

Mateusz Klinowski

Dlaczego geometria przestrzeni fizycznej nie jest sprawą konwencji?

Wstęp

W niniejszym tekście chciałbym przedstawić kilka argumentów na rzecz tezy, iż nie każda geometria może posłużyć nam do opisu właściwości przestrzeni fizycznej. W szczególności pokażę, że teorie fizyczne, które obecnie przyjmujemy za obowiązujące, podając nam określone wyjaśnienia działania świata i jego konstrukcji, wymuszają ograniczenie kręgu geometrii pretendujących do roli adekwatnego opisu rzeczywistości. Przez termin „geometria” rozumiał zaś będę abstrakcyjny twór matematyczny, definiowany za pomocą pewnej liczby zdań języka formalnego.

Argumenty prezentowane poniżej nie są w większości moimi pomysłami. Pochodzą one z prac Einsteina, Reichenbacha, Schlesingera, Grünbauma i stanowią odpowiedź na konwencjonalizm Poincarégo — radykalny pogląd dotyczący istoty naukowej działalności człowieka. Choć argumenty te sformułowano w początkach ubiegłego stulecia, ich charakter, jak również znaczenie dla debaty dotyczącej konwencjonalizmu przekonują, iż wciąż są to kwestie interesujące i warte dyskusji.

Historia poglądów na czas i przestrzeń

By odpowiedzieć na pytanie postawione w tytule pracy, należy zacząć od przybliżenia współczesnych wyobrażeń na temat przestrzeni fizycznej i czasu. Są one zupełnie różne od tego, co przyjmowano dawniej. W szczególności, różnią się od tradycyjnych

wyobrażeń, które wspierała swym autorytetem fizyka newtonowska. Za sprawą Newtona, wyznawano zdroworozsądkowy — jak się wydawało — pogląd, zgodnie z którym przestrzeń jest samodzielnym, realnym, niezależnym od zachodzących zdarzeń tworem. Przestrzeń uważano za arenę zjawisk, zbiornik, worek na zdarzenia, traktując te metafory raczej dosłownie. Niekiedy definiowano ją wprost jako miejsce zajmowane przez ciała. Przypisywano przestrzeni także cechę nieruchomości i wiązano z nią wyróżniony układ odniesienia. Natomiast o czasie myślano najczęściej, jako o pewnego rodzaju subiektywnym złudzeniu, nie wiążąc go ani z przestrzenią i jej właściwościami, ani z zachodzącymi w świecie zdarzeniami. Wydaje się, że czas uważano za coś nierealnego a zarazem absolutnego.

Einstein trafnie zauważył¹, iż traktowanie przestrzeni jako miejsca zajmowanego przez ciała sztywne i jednocześnie realnego tworzy pozwala wnioskować, iż istnieje nieskończona ilość realnych przestrzeni poruszających się względem siebie. By otrzymać ten wniosek wystarczy jedynie pomyśleć o nieskończonej licznej grupie ciał, z których jedno znajdują się w drugich i które zostały wprowadzone w ruch względem siebie. Z pewnością nie jest to najatrakcyjniejszy filozoficznie wynik. Dlatego też, zdaniem Einsteina, powinno się zrezygnować bądź z założenia realności przestrzeni, bądź z traktowania przestrzeni jako miejsca.

Współczesna fizyka zdaje się również rezygnować z cechy nieruchomości przestrzeni, a to z racji nieadekwatności predykatu „nieruchomy” (podobnie jak „ruchomy”) do opisu przestrzeni jako takiej. Nietrudno zauważyć, iż już na mocy zasady względności Galileusza, która głosi, że zjawiska mechaniczne nie wyróżniają żadnego z układów inercjalnych, nie sposób określić czy układ, jaki chcielibyśmy powiązać z przestrzenią, jest układem w ruchu czy spoczynku. Przestrzeń więc, o ile traktujemy ją tak, jak chciałby

¹ A. Einstein „Względność a problem przestrzeni” [w:] W. Laprus, *Współczesna koncepcja przestrzeni i czasu*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, ss. 132–138.

tego Newton — jako realny obiekt, nie jest czymś, o czym można by mówić w kategoriach ruchu czy spoczynku (przestrzeń jest w ruchu i spoczynku równocześnie, stąd ani nie jest w absolutnym spoczynku, ani w absolutnym ruchu, o ile tylko obowiązuje nas zasada względności).

Zajmijmy się teraz zagadnieniem absolutności czasu oraz przestrzeni w sensie ich niezależności od siebie oraz od zdarzeń zachodzących na tworzonej przez przestrzeń arenie. Po pierwsze, do uznanych wyników szczególnej teorii względności (STW) należy powiązanie przestrzeni z czasem i traktowanie ich jako jednego tworu — czasoprzestrzeni. Jednak STW wciąż utrzymuje niezależność czasoprzestrzeni od zachodzących w jej obrębie zdarzeń — czasoprzestrzeń jest areną, na której rozgrywają się zdarzenia, nie wpływając przy tym na kształt czasoprzestrzennego kontinuum. Dopiero ogólna teoria względności (OTW) uzależnia czasoprzestrzeń od zachodzących zdarzeń, a dokładnie od zanurzonych w niej ciał. W ten sposób zarówno założenie absolutności czasu, jaki i przestrzeni zastaje podważone.

Tak oto dochodzimy do zasadniczego tematu pracy — skoro nasze teorie fizyczne opisują czas i przestrzeń, jako powiązane ze sobą, zależne od rozmieszczenia ciał, tworzące jeden zwarty twór, to czy przyjęcie takiego obrazu świata nakłada jakiegokolwiek ograniczenia na możliwość opisania stosunków czasoprzestrzennych za pomocą dowolnej abstrakcyjnej geometrii?

Konwencjonalizm a definicje przyporządkowujące i siły uniwersalne

Zgodnie z konwencjonalizmem Poincarégo, geometria jest jedynie zestawieniem praw, według których obrazy doświadczenia następują po sobie. Zestawienie to nie ma określonych konsekwencji empirycznych, więc jego wybór następuje na drodze konwencji. Spośród wszystkich zestawień wybieramy to, które najbardziej nam odpowiada i z jakichś powodów jest najwygodniejsze. Decydują tu kryteria prakseologiczne — wygoda, ekonomia myśle-

nia, prostota. A skoro z geometrią nie sposób powiązać żadnych empirycznych konsekwencji, obowiązujące teorie fizyczne (STW i OTW) w żaden sposób nie ograniczają nas w wyborze sposobu opisu rzeczywistej przestrzeni. Ogranicza nas jedynie postulat prostoty, którego zastosowanie samo może zostać ograniczone za pomocą innych zasad metodologicznych.

Stanowisko konwencjonalistyczne pomija jednak bardzo ważną kwestię, na którą wskazał Reichenbach². Istotnie, geometria nie posiada żadnych konsekwencji empirycznych, o ile traktujemy ją jako zestaw aksjomatów, które zawierają niezinterpretowane formalne symbole. By jednak odnieść do rzeczywistości fizycznej abstrakcyjne stosunki, ujęte za pomocą symboli występujących w aksjomatach geometrii, należy nadać tym symbolom fizyczne znaczenie. Gdy geometria mówi o przystawaniu ciał, musimy ustalić, co mamy na myśli mówiąc „ciało” i „przystawanie” — należy podać konkretne, niezależnie od geometrii definicje przyporządkowujące dla tych terminów. Innymi słowy — musimy zinterpretować terminy geometrii za pomocą obiektów z naszej fizycznej rzeczywistości.

Poprzez definicje przyporządkowujące, przechodzimy od geometrii abstrakcyjnej do stosowanej, a taka geometria, zinterpretowana w kategoriach przedmiotów z fizycznej rzeczywistości, posiada już określone konsekwencje empiryczne. Możemy sprawdzić czy konsekwencje te pokrywają się z doświadczeniem i tym samym potwierdzić lub obalić dokonany wybór geometrii wraz z jej fizyczną interpretacją. Zauważmy, że ewentualna niezgodność z doświadczeniem obala zarówno geometrię, jak i jej interpretację — inna interpretacja może pozwolić nam na utrzymanie danej geometrii, ale również inna geometria może nam pozwolić na utrzymanie danego zestawu definicji przyporządkowujących.

