreślając jej zawilóść i niespójność; zaznacza też, że choć zrazu Maxwell

próbował dać mechaniczne wyjaśnienie zjawisk elektromagnetycznych, to „Dziwaczność i złożoność hipotez, które musiał w tym celu uczynić, skłoniły go później do zarzucenia tych prób” (Poincaré 1902: rozdz. XII). Gdy następnie przechodzi do uwag o samej elektrodynamice, to więcej miejsca poświęca teorii Ampere’a niż Maxwella. Krótko omawia też elektrodynamikę Helmholtza (przyznając, że odkrycie fal radiowych przez Hertza zepchnęło teorię Ampere’a i Helmholtza w cień), najwyżej zaś ocenia teorię elektronową Lorentza.

Tu Poincaré proponuje ważną modyfikację. Gdy wykazano brak wpływu ruchu Ziemi na zjawiska optyczne z dokładnością do wyrazów rzędu  $v/c$ , Lorentz wprowadził transformacje zachowujące niezmienniczość równań Maxwella z taką właśnie dokładnością. Kolejne poprawki wprowadził w obliczu negatywnego z dokładnością rzędu  $v^2/c^2$  wyniku eksperymentu Michelsona-Morleya. Według ostatniej wersji teorii Lorentza jeszcze dokładniejsze pomiary pozwolą określić kierunek i szybkość ruchu Ziemi względem eteru. Poincaré natomiast indukcyjnie uogólnia dotychczasowe niepowodzenia i stwierdza: „(...) wbrew Lorentzowi nie wierzę, by najdokładniejsze nawet obserwacje mogły kiedykolwiek doprowadzić do wykrycia czegoś więcej niż tylko ruchy względne ciał materialnych” (Poincaré 1902: rozdz. XII).

### 3. Ewolucja fizyki w latach 1900–1905 i jej obraz w *Wartości nauki*

W 1896 r. Henri Becquerel, zainspirowany uwagą Poincarégo, odkrył promieniotwórczość uranu. Rok później J.J. Thomson przekonał fizyków, że promienie katodowe są strumieniami cząstek o ujemnym ładunku i masach dwa tysiące razy mniejszych niż masa atomu wodoru. A także, że te cząstki stanowią składniki atomów. W 1898 r. Maria i Pierre Curie wyodrębnili rad. Wkrótce wykazano, że emitowane przez uran i rad promienie  $\beta$  są strumieniami elektronów poruszających się z wielkimi prędkościami. W 1901 r. Kaufmann, odchylając promienie  $\beta$  w polach elektrycznym i magnetycznym, wykazał, że ich masa rośnie z prędkością. Przy różnych założeniach na temat zmian kształtu elektronu w ruchu różne wzory na ten wzrost uzyskali Abraham (1902), Bucherer (1904) i Langevin (1905), a wreszcie Lorentz (1904).

Lord Rayleigh w 1901 r. próbował zaobserwować podwójne załamanie światła w izotropowych kryształach – stwierdził, że jeśli ono następuje, to w stopniu mniejszym niż 0,01 efektu wynikającego z teorii Lorentza. Jeszcze dokładniejsze pomiary przeprowadził DeWitt Brace – by znów niczego nie zaobserwować. Trouton i Noble próbowali wykryć moment siły działającej na poruszający się przez eter płaski kondensator – na próżno. Te odkrycia zmusiły Lorentza do dalszej pracy. W *Electromagnetic phenomena in a system moving*



with any velocity smaller than that of light (1904) dodał transformacje dla natężeń pól elektrycznych – lecz nadal nie uzyskał pełnej niezmienniczości równań Maxwella.

Choć zbiór popularnych tekstów *Wartość nauki* (1905) ukazał się zaledwie trzy lata po publikacji *Nauki i hipotezy*, to w poglądach Poincarégo zaszły – zapewne pod wpływem wspomnianych odkryć – istotne modyfikacje. Wcześniej już uczynił uwagę, że zasady, choć nie mogą być doświadczalnie sfalsyfikowane, mogą w obliczu pewnych odkryć stać się bezużyteczne. Teraz przyznawał, iż wiele wskazuje na to, że tak właśnie jest. Naczelnych zasad wymienił sześć: (1) zasada Carnota, czyli prawo wzrostu entropii, (2) zasada Meyera, czyli zasada zachowania energii, (3) Newtonowska zasada równości akcji i reakcji, (4) zasada względności, zgodnie z którą we wszystkich układach inercjalnych obowiązują te same prawa, (5) zasada zachowania masy, (6) zasada najmniejszego działania. Tylko zasadę najmniejszego działania uważał za niezagrożoną.

Gdy umieszczono w kalorymetrze próbkę radu, okazało się, że wydziela ona bardzo duże ilości ciepła, a dzieje się to nieustannie, choć nie da się – w świetle ówczesnej wiedzy – zweryfikować źródła, z którego ta energia pochodzi. Jedną z hipotez, jakie się pojawiły, była taka, że całą przestrzeń wypełnia jakieś promieniowanie bez przeszkód przenikające wszystkie substancje z wyjątkiem radu, pochłaniającego je i zamieniającego jego energię w ciepło. Taka hipoteza, stwierdzał Poincaré, ratuje wprawdzie zasadę zachowania energii, ale sama jest niesprawdzalna, a sprawia, że odtąd każde zachwianie bilansu energetycznego będzie można „wyjaśniać” odwołując się do niej czy jakiejś hipotezy analogicznej. Przyszła zatem pora, by w odniesieniu do zasady zachowania energii stwierdzić: „jeśli jakaś zasada przestaje być płodną, doświadczenie, nie przecząc jej wprost, potępi ją jednak” (Poincaré 1905: rozdz. IX).

Jeśli o zasadę równości akcji i reakcji chodzi, to Poincaré odwołuje się do teorii elektronowej Lorentza, według której oddziaływania między ciałami naelektryzowanymi zachodzą za pośrednictwem zaburzeń eteru, te zaś rozchodzą się ze skończoną prędkością. Tak więc kompensacja oddziaływań nie jest natychmiastowa: w czasie, nim oddziaływanie „wysłane” przez jeden elektron dotrze do drugiego, pęd nie jest zachowany. Mało tego, promieniowanie elektromagnetyczne, choć nie jest materialne, niesie ze sobą pęd i energię. Jeśli np. umieścimy nadajnik w ognisku zwierciadła parabolicznego, w chwili emisji fali cały przyrząd dozna odrzutu wstecz, który zostanie zrekompensowany dopiero, gdy fala zostanie pochłonięta przez inne ciało. A gdy trafi w pustą przestrzeń, kompensacja nigdy nie nastąpi. Można ratować zasadę zachowania pędu powiadając, że do bilansu trzeba dodać pęd eteru, byłaby to jednak hipoteza analogiczna do skrytykowanej w poprzednim akapicie.

Tak pojęta zasada wyjaśniać będzie wszystko, gdyż – jakiegokolwiek byłyby ruchy widzialne – zawsze można będzie wyobrazić sobie takie ruchy hipotetyczne, które by je kompensowały. Jeżeli jednak nadaje się ona do wyjaśnienia wszystkiego, to nie pozwala nam niczego przewidzieć; nie daje nam możliwości wyboru spośród różnych możliwych hipotez, gdyż z góry już wszystko wyjaśnia. Staje się więc bezużyteczna (Poincaré 1905: rozdz. VIII).

Jeśli chodzi o zasadę zachowania masy, to okazało się nie tylko, że masa rośnie z prędkością, ale że elektrony nie mają masy mechanicznej, a jedynie elektrodynamiczną. A to wymaga przebudowy podstaw mechaniki.

Zasada względności, twierdzi Poincaré, obowiązuje i będzie obowiązywać – ale za cenę przebudowy naszych pojęć czasu i przestrzeni (choć bez rezygnacji z jej euklidesowości). Światło ma stałą prędkość względem eteru i w układzie nieruchomym możemy synchronizować odległe zegary wysyłając sygnały świetlne i ustawiając je na daną godzinę plus czas, w jakim światło przebywa odległość od źródła do danego zegara. Jeśli układ znajduje się względem eteru w ruchu, a my, nie mogąc o tym wiedzieć, synchronizujemy zegary tak, jakby był on nieruchomy, to:

Tak zsynchronizowane zegary nie wskazują prawdziwego czasu, lecz coś, co można nazwać czasem lokalnym, tak że jeden z nich będzie się spóźniał względem drugiego. Nie musimy się tym martwić, gdyż nie ma sposobu, żeby to zauważyć. Wszystkie zjawiska (...) będą opóźnione, lecz wszystkie w jednakowym stopniu i obserwator tego nie dostrzeże, gdyż spóźnia się również jego zegar (Poincaré 1905: rozdz. VIII).

Aby skutki ruchu względem eteru stały się niedostrzegalne, trzeba jeszcze przyjąć, że w kierunku ruchu rozmiary ciał zmniejszają się, a siłowe maleją.

#### **4. O dynamicie elektronu Poincarégo a O elektrodynamice ciał w ruchu Alberta Einsteina**

Przekonany, jak już powiedziano, o absolutnym obowiązywaniu zasady względności, czyli równoważności wszystkich inercjalnych układów odniesienia, w krótkim tekście *Sur la dynamique de l'électron* (1905) Poincaré poprawił Lorentzowskie transformacje dla gęstości ładunków i sił, dzięki czemu uzyskał pełną niezmienniczość równań Maxwella. Przeszedł następnie do zagadnienia zmian kształtu poruszającego się elektronu. Wspomniał o hipotezach Langevina i Abrahama, opowiedział się za hipotezą Lorentza, gdyż jedynie z niej wynika, że transformacje czasoprzestrzenne tworzą grupę. Aby wyjaśnić kontrakcję elektronu, trzeba założyć, iż:

(...) elektron, odkształcalny i ściśliwy, podlega stałemu ciśnieniu zewnętrznemu, którego praca jest proporcjonalna do zmiany objętości (Poincaré 1905b).

Stąd dalej wynika, że „bezwładność jest zjawiskiem wyłącznie elektromagnetycznym”. Tekst kończą rozważania nad tym, iż siły grawitacji, a nie tylko siły elektromagnetyczne, rozchodzą się ze skończoną prędkością i podlegają analogicznym transformacjom.

W 1906 r. *Sur la dynamique de l'électron* ukazał się w wersji pełnej (artykuł został wysłany przed ukazaniem się tekstu Einsteina). Centralna idea programu badawczego Lorentza scharakteryzowana została następująco:

(...) jeśli zdołamy cały system wspólnie przemieścić, bez modyfikacji któregoś z widocznych zjawisk, to jest tak dlatego, że równań ośrodka elektromagnetycznego nie zmieniają pewne transformacje, które nazywamy *transformacjami Lorentza*; dwa systemy, jeden nieruchomy, a drugi przemieszczający się, stają się tym samym dokładnymi obrazami siebie wzajem.

Aby dwa układy były dokładnie równoważne, również wszelkie inne siły, w tym siły grawitacji, muszą rozchodzić się z prędkością światła i podlegać identycznym transformacjom – gdyby podlegały innym, układy stałyby się rozróżnialne np. przez porównanie natężeń różnego rodzaju sił w nich działających.

Jeśli przyciąganie rozchodzi się akurat z prędkością światła, to nie może to być skutkiem przypadkowej zbieżności, ale musi być wywołane jakąś funkcją eteru, a wobec tego trzeba koniecznie próbować wnikać w naturę tej funkcji i powiązać ją z innymi funkcjami tego płynu.

Poza tymi dwiema wzmiankami ze wstępu do artykułu mamy jeszcze tylko jedną uwagę, w której jest mowa o eterze: w § 6, poświęconym kontrakcji elektronu w kierunku ruchu (przy zachowaniu jego rozmiarów w kierunkach poprzecznych) czytamy: „energia jest ulokowana głównie w częściach eteru bliskich elektronowi”. I na tym koniec. Reszta to analizy czysto matematyczne, kierowane dążeniem do zapewnienia pełnej niezmienniczości równaniom fizyki we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Uzyskane wzory są identyczne bądź równoważne tym, jakie znajdują się w artykule Alberta Einsteina *O elektrodynamice ciał w ruchu*. Właściwie cała różnica między oboma tekstami koncentruje się w twierdzeniu:

Wprowadzenie „eteru świetlnego” okazuje się zbyteczne, gdyż przedstawiony tu pogląd nie wymaga ani istnienia „przestrzeni w absolutnym spoczynku”, obdarzonej szczególnymi właściwościami, ani przypisania wektora prędkości punktowi w pustej przestrzeni, gdzie zachodzą procesy elektromagnetyczne (Einstein 1905).

W tym epokowym tekście Einstein nie przytoczył żadnych prac swych poprzedników, ani eksperymentatorów, ani teoretyków. Ze swej strony Poincaré w kolejnych pracach nie wspominał Einsteina. Obaj uczestniczyli w I Kon-

gresie Solvayowskim z 1911 r., zorganizowanym dla przedyskutowania idei kwantowych, wprowadzonych przez Plancka w 1900 r. i Einsteina w 1905 r. Pobudzony debatami Poincaré, który wcześniej w swych rozprawach te zagadnienia pomijał, napisał popularyzatorski artykuł *L'hypothèse des quanta*, w którym omówił dokonania Plancka, wspomniał pomysły Sommerfelda – ale prace Einsteina przemilczał. Ten po kongresie pisał do przyjaciela, że Poincaré do teorii względności odniósł się z niechęcią i „wykazał niewielkie zrozumienie sytuacji” (cyt. za Pais 1992: 177). Pytany przez władze ETH w Zurichu, które rozważały zatrudnienie Einsteina jako profesora, Poincaré wydał o nim opinię pozytywną, choć nie entuzjastyczną. Wspomniał krótko, bez komentarza, o badaniach Einsteina nad działaniem światła na cząsteczki podczas odczytu wygłoszonego 11 kwietnia 1912 r., trzy miesiące później zmarł. Ze swej strony Einstein po raz pierwszy publicznie wspomniał Poincarégo dopiero w 1921 r., w dodatku jako geometrę, nie fizyka. Czy to obustronne milczenie było wynikiem młodzieńczego zadufania z jednej, a urażonej dumy z drugiej strony, czy raczej skutkiem głębokiej, choć niejawnej, różnicy poglądów?

Na te pytania zapewne nigdy nie uzyskamy odpowiedzi. Jest natomiast proste wyjaśnienie opinii Einsteina, iż Poincaré niewiele z teorii względności zrozumiał. Dostarcza go nie tyle sam tekst *Sur la dynamique de l'électron*, co dwa popularne artykuły z lat 1908 i 1909. Pierwszy to *La dynamique de l'électron*, przedrukowany w *Nauce i metodzie* jako Księga III pt. *Nowa mechanika*, drugi to tekst wykładu *La Mécanique nouvelle*, wygłoszonego w Getyndze w kwietniu 1909 r.

Tekst z 1908 r. otwierają uwagi o tym, że promienie  $\beta$  – strumienie ujemnych elektronów – emitowane przez rad poruszają się z tak wielkimi prędkościami, że można eksperymentalnie stwierdzić, iż ich masa rośnie z prędkością, a także że nie mają masy „rzeczywistej”, a jedynie masę „pozorną” pochodzenia elektromagnetycznego. Elektrony w ruchu tworzą prąd elektryczny, a „ich pozorna bezwładność pochodzi od samoindukcji tego prądu” (Poincaré 1908: II, IV). Odkryto też elektrony dodatnie (dziś powiemy: protony, cząstki  $\alpha$  itd.), mające masy o wiele większe – i być może ich masa rzeczywista nie jest zerowa. Nie możemy tego stwierdzić, jako że prędkości emitowanych przez rad promieni  $\alpha$  są zbyt małe. Nie jest też wykluczone, że składnikami materii są też jakieś cząstki elektrycznie obojętne, o masie rzeczywistej, a z zerową masą pozorną. Ale jeśli zasada względności ma obowiązywać, to masa rzeczywista musi zmieniać się według tych samych praw, co pozorna.

Dalej pojawiają się uwagi o eksperymentach Fizeau i Airy'ego, wraz ze wzmiankami o hipotezach Fresnela i Stokesa. Poincaré odróżnia ruch „bezwzględny” od „względny”, choć stwierdza, że wykrywalny jest jedynie ruch względny – co świadczy o powszechnym obowiązywaniu zasad względności.

I tu czyni charakterystyczne uwagi na temat Lorentzowskiego „czasu lokalnego”, mierzonego w układzie poruszającym się względem eteru przez źle naregulowany zegar ulokowany w danym miejscu:

Obserwowane przez każdego z [obserwatorów] zjawisko będzie opóźnione albo przedwcześnie; nie będzie zachodziło w tej samej chwili, w jakiej by zachodziło, gdyby nie było owego ruchu postępowego; ponieważ wszakże będzie się je obserwowało ze źle uregulowanym zegarem, nie zauważy się tego, i pozory nie będą zmienione (Poincaré 1908: II, II).

Do tego trzeba dodać założenie o skracaniu się rozmiarów ciał w kierunku ruchu. W tym miejscu Poincaré czyni osobliwą uwagę. Nowa mechanika oparta jest na trzech założeniach. Pierwsze: „(...) niemożliwe jest nadanie ciału, pierwotnie spoczywającemu, prędkości większej od światła” (Poincaré 1909). Zdawać by się mogło, że jest to pewien odpowiednik jednego z dwóch postulatów Einsteina: „światło zawsze rozchodzi się w próżni z określoną prędkością  $V$  i nie zależy ona od ruchu ciała emitującego światło” (Einstein 1905). Nic bardziej mylącego. W teorii względności Einsteina jest to postulat kinematyczny, o charakterze pierwotnym. Poincaré natomiast uzasadnia swoje założenie dynamicznie: masa rośnie z prędkością, tak więc ta sama siła na ciało działająca nadaje mu, w miarę jak prędkość wzrasta, coraz mniejsze przyspieszenia, a gdy zbliżamy się do prędkości światła, masa rośnie do nieskończoności, a przyspieszenie maleje do zera. Druga zasada to zasada względności. Znow budzi to skojarzenia z pierwszym postulatem Einsteina: „te same prawa elektrodynamiki i optyki pozostają słuszne we wszystkich układach współrzędnych, w których są spełnione równania mechaniki” (Einstein 1905). I znow te skojarzenia są zwodnicze. Einsteinowi chodzi o to, że we wszystkich inercjalnych układach odniesienia obowiązują te same *prawa przyrody*. Poincaré twierdzi natomiast, że w każdym inercjalnym układzie odniesienia *obserwowane* są takie same zjawiska, a to wskutek kompensacji odpowiednich efektów wywołanej rozregulowaniem zegarów i skróceniem prętów mierniczych w kierunku ruchu. I to skrócenie – na co zwolennik szczególnej teorii względności zareaguje ze zdziwieniem – wprowadza Poincaré jako założenie trzecie: „Ciało w ruchu translacyjnym ulega deformacji w kierunku jego przemieszczania się” (Poincaré 1909). Na temat przyczyn skracania rozmiarów ciała w kierunku ruchu Poincaré w obu pracach o nowej mechanice nie spekuluje, ale jeśli pamiętamy o jego uwadze o elektronie w ruchu, który spłaszcza się, gdyż podlega ciśnieniu zewnętrznemu, to jasne się staje, że kontrakcja ma przyczyny dynamiczne – a nie jest, jak u Einsteina, efektem kinetycznym.

Równania, jakie zapisują Poincaré i Einstein, są – powtórzmy to raz jeszcze – identyczne bądź równoważne. Różne są metafizyki, jakie obaj uczeni wiążą z tym samym formalizmem. Einstein nie zatytułowałby swojego artykułu

„O dynamice elektronu”. Poincaré odwołuje się do ontologii teorii elektronowej Lorentza i choć niczego nie zakłada na temat budowy eteru, trwa przy obiegowym wówczas rozróżnieniu rzeczywistych i pozornych rozmiarów ciał, czasu, mas itd. Einstein tego rozróżnienia nie wprowadza, a zamiast o eterze pisze o polu elektromagnetycznym. Skrócenie mierzonych rozmiarów ciał dla Einsteina nie jest dodatkowym założeniem, ale wnioskiem z zasady względności i postulatu stałości prędkości światła.

Za wygłaszanymi przez Poincarégo komentarzami najwyraźniej kryje się – wspomniane powyżej – niedocenienie równań Maxwella. W *Nauce i hipotezie* przedstawiał Maxwellowską elektrodynamikę jako teorię niespójną i przynajmniej pod pewnymi względami prowizoryczną, a gotów był bronić, w obliczu nowych odkryć, mechaniki klasycznej. Tymczasem to właśnie równania Maxwella wyszły z rewolucji relatywistycznej nietknięte i stały się częścią twardego rdzenia relatywistycznego programu badawczego, podczas gdy równania mechaniki zostały poddane głębokim modyfikacjom.

## 5. Zasady konwencjonalizmu a praktyka badawcza jego twórcy

Najważniejszą innowacją, jaką wniósł konwencjonalizm, zważywszy wcześniejszą tradycję epistemologii, było ujawnienie umownego charakteru kluczowych twierdzeń naukowych, zarówno tych, które kantyści uznawali za znane *a priori*, jak i za sprawdzalne – i dobrze sprawdzone – doświadczalnie. Umowa ma to do siebie, że raz zawarta, może zostać unieważniona, zastąpiona inną. Można by się zatem spodziewać, iż konwencjonalista jest człowiekiem przygotowanym do takiej zmiany, zwłaszcza gdy zaistnieją po temu powody. Pod tym względem postawa Poincarégo jako fizyka-teoretyka rozczarowuje. Jego wkład w rozwój fizyki sprowadza się w gruncie rzeczy do indukcyjnego kroku: skoro nie udało się wykryć wpływu ruchu Ziemi na przebieg zjawisk optycznych z dokładnością do  $v/c$ , następnie z dokładnością do  $v^2/c^2$ , to nie uda się z dokładnością jeszcze większą. Jako znakomity matematyk był w stanie z tego indukcyjnego uogólnienia i z równań Maxwella wyrowadzić transformacje poszczególnych wielkości fizycznych. Ale poza tym był w swoim myśleniu konserwatywny, nie wyszedł poza styl myślowy rozwinięty przez Fresnela, Maxwella, Lorentza, Larmora i innych. W tym sensie twórca konwencjonalizmu nie był konwencjonalistą w swojej postawie badawczej.

Ciśnię się wobec tego na usta pytanie, jak to się stało, że „konserwatywa” Poincaré i „rewolucjonista” Einstein doszli do dokładnie tych samych równań. Trudno przypuścić, że taka koincydencja zaszła w wyniku przypadkowego zbiegu okoliczności. Obaj uczeni korzystali z tych samych przesła-

nek. Z koniunkcji równań Maxwella i transformacji Galileusza wynikało, że w różnych inercjalnych układach odniesienia zjawiska elektromagnetyczne będą przebiegać inaczej. Skoro eksperymenty wykazały, że przebiegają one identycznie, a zarazem zgodnie z równaniami Maxwella, wynikało stąd – na mocy *modus tollendo tollens* – że transformacje Galileusza są błędne. Wniosek taki był niezależny od jakichkolwiek towarzyszących badaniom rozważań „metafizycznych”. Jedynym zaś systemem transformacji, zachowującym pełną niezmienniczość równań Maxwella przy przejściu z jednego inercjalnego układu odniesienia do drugiego, a zarazem zgodnego z oczywistymi rozważaniami fizycznymi, były transformacje Lorentza.

Wiele w ostatnich dziesięcioleciach napisano o niedookreśleniu teorii przez dane doświadczalne. Istotnie, gdyby dysponowano tylko wynikami eksperymentów wspomnianych w § 2, można by w celu ich wyjaśnienia zbudować niezliczoną ilość różnych teorii. Ale nowe teorie nie powstają w wyniku wolnej gry wyobraźni inspirowanej jedynie danymi doświadczalnymi. Zawsze wykorzystuje się tę część wiedzy teoretycznej, która w danym okresie znajduje udane zastosowania. Jeśli do danych eksperymentalnych prowadzących do indukcyjnego wniosku, że wszystkie inercjalne układy odniesienia są równoważne, dodano równania Maxwella, to wybór zniknął: transformacje Lorentza pojawiały się jako dedukcyjny wniosek z tych przesłanek. A skoro w historycznym rozwoju fizyki pojawiają się sytuacje, w których jej dalszy rozwój jest – zważywszy dostępną wiedzę teoretyczną – zdeterminowany przez wyniki doświadczeń i prawa logiki, to wymaga to poważnego przeformułowania samych zasad konwencjonalizmu.

## Bibliografia

- Einstein Albert (1905), *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, „Annalen der Physik” 322 (10), s. 891–921. Wyd. pol. *O elektrodynamice ciał w ruchu*, w: tenże, *Pięć prac, które zmieniły oblicze fizyki*, przeł. P. Amsterdamski, Warszawa: WUW [2005], s. 121–156.
- FitzGerald, George (1889), *The Ether and the Earth's Atmosphere*, „Science” 13 (328), s. 390.
- Pais Abraham (1992), *Subtle as The Lord...*, Oxford UP. Wyd. pol. *Pan Bóg jest wyrafinowany... Nauka i życie Alberta Einsteina*, przeł. P. Amsterdamski, Warszawa: Prószyński i S-ka 2001.
- Poincaré Henri (1902), *La Science et l'hypothèse*, Flammarion. Wyd. pol. *Nauka i hipoteza*, przeł. L. Silberstein, Warszawa: J. Mortkowicz 1908.
- Poincaré Henri (1905), *La Valeur de la Science*, Flammarion. Wyd. pol. *Wartość nauki*, przeł. L. Silberstein, Warszawa: J. Mortkowicz 1908.

- Poincaré Henri (1905b), *Sur la dynamique de l'électron*, „Comptes Rendus” 140, s. 1504–1508.
- Poincaré Henri (1906), *Sur la dynamique de l'électron*, „Rendiconti del Circolo matematico di Palermo” 21, s. 129–176.
- Poincaré Henri (1908), *Science et méthode*, Flammarion. Wyd. pol. *Nauka i metoda*, przeł. L. Silberstein, Warszawa: J. Mortkowicz 1911.
- Poincaré Henri (1909), *La Mécanique nouvelle*, w: tenże, *Sechs Vorträge über ausgewählte Gegenstände aus der reinen Mathematik und mathematischen Physik*, Leipzig und Berlin: B.G.Teubner, s. 41–47.
- Poincaré Henri (1912), *L'hypothèse des quanta*, „Revue Scientifique” 17, s. 225–232; przedruk w: tenże, *Dernières pensées*, Flammarion 1913.
- Sady Wojciech (2015), *Nieodpowiedzialnie o związkach epistemologii z nauką*, „Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria” 3 (95), s. 265–274.

## Streszczenie

Henri Poincaré sformułował zasady konwencjonalistycznej filozofii nauki w wyniku refleksji nad stanem, w jakim znalazła się fizyka na przełomie XIX i XX wieku. Choć dokładnie zasad tej filozofii nie wyraził, to jej zasadnicze przesłanie jest takie, że pewne twierdzenia, uważane przez kantystów za syntetyczne *a priori* bądź syntetyczne *a posteriori*, są faktycznie definicjami w przebraniu, o umownym charakterze. Umowa ma to do siebie, że może zostać unieważniona i zastąpiona inną – można by się więc spodziewać, że konwencjonalistyczna filozofia czyni jej zwolenników gotowymi na rewolucyjną zmianę poglądów. Pod tym względem postawa Poincarégo jako fizyka rozczarowuje: uczestniczył w przemianach, które doprowadziły do rewolucji relatywistycznej, w sposób tak konserwatywny, jak to tylko po 1900 r. było możliwe. Ten konserwatyzm prowadził go do błędnych diagnoz: za „potępione” przez odkrycia eksperymentalne uznawał te zasady, które ostatecznie przetrwały, radził natomiast bronić tych części fizyki klasycznej (zwłaszcza geometrii euklidesowej i newtonowskiego rozumienia czasu), które miały zostać zastąpione przez inne. Przebieg rewolucji relatywistycznej zdaje się w pewien sposób przemawiać przeciw konwencjonalistycznej tezie o możliwości wyboru. Skoro wyniki eksperymentów bez wyjątku świadczyły o tym, że te same równania Maxwella obowiązują we wszystkich inercjalnych układach odniesienia, to z uwagi na formalne własności tych równań zasada względności wymagała zmiany transformacji czasoprzestrzennych i dokładnie, w połączeniu z prostymi rozważaniami fizycznymi, te transformacje wyznaczała.