

Tadeusz PABJAN

Sekcja Filozofii Przyrody
Katolicki Uniwersytet LubelskiO KONWENCJONALNYM CHARAKTERZE
POJĘCIA JEDNOCZESNOŚCI W STW

Zdarzenia jednoczesne w danym układzie odniesienia posiadają w czasoprzestrzeni Minkowskiego identyczne współrzędne czasowe. Jak wiadomo, nie istnieją oddzielone przestrzennie zdarzenia, którym przysługiwałaby jednoczesność w sensie absolutnym. Jedynie zdarzeniom, zachodzącym w tym samym punkcie przestrzeni¹ można przypisać taką jednoczesność, ale wówczas — w sensie ścisłym — zdarzenia takie nie są jednoczesne, lecz tożsame. Zgodnie ze Szczególną Teorią Względności (STW), fizyczny sens ma tylko względna jednoczesność zdarzeń, to znaczy jednoczesność określana względem danego inercyjnego obserwatora. Względność jednoczesności uwidacznia się przy przejściu z jednego inercyjnego układu odniesienia do innego: dwa zdarzenia, jednoczesne w jednym układzie, nie muszą być jednoczesne w innym. Kiedy rozpatruje się tylko jeden inercyjny układ odniesienia, znika problem tak określonej względności jednoczesności, ale pojawia się inna trudność, wyrażona w pytaniu, czy jednoczesność zdarzeń w konkretnym układzie odniesienia określona jest w sposób

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

¹Koincydencja, czyli występowanie zdarzeń w tym samym punkcie przestrzeni i w tym samym momencie czasu, może być zrealizowana tylko w pewnym przybliżeniu, gdyż fizyczne zdarzenia nigdy nie zachodzą dokładnie w tym samym punkcie przestrzeni ze względu na niezerowe rozmiary samych obiektów.

jednoznaczny i absolutny (niekonwencjonalny), czy też istnieje dowolność w decydowaniu, które zdarzenia są jednoczesne w tym układzie. Co prawda, od roku 1905 znana jest procedura Einsteina, pozwalająca zsynchronizować ze sobą odległe zegary, a tym samym ustalić jednoczesność odległych zdarzeń, ale do dzisiaj nie znaleziono ostatecznej odpowiedzi na pytanie, czy sam wybór takiej procedury jest koniecznością, czy też jest sprawą konwencji. W niniejszym artykule przedstawione zostaną wybrane argumenty oraz kontrargumenty za konwencjonalnym charakterem pojęcia jednoczesności w STW.

1. STANDARDOWA PROCEDURA SYNCHRONIZACJI

Do czasów Einsteina sądzono, opierając się na newtonowskiej zasadzie oddziaływania na odległość, że jeśli w jakimś układzie odniesienia zachodzi w chwili t zdarzenie A , to jest ono jednoczesne z wszystkimi innymi zdarzeniami, dowolnie odległymi od A , które zachodzą w tej samej chwili t , mierzonej względem tego układu. STW przyniosła zasadniczą zmianę w rozumieniu pojęcia jednoczesności. Einstein jako pierwszy doszedł do wniosku, iż aby poprawnie opisać jednoczesność, należy topologiczną charakterystykę zdarzeń uzupełnić o odpowiednią definicję metryczną, gdyż ustalenie jednoczesności odbywa się zawsze w oparciu o pomiary przestrzenne. Zakładając, że prędkość światła jest stała, i że stanowi ona maksymalną prędkość przekazywania sygnałów fizycznych, Einstein zdefiniował² jednoczesność następująco: w danym układzie odniesienia zdarzenia A i B są jednoczesne wtedy, gdy obserwator znajdujący się w środku odcinka AB spostrzeże je w tym samym momencie. Takie określenie jednoczesności stanowi jej definicję przyporządkowującą³, to znaczy nie wyraża istoty samego pojęcia, ale przyporządkowuje mu pewien proces fizyczny, pozwalający je zidentyfikować. Ponieważ jednak po-

²Zob. A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, [w:] 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki, P. Amsterdamski (tłum.), WUW, Warszawa 2005, s. 122–125.