² H. Reichenbach „Filozoficzne znaczenie teorii względności” [w:] W. Lopus, *Współczesna koncepcja przestrzeni i czasu*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, ss. 159–176.

Einstein zasugerował³, że z uwagi na brak empirycznych konsekwencji czystej geometrii bardziej skłonni jesteśmy do odrzucenia jej interpretacji. Jednak teoria względności nakłada wyraźne ograniczenia właśnie na możliwe interpretacje geometrii. Kwestionując istnienie ciał sztywnych, wyklucza ona przecież użycie tych obiektów jako wzorców długości czy kongruencji. Oznacza to, iż obowiązujące teorie fizyczne mogą zmusić nas do odrzucenia jakiegoś abstrakcyjnego systemu geometrycznego, ponieważ dla jego terminów nie sposób znaleźć właściwej fizycznej interpretacji. Zatem, wbrew twierdzeniom konwencjonalizmu, nie każda geometria stanowi uprawniony opis fizycznej przestrzeni. Są nim jedynie te geometrie, których terminom nadano interpretację zgodną z przyjmowaną fizyką i które nadal pozostają w zgodzie z empirią.

Reichenbach wskazał na jeszcze jedno ograniczenie w wyborze geometrii, charakteryzującej przestrzeń fizyczną. Mianowicie, często wśród postulowanych konsekwencji empirycznych zinterpretowanej geometrii znajdujemy założenie istnienia sił uniwersalnych, tj. sił, które działają w ten sam sposób na wszystkie ciała bez wyjątku, a których natury do końca nie rozumiemy⁴. Sięgając do historii fizyki łatwo możemy zobaczyć, że założenie euklidesowości przestrzeni (geometria) połączone z założeniem istnienia ciał sztywnych (definicja przyporządkowująca) zmusiły nas do przyjęcia istnienia siły grawitacji o niejasnym charakterze (siła uniwersalna), podczas gdy siłę tą udało się wyeliminować, przyjmując opis przestrzeni fizycznej za pomocą geometrii nieeuklidesowej. Wobec tego, postulat szukania najprostszych rozwiązań i eliminacji niejasnych założeń skłania do rezygnacji z tych geometrii, które w powiązaniu z określoną interpretacją postulują występowanie tajemniczych, niezrozumiałych zjawisk, np. sił uniwersalnych. Za-

³ Por. A. Einstein, „Geometria a doświadczenie”, [w:] W. Laprus, *Współczesna koncepcja przestrzeni i czasu*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, ss. 139–146.

⁴ Przeciwnieństwem sił uniwersalnych są siły różnicujące — na różne ciała działają one różnie.

węza to krąg możliwych opisów przestrzeni fizycznej do jedynie tych systemów geometrycznych, na gruncie których żadne takie tajemnicze byty nie występują.

Choć opisane ograniczenie w wyborze geometrii ma charakter metodologiczny, jest ono czymś więcej, niż postulat prostoty, o którym mówi konwencjonalizm. Pojawia się ono przecież dopiero w momencie, kiedy geometria zyskuje interpretację fizyczną, co z kolei czasem prowadzi do przyjęcia niewygodnych z metodologicznego punktu widzenia założeń (siły uniwersalne). Mówienie więc o tym ograniczeniu ma sens jedynie w sytuacji, gdy geometria zyskuje fizyczną interpretację poprzez definicje przyporządkowujące. Pomiędzy postulatem prostoty konwencjonalistów, a postulatem eliminacji sił uniwersalnych zachodzi jeszcze jedna istotna różnica. Poincaré miał na myśli przede wszystkim kierowanie się prostotą opisu zjawisk w wyborze geometrii. Tymczasem Reichenbach ma na myśli raczej prostotę założeń i wyjaśnień. To, że obie te rzeczy nie idą ze sobą w parze, widać wyraźnie na przykładzie eliminacji sił uniwersalnych za pomocą geometrii pseudoriemannowskiej w OTW. Zresztą, sam sukces OTW, jej powszechna akceptacja w środowisku naukowym, przekonuje, że konwencjonalizm pomija kolejne ważne ograniczenie nakładane na geometrie pretendujące do roli adekwatnego opisu przestrzeni fizycznej. OTW bowiem nie tylko zawiera skomplikowany aparat formalny, lecz wyłania się z niej bardzo skomplikowany, w porównaniu z fizyką newtonowską, obraz świata. Jeśli więc coś przemawia za geometrią pseudoriemannowską, jako opisem przestrzeni fizycznej (czasoprzestrzeni), jest to raczej postulat prostoty założeń, a nie prostoty opisu.

Konwencjonalizm i nocne podwojenie

Pozostajmy jeszcze przy problemie empirycznych konsekwencji geometrii. Wiąże się z nim tzw. problem kongruencji, czyli podejrzenie, że nie sposób ustalić czy dwa ciała, które dzieli interwał przestrzenny lub czasowy, są naprawdę do siebie przystające. Wy-

nika to z założenia, które przyjmował Poincaré, że niezależnie od badania metryki czasoprzestrzeni nie sposób empirycznie stwierdzić, czy wzorce kongruencji nie ulegają odkształceniom podczas transportu w czasoprzestrzeni. Problem ten znany jest również jako tzw. hipoteza nocnego podwojenia (ND — ang. *Nocturnal Doubling*). Według niej, jeżeli wymiary wszystkich przedmiotów zwiększyłyby się pewnej cudownej nocy dwukrotnie, fakt ten nie powinien być wykrywalny empirycznie.

Hipoteza nocnego podwojenia wydaje się być uzasadniona. Jeśli nie dysponujemy określoną i stałą metryką przestrzeni, a wobec tego absolutną (w sensie: niezmienną) przestrzenią, to nie powinniśmy mieć możliwości orzekania o absolutnym przystawianiu dwóch rozdzielonych interwałem przestrzennym ciał, a także nie powinniśmy mieć możliwości wykrycia zmiany wymiarów ciał. Jeżeli jednak dopuszczamy możliwość wystąpienia nocnego podwojenia, to musimy utrzymywać za Schlesingerem, który w 1963 roku pierwszy zwrócił na to uwagę, że zwiększenie wymiarów ciał w sposób konieczny wiąże się ze zmianą wszystkich do tej pory zharmonizowanych ze sobą wzorców kongruencji. Wzorcami takimi mogą być przykładowo: przyspieszenie ziemskie, prędkość światła, okres wahania wahadła matematycznego. Schlesinger pokazał, że nocne podwojenie wywiera zauważalny wpływ na wszystkie wymienione wielkości i to w różny sposób. Oznacza to, że jeśli do tej pory wzorce te można było stosować wymiennie, to pod wpływem nocnego podwojenia wymiennność ta została naruszona. Hipoteza ND może wobec tego zostać utrzymana wyłącznie przy założeniu, że powiększenie wymiarów ciał będzie związane ze zmianą obowiązujących praw fizyki w ten sposób, iż te nowe prawa będą mogły posłużyć do utrzymania wymienności dotychczasowych wzorców kongruencji. Jak jednak powiększenie wymiarów ciał może wpływać na zmianę praw fizyki?

Pytanie to jest kluczowe i uważam, że w sytuacji przyjęcia zarówno hipotezy ND z jednej strony, jak i OTW z drugiej, dysponujemy tylko jedną sensowną odpowiedzią: skoro powiększenie

wymiarów ciał wywołuje zmianę praw fizyki, musi obowiązywać swoista zasada równoważności — niezauważalność jakichkolwiek zmian w czasie ND można uważać bądź za wynik zmiany praw rządzących fizyczną rzeczywistością, bądź geometrii (w sensie metryki) tej fizycznej rzeczywistości. Widzimy wobec tego, że postulat braku konsekwencji empirycznych nocnego podwojenia wzięty razem z OTW prowadzi do wniosku, iż zmiana praw fizycznych może być interpretowana jako zmiana geometrii (metryki) i *vice versa*. To zaś stanowi kolejny argument na rzecz odrzucenia konwencjonalizmu: geometria rzeczywistej przestrzeni fizycznej jest ściśle powiązana z prawami fizyki, ma więc ścisły związek z doświadczeniem.

Podjęte przez Schlesingera rozważania nad problemem nocnego podwojenia, ukazują jeszcze jedno ograniczenie względności geometrii. Ponieważ *faktycznie* dysponujemy kilkoma wymiennymi wzorcami kongruencji, interpretacja terminów geometrii w kategoriach jednego wzorca musi być zgodna, co do swych empirycznych konsekwencji, z tymi interpretacjami, które wykorzystują pozostałe wzorce. Wobec tego, jeżeli zakładamy słuszność hipotezy ND, nie wszystkie abstrakcyjne geometrie zdołamy zinterpretować w ten sposób, by otrzymać satysfakcjonujący opis rzeczywistości. Istnieje bowiem konieczność zachowania pełnej wymienialności pomiędzy różnymi wzorcami kongruencji. A jest mało prawdopodobne, by każda geometria gwarantowała to w jednakowym stopniu.

Przyczynowość

Kolejnego mocnego argumentu przeciwko konwencjonalizmowi dostarcza przyczynowość. Zgodnie z OTW czasoprzestrzeń powinniśmy traktować jako zależną od zachodzących w niej zdarzeń i kształtowaną przez te zdarzenia. Zdarzenia rozgrywają się jednak w określonym porządku przyczynowym, na straży którego również stoją prawa fizyki. W takim razie, choć na gruncie teorii względności geometria czasoprzestrzeni w pewnym sensie zmienia się od punktu do punktu, od jednego układu odniesienia do drugiego,

postulat stałości praw fizyki gwarantuje zachowanie obiektywnego porządku przyczynowego. Z STW wynika, że w tym celu konieczne jest przyjęcie niezmienności oraz granicznego charakteru prędkości światła. Zatem, przestrzeń fizyczna może być opisana tylko za pomocą takiej geometrii, która zachowuje obie te cechy prędkości światła. Bez tego, opis nie respektowałby faktów dotyczących *rzeczywistej* struktury przyczynowej.

Zdaniem Reichenbacha, przekonanie o względności geometrii wynika z możliwości ustalenia pomiędzy nimi „wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości”. Obiekty jednej geometrii zyskują odpowiadającą im reprezentację w innej. Czasami jednak reprezentacja ta przybiera osobliwe formy. Przykładowo, nie wszystkie punkty powierzchni kuli mogą być reprezentowane za pomocą punktów na płaszczyźnie. „Przy zwykłym rzutowaniu — pisze Reichenbach — biegun północny powierzchni kuli odpowiada nieskończoności na płaszczyźnie”⁵. W takim razie, skończona odległość pokonana przez punkt materialny przechodzący przez biegun kuli, stawałaby się nieskończona na płaszczyźnie. W przypadku niektórych geometrii, zastosowanie ich do opisu rzeczywistości może wobec tego oznaczać postulowanie istnienia sygnałów, które rozchodzą się szybciej niż fala świetlna. Sygnałów, które pokonują nieskończone odległości w skończonym czasie. Jeżeli więc naszym priorytetem jest zachowanie niezmiennego porządku przyczynowego, wszystkie geometrie, których konsekwencją byłoby istnienie takich osobliwych sygnałów, powinniśmy odrzucić. Konwencjonalizm natrafia zatem na kolejne ograniczenie.

Podsumowanie

Jak widać, wbrew stanowisku konwencjonalizmu, wybór geometrii do opisu przestrzeni fizycznej nie jest sprawą umowy, a przynajmniej umowa ta nie obejmuje swoim zakresem ogółu możliwych geometrii, rozumianych jako abstrakcyjne twory matema-

⁵ H. Reichenbach, *op. cit.*, s. 163.

tyczne. Zakres ten jest dosyć silnie limitowany przez zasady, które przyjmujemy jako nadrzędne, czy to uprawiając działalność naukową, czy też próbując spójnie opisać nasz wszechświat, a także przez to, co z tych zasad wynika. Przypomnijmy wobec tego zidentyfikowane ograniczenia nakładane na geometrie pretendujące do miana opisu rzeczywistości. Po pierwsze, obowiązujące teorie fizyczne mówiąc, jakie obiekty można stosować w definicjach przyporządkowujących, określają dopuszczalne interpretacje terminów geometrii. Po drugie, hipoteza ND i problem kongruencji nakazują wybór jedynie tych geometrii, dla których zachowana jest faktyczna wymienialność pomiędzy kryteriami przystawania. Po trzecie, postulat prostoty wyjaśnień oraz eliminacji niejasnych założeń skłania do wyboru takich zinterpretowanych geometrii, gdzie nie występują uniwersalne siły o nieznanym charakterze. I po czwarte wreszcie, obiektywna realność struktury przyczynowej oznacza zawężenie wyboru do jedynie tych systemów geometrycznych, które zachowują stałość i graniczny charakter prędkości światła. Wszystko to przemawia na rzecz poglądu, że mimo wielości możliwych do pomyślenia i skonstruowania geometrii, tylko niektóre z nich ewentualnie stanowią poprawny opis przestrzeni fizycznej. W gruncie rzeczy wyliczone ograniczenia mogą być na tyle silne, że tylko jedna geometria będzie spełniać je wszystkie.

Argumenty przeciwko tezie, iż wybór geometrii opisującej przestrzeń fizyczną jest sprawą konwencji, mają swoje źródło w obowiązującej fizyce. Wobec tego, zwolennik konwencjonalizmu wciąż może bronić swojego stanowiska twierdząc, iż dotychczasowe rozważania wcale nie podważają jego tezy. Mianowicie, wybór geometrii tylko dlatego nie jest sprawą konwencji, ponieważ właśnie *na drodze konwencji* przyjmujemy określone teorie fizyczne, a z nimi określone ograniczenia w wyborze geometrii w postaci kauzalności, związków pomiędzy wzorcami kongruencji, definicji przyporządkowujących. Swoboda opisu przestrzeni jest więc ograniczona, bo związani jesteśmy określoną umową dotyczącą teorii fizycznych. W połączeniu z *naszą fizyką* adekwatne są tylko określone opisy

geometryczne, ale w połączeniu z *inną fizyką* adekwatne byłby całkiem inne geometrie. Na ile jednak taka obrona konwencjonalizmu jest przekonująca?

Istnienie teorii innych niż *nasza fizyka*, które równie udanie opisują rzeczywistość, jest prawdopodobne. Nie wynika z tego jednak, że obecnie mamy do dyspozycji jakąkolwiek zadowalającą alternatywę względem np. teorii względności. Lecz konwencjonalizm jest stanowiskiem sensownym jedynie w sytuacji, gdy stoimy przed realnym wyborem. Nawet konsekwentny zwolennik konwencjonalizmu powinien więc ostatecznie, jeśli jego stanowisko ma zasługiwać na uwagę, wskazać teorie fizyczne, na których istnienie się powołuje. W takim razie, konwencjonalizm nie wydaje się być stanowiskiem przekonującym, przynajmniej na dzień dzisiejszy. Z drugiej strony, nie jest wykluczone, że za jakiś czas pojawi się alternatywa obowiązującej fizyki i dyskusja rozgorzeje na nowo. Zatem, sprawa konwencjonalizmu w pewnym sensie wciąż pozostaje otwarta.

Podziękowania

Dziękuję Janowi Czerniawskiemu i Bartłomiejowi Waclawowi, na których fachową pomoc mogłem liczyć w czasie pracy nad pierwszymi wersjami tego artykułu.

Literatura

- [1] W. Laprus, *Współczesna koncepcja przestrzeni i czasu*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970.
- [2] J. Rayski, *Czas, przestrzeń, kwanty*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1964.
- [3] I. Szumilewicz, *Poincaré*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1978.
- [4] E. F. Taylor, J. A. Wheeler, *Fizyka czasoprzestrzeni*, PWN, Warszawa 1975.