³Por. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, M. Reichenbach, J. Freud (tłum.), Dover Publications, Inc., New York 1958, s. 124.

jęciu jednoczesności można przyporządkować wiele różnych procesów fizycznych, które będą je identyfikować, dlatego też możliwe są różne definicje jednoczesności. Oznacza to, że definicja jednoczesności nie ma jednego koniecznego kształtu, zaś Einstein, wybierając taką, a nie inną definicję, posłużył się pewną konwencją, czyli wybrał jedną z wielu innych możliwości. Problemem do dzisiaj nierozwiązanym jest to, czy sam wybór takiej konwencji jest koniecznością, czy też możliwe są inne definicje, które będą poprawnie funkcjonować w ramach fizyki STW.

Definicja Einsteina pozwala określić procedurę zsynchronizowania oddalonych od siebie zegarów. Obserwacja odległych zdarzeń w celu stwierdzenia ich jednoczesności jest tylko teoretycznym postulatem i z praktycznych względów nie zawsze jest możliwa, natomiast użycie zsynchronizowanych zegarów pozwala w łatwy sposób ustalić, które zdarzenia w dowolnym miejscu inercjalnej przestrzeni zachodzą w tej samej chwili. Procedura synchronizacji zegarów, określona przez Einsteina, nazywana jest standardową procedurą, w odróżnieniu od wszystkich innych sposobów ustalenia jednoczesności zdarzeń, które zaprezentowane zostaną w dalszej części artykułu.

Procedura ta przedstawia się następująco: w dwóch oddalonych od siebie punktach A i B inercjalnego układu znajdują się zegary Z_1 i Z_2 . Z punktu A (zegar Z_1) zostaje wysłany do punktu B (zegar Z_2) możliwie najszybszy fizyczny sygnał, tj. promień świetlny; w punkcie B promień zostaje odbity i powraca do punktu A . Emisja, odbicie i powrót promienia świetlnego odbywają się natychmiastowo, czyli bez jakiegokolwiek opóźnienia; sama zaś odległość pomiędzy punktami A i B , ze względu na skończoną prędkość światła, nie jest pokonywana przez sygnał natychmiast, ale w przeciągu określonego czasowego interwału. Zsynchronizowanie zegarów Z_1 i Z_2 polega na określeniu, które zdarzenie w punkcie A , zachodzące pomiędzy momentem wysłania sygnału świetlnego (Z_1 czas wysłania), i jego powrotem (Z_1 czas powrotu), jest jednoczesne ze zdarzeniem odbicia sygnału w punkcie B (Z_2 czas odbicia). Zdarzenia jednoczesne, zachodzące w punktach A i B , pozwalają w oparciu o pojęcie koin-

cydencji zsynchronizować ze sobą zegary Z_1 i Z_2 , czyli ustawić ich wskazówki w tym samym położeniu w tej samej chwili „wspólnego” czasu. Einstein przyjął jako definicję, że zegary są zsynchronizowane, jeśli zachodzi warunek⁴:

$$Z_2 \text{ czas odbicia} = \frac{Z_1 \text{ czas wysłania} + Z_1 \text{ czas powrotu}}{2}$$

co oznacza, że zdarzenie odbicia sygnału w punkcie B jest jednocześnie ze zdarzeniem w punkcie A , wyznaczonym na zegarze Z_1 połową interwału pomiędzy wysłaniem i powrotem promienia świetlnego. Powyższe równanie w postaci zaproponowanej przez Reichenbacha⁵ przedstawia się następująco:

$$Z_2 \text{ czas odbicia} = Z_1 \text{ czas wysłania} + \frac{1}{2} (Z_1 \text{ czas powrotu} - Z_1 \text{ czas wysłania})$$

Jak widać, definicja Einsteina opiera się na założeniu, że czas potrzebny na pokonanie odległości dzielącej zegary jest identyczny w obydwu kierunkach. To założenie zostało zakwestionowane najpierw przez Reichenbacha, a następnie przez innych zwolenników koncepcji konwencjonalnego charakteru pojęcia jednoczesności. Ich zdaniem, omawiana definicja równie dobrze może opierać się na innym założeniu, ponieważ nie ma ono odniesienia do fizycznej rzeczywistości, ale jest w zasadzie w sposób dowolny określane przez naukowca, który definicję formułuje. Einstein ustala „wspólny czas” dla oddalonych przestrzennie punktów A i B , uznając na mocy definicji⁶, że „czas”, jaki potrzebuje światło na przebycie drogi z A do B ,

⁴Einstein podaje to równanie w postaci: $t_B - t_A = t'_A - t_B$, gdzie t_A i t'_A są odpowiednio czasem wysłania i powrotu sygnału do punktu A , zaś t_B jest czasem odbicia sygnału od punktu B , por. A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, dz. cyt., s. 124.

⁵Por. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 127.

⁶*Indem man durch Definitionen festsetzt*; A. Einstein, *Zur Elektrodynamik Bewegter Körper*, [w:] *The Collected Papers of Albert Einstein*, J. Stachel (red.), t. 2, Princeton University Press, Princeton 1989, s. 279. W angielskich przekładach: *by stipulating by means of a definition*.

jest równy „czasowi”, jaki potrzebuje światło na przebycie drogi z B do A ⁷. A zatem odpowiednie zdarzenia w punktach A i B są jednocześnie na mocy owego warunku (*Festsetzung, stipulation, uznanie*); nie jest to jednakże ani przypuszczenie, ani hipoteza, ale pewien akt wolnej woli, który pozwala otrzymać definicję jednoczesności. Zastępując zegary obserwatorem, który w punkcie M , w środku odcinka AB , spostrzega jednocześnie przybycie sygnałów świetlnych, Einstein pisze: *To, że światło potrzebuje tyle samo czasu na przebycie odcinka AM , jak i odcinka BM , w rzeczywistości nie jest ani przypuszczeniem (supposition), ani hipotezą (hypothesis) o fizycznej naturze światła, ale warunkiem (stipulation), który mogę uczynić na podstawie mojej wolnej woli (of my own freewill), aby otrzymać definicję jednoczesności*⁸. Zdaniem A. Grünbauma, tę wypowiedź Einsteina można traktować jako jego osobistą deklarację na temat ontologicznego statusu pojęcia jednoczesności, które w rzeczywistości posiada konwencjonalny charakter⁹. Stanowisko Einsteina w podobny sposób interpretuje Reichenbach¹⁰. Z kolei Mehlberg zauważa, iż definicja Einsteina nie jest definicją w ścisłym sensie, ponieważ określa dostateczny warunek jednoczesności zdarzeń, ale nie precyzuje warunku koniecznego¹¹; jest to zatem jedynie kryterium jednoczesności. Kryterium zaś, w prze-

⁷A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, dz. cyt., s. 124.

⁸A. Einstein, *Relativity, The Special and the General Theory*, R.W. Lawson (tłum.), Methuen, London 1954, s. 23.

⁹Por. A. Grünbaum, *David Malament and the Conventionality of Simultaneity: A Reply*, <<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000184/00/malament.pdf>>, marzec 2001, s. 8; artykuł znajduje się w I tomie przygotowywanej do druku książki Grünbauma „Philosophy of Science in Action”, Oxford University Press, New York.

¹⁰Por.: *Einstein has shown the way out of this logical circle: we cannot know the simultaneity of distant events at all, but can only define it. Simultaneity is arbitrary; we can lay down whatever definitions we wish concerning it, without giving rise to an error. For if we subsequently make measurements, we will invariably reach the result of the same simultaneity that we inserted by definition in the first place; this process can never lead to a contradiction*; H. Reichenbach, *The Relativistic Theory of Time*, [w:] *Selected Writings, 1909–1953*, Vol. II, M. Reichenbach, R.S. Cohen (red.), D. Reidel Publishing Company, Dordrecht / Boston / London 1978, s. 71.

¹¹Warunkiem dostatecznym jest tu spotkanie dwóch promieni świetlnych, których wysłanie koincyduje odpowiednio z zajściem zdarzeń; tymczasem zdarzenia jedno-

ciwieństwie do definicji, nie może być dowolne, dlatego nie można traktować definicji Einsteina jako argumentu na rzecz konwencjonalistycznej koncepcji jednoczesności¹². Na niedoskonałości definicji Einsteina wskazuje również Robb, który podkreśla, iż *nie wydaje się poprawną procedurą oparcia filozoficznej teorii na tak skomplikowanym mechanizmie, jakim jest zegar, bez precyzyjnego zdefiniowania tego, co tworzy równe interwały czasu*¹³.

2. DEFINICJA REICHENBACHA

Teza o konwencjonalnym charakterze jednoczesności, czyli o tym, że procedura synchronizacji określona przez Einsteina nie jest w żaden sposób wymuszona przez fizyczną rzeczywistość, ale że dopuszcza ona również inne sposoby ustalenia „wspólnego” czasu dla oddalonych zegarów, pojawiła się szczególnie wyraźnie u Reichenbacha. Jego zdaniem, definicja jednoczesności, zawarta w dziele Einsteina, jest tylko jedną z możliwych definicji. Równie poprawną będzie każda inna definicja, zgodna z kauzalną teorią czasu, która nakłada na taką definicję warunek, by zdarzenie jednoczesne z przybyciem promienia świetlnego do punktu *B*, nie było wcześniejsze od momentu wysłania promienia z punktu *A*, ani późniejsze niż moment powrotu promienia do punktu *A*. Definicja Reichenbacha ma zatem postać¹⁴:

$$Z_2 \text{ czas odbicia} = Z_1 \text{ czas wysłania} + \\ \epsilon \left(Z_1 \text{ czas powrotu} - Z_1 \text{ czas wysłania} \right)$$

czesne mogą zachodzić także w takich miejscach, gdzie nie dociera światło, np. za doskonale nieprzeźroczystą przesłoną.

¹²Por. H. Mehlberg, *Time, Causality and Quantum Theory. Studies on the Philosophy of Science*, t. 1: *Essey on the Causal Theory of Time*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht / Boston / London 1980, s. 123–124. Mehlberg dostrzega też trudności natury technicznej związane z definicją Einsteina, por. tamże, s. 124–125.

¹³Por. A.A. Robb, *A Theory of Time and Space*, Cambridge University Press, Cambridge 1914, s. 8.

¹⁴Por. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 127.

gdzie $0 < \epsilon < 1$. Konwencjonalny charakter jednoczesności wyraża się w tej definicji tym, że wartość ϵ — może zostać wybrana z przedziału $(0, 1)$ w zasadzie w dowolny sposób. Jeśli STW ustala wartość $\epsilon = \frac{1}{2}$, to dzieje się tak wyłącznie ze względów prostoty; z punktu widzenia teorii kauzalnej to ustalenie jest jednak całkowicie konwencjonalne. Jediną konsekwencją wyboru innej wartości ϵ z przedziału $(0, 1)$ jest to, iż czas potrzebny na pokonanie odległości z A do B nie będzie równy czasowi powrotu z B do A ; poza tym definicja ta spełnia taką samą funkcję, jak analogiczna definicja Einsetina.

Reichenbach uzasadnia swoją tezę w następujący sposób: przyjęcie wartości $\epsilon = \frac{1}{2}$, czyli założenie, że odbicie promienia w punkcie B jest jednoczesne ze zdarzeniem wyznaczonym przez połowę czasu pomiędzy wysłaniem i powrotem promienia w punkcie A , jest możliwe tylko pod warunkiem, że światło rozchodzi się z taką samą prędkością we wszystkich kierunkach, co gwarantuje równość interwałów czasowych potrzebnych do przebycia odcinka AB oraz BA . Aby jednak dowiedzieć się, z jaką prędkością faktycznie porusza się światło, potrzeba najpierw zsynchronizować zegary w punkcie wysłania i przybycia promienia — inaczej nie uda się zmierzyć czasu, koniecznego do wyliczenia prędkości światła. Nie można jednak zsynchronizować zegarów, nie wiedząc wpierw, które z odległych zdarzeń są jednoczesne! W rozumowaniu tym pojawia się błędne koło: *aby określić jednoczesność odległych zdarzeń, musimy znać prędkość, lecz aby zmierzyć prędkość, potrzebujemy wiedzy o jednoczesności odległych zdarzeń. Pojawienie się takiej cyrkularności dowodzi, że jednoczesność nie jest sprawą wiedzy (knowledge), ale definicji koordynacyjnej, gdyż logiczne błędne koło jest dowodem, że wiedza o jednoczesności w zasadzie jest niemożliwa*¹⁵. Błędne koło zostaje przerwane przez określenie wartości ϵ , jednakże ustalenie $\epsilon = \frac{1}{2}$, tak samo jak wybranie każdej innej wartości z przedziału $(0, 1)$ pozostaje decyzją arbitralną¹⁶. Oznacza to, że również ustalenie faktycznej prędkości światła nie jest wolne od

¹⁵Tamże, s. 126–127.

¹⁶Por. J. Norton, *Philosophy of Space and Time*, [w:] J. Butterfield, M. Hogarth, G. Belot (red.), *Spacetime*, Dartmouth, Aldershot 1996, s. 192–193.

konwencji, gdyż procedura pomiaru prędkości światła także uwikłana jest w podobne błędne koło. Jak wiadomo, Fizeau dokonał pomiaru prędkości światła w oparciu o jeden zegar, który mierzył czas pomiędzy wysłaniem promienia świetlnego w kierunku odległego zwierciadła i jego powrotem; stosunek przebytej drogi do czasu wyznaczył szukaną prędkość światła. Wydaje się więc, że w tym przypadku — ponieważ w doświadczeniu został użyty tylko jeden zegar — nie zachodzi konieczność ustalenia jednoczesności zdarzeń, czyli zsynchronizowania dwóch odległych zegarów. Reichenbach zauważa jednakże, iż w przypadku takiego pomiaru istnieje przyjmowane milcząco, niczym nie potwierdzone założenie, że prędkość światła jest taka sama w obydwu kierunkach. Potwierdzić to założenie można tylko w jeden sposób: poprzez pomiar czasu, potrzebnego na przebycie drogi do zwierciadła; do tego zaś konieczne jest użycie dwóch zegarów, i — co za tym idzie — uprzednie określenie jednoczesności odległych zdarzeń. Również i w tym przypadku pojawia się błędne koło, co dowodzi, że pomiar jakiegokolwiek prędkości, nawet w oparciu o jeden tylko zegar, zakłada wiedzę o jednoczesności zdarzeń¹⁷. *Tak więc — według Reichenbacha — porządek temporalny z epistemologicznego punktu widzenia posiada dwie całkowicie różne składowe (nie różniane przez fizyków): składową topologiczną, wyrażającą kauzalną strukturę, nieodłączną od fizycznej rzeczywistości, oraz składową metryczną, konwencjonalną i relatywną względem potrzeb nauki. Każde przejście z porządku topologicznego do metrycznego pociąga za sobą konwencje pomiarów*¹⁸.

Gruntowną krytykę koncepcji Reichenbacha przeprowadza w swoim dziele Mehlberg, który wykazuje, iż Reichenbach niesłusznie dokonuje demarkacji pomiędzy rzeczywistymi i konwencjonalnymi elementami temporalnego porządku. Ponadto, Mehlberg zarzuca Reichenbachowi błędną interpretację definicji Einsteina, która w rzeczywistości stanowi jedynie kryterium jednoczesności i, jako takie, nie może być traktowane jako argument za konwencjonalnym

¹⁷Por. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 126.

¹⁸H. Mehlberg, *Time, Causality and Quantum Theory*, dz. cyt., s. 108–109.

charakterem jednoczesności¹⁹. Filozoficzne konsekwencje definicji Reichenbacha analizuje również Rynasiewicz²⁰, który twierdzi, że stosując niestandardowe kryterium jednoczesności, jakie wypływa z definicji Reichenbacha, można zbudować geometrię czasoprzestrzeni STW, posiadającą takie same metryczne i topologiczne własności, jak geometria zbudowana w oparciu o definicję Einsteina. Co prawda, nie udało się to Reichenbachowi, ale w zasadzie jest to możliwe²¹.

3. POSZUKIWANIE ABSOLUTNYCH (NIEKONWENCJONALNYCH) DEFINICJI JEDNOCZESNOŚCI

Wielokrotnie podejmowano próby ustalenia jednoczesności absolutnej, to znaczy wolnej od wszelkiej konwencji²². Jak zauważa Reichenbach, wszystkie te próby oparte są na tej samej zasadzie i wszystkie one zawodzą, gdyż każda z nich zakłada — pośrednio lub bezpośrednio — nieskończoną, lub dowolnie wielką prędkość propagacji sygnału fizycznego. Tymczasem wszystkie oddziaływania kauzalne, wykorzystywane w definicjach jednoczesności, stosują się do zasady oddziaływania przez kontakt, nawet jeśli w potocznym rozumieniu są przykładem oddziaływania na odległość²³.

Pierwszym przykładem absolutnej definicji jednoczesności zdarzeń jest definicja zbudowana w oparciu o przekaz sygnału fizycznego w układzie elektrycznym. Sygnał przekazywany jest tu za pośrednictwem prądu płynącego w zamkniętym obwodzie. Jeśli w obwodzie znajduje się bateria, oraz dwa przełączniki, oddzielone galwanometrem, to jednoczesne zamknięcie obwodu na przełącznikach spowoduje przepływ prądu, który uwidoczni się na mierniku. Brak wskazań na

¹⁹Gdyż kryterium nie może być dowolne, por. tamże, s. 105–133.

²⁰Por. R. Rynasiewicz, *Reichenbach's Epsilon-Definition of Simultaneity in Historical and Philosophical Perspective*, <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000674/01/epsilon_sim.pdf>, VII 2002.

²¹Tamże, s. 8.

²²Najczęściej proponowane definicje jednoczesności omawia w swoim dziele Reichenbach, por. *The Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 129–135.

²³Por. tamże, s. 131–132.

galwanometrze oznacza, iż uruchomienie przełączników nie było jednoczesne, natomiast wychylenie wskazówki oznacza, że oddzielone przestrzennie zdarzenia, polegające na zamknięciu obwodu na przełącznikach, nastąpiły jednocześnie w sensie absolutnym. Przeciwno tak określonej definicji jednoczesności wysuwa się zarzut, który Reichenbach odniósł do standardowej procedury synchronizacji zegarów: jak wiadomo, prąd elektryczny to nic innego, jak strumień elektronów, które poruszają się z określoną, skończoną prędkością, mniejszą od prędkości światła. W mocy pozostaje więc zarzut cyrkularności: aby ustalić jednoczesność zdarzeń, trzeba się najpierw upewnić, że nie zmienia się prędkość sygnału fizycznego przekazywanego w obwodzie z prądem; a nie można zmierzyć tej prędkości bez uprzedniego zsynchronizowania zegarów, czyli ustalenia jednoczesności odległych zdarzeń. Wykorzystanie obwodu elektrycznego w celu ustalenia absolutnej jednoczesności zawodzi zatem z powodu skończonej prędkości propagacji sygnału fizycznego w takim obwodzie.

Kolejna próba określenia zdarzeń jednoczesnych polega na wykorzystaniu ciała sztywnego. Jeśli ciało takie spoczywa w danym układzie odniesienia, to jego końce wyznaczają dwa oddzielone przestrzennie punkty A i B . Gwałtowne pchnięcie ciała na jednym jego końcu spowoduje natychmiastowy przekaz sygnału z punktu A do B , czyli wyznaczy jednoczesne w sensie absolutnym zdarzenia w oddzielonych przestrzennie punktach. To rozumowanie byłoby prawdziwe, gdyby istniały ciała absolutnie sztywne, zdolne do realizacji zasady oddziaływania na odległość. Ponieważ jednak ciała takie w rzeczywistości nie istnieją, również i w tym przypadku zachowana jest zasada oddziaływania przez kontakt, co oznacza, że sygnał fizyczny w postaci sprężystej propagacji nie jest przekazywany natychmiastowo, lecz z prędkością znacznie mniejszą od prędkości światła. *Z powodu istnienia granicy prędkości dla wszystkich kauzalnych propagacji, wykluczone są nie tylko nieskończone prędkości, ale również ciała absolutnie sztywne*²⁴.

Do zdefiniowania zdarzeń absolutnie jednoczesnych próbowano również wykorzystać zasadę zachowania pędu. Zgodnie z tą zasadą,

²⁴Tamże, s. 133.

dwie cząstki o równych masach, umieszczone początkowo w identycznej odległości od punktów *A* i *B*, a następnie rozdzielone przez eksplozję, otrzymają taki sam pęd, a przez to osiągną jednocześnie punkty *A* i *B*. Jednakże, wykorzystana w tym przykładzie zasada zachowania pędu wykorzystuje wiedzę o prędkości cząstki. Prędkość zaś nie może zostać zmierzona bez wcześniejszego zsynchronizowania zegarów. Pojawienie się cyrkularności również i w tym przypadku dowodzi, iż zasada zachowania pędu nie może być wykorzystana do ustalenia zdarzeń absolutnie jednoczesnych²⁵.

Kolejnym przykładem próby ustanowienia zdarzeń absolutnie jednoczesnych jest „transport zegarów”. W tym przypadku jednoczesność odległych zdarzeń ustala się w oparciu o zsynchronizowane uprzednio zegary; synchronizacji zaś dokonuje się, umieszczając zegary blisko siebie²⁶ w punkcie *A*, a następnie jeden z nich przesuwa się z możliwie jak najmniejszą prędkością²⁷ do dowolnie odległego punktu *B*. Po zastosowaniu takiej procedury, zegary w punktach *A* i *B* są zsynchronizowane, a zatem mogą wyznaczać zdarzenia absolutnie jednoczesne. Reichenbach przytacza przeciwko temu rozumowaniu następujące kontrargumenty: najpierw, fizyka relatywistyczna wyklucza możliwość transportu zegarów, który nie miałby absolutnie żadnego wpływu na czas odmierzany przez takie zegary; ponadto, nawet jeśli założymy, że ruch zegara nie wpływa na odmierzany przez niego czas, to i tak nie ma pewności, że zegary, które poruszają się wzdłuż odmiennych linii świata, odmierzają czas w takim samym tempie. Wreszcie, aby zmierzyć faktyczną prędkość transportu zegara, konieczne jest uprzednie zsynchronizowanie innych zegarów. Również i w tym przypadku powraca widmo błędnego koła. Przyjęcie założenia o jednorodnym

²⁵Por. W. Salmon, *The Philosophical Significance of the One-Way Speed of Light*, *Noûs* 11 (1977), s. 273.

²⁶W oparciu o pojęcie koincydencji: zegary są w przybliżeniu w tym samym miejscu, co pozwala stwierdzić koincydencję wskazówek (wskazówki są w tym samym położeniu o tym samym czasie), bez konieczności uwzględniania jednoczesności zdarzeń oddzielonych przestrzennie.

²⁷Aby uniknąć relatywistycznego spowolnienia zegara.

upływie czasu podczas transportu, jest niczym więcej jak kolejną arbitralną definicją jednoczesności, analogiczną do definicji Einsteina²⁸.

Ponieważ stanowisko konwencjonalistyczne opiera się na istnieniu granicznej prędkości przesyłania sygnałów fizycznych, dlatego najprostsza definicja, ustalająca absolutną jednoczesność odległych zdarzeń, byłaby definicja oparta o istnienie dowolnie szybkich sygnałów fizycznych, czyli o zasadę oddziaływania na odległość. Gdyby było możliwe przesyłanie fizycznego sygnału z nieskończoną prędkością, istniałby prosty sposób na zsynchronizowanie dowolnie odległych zegarów i zarazem ustalenie absolutnej jednoczesności zdarzeń. Ponieważ jednak żaden fizyczny sygnał nie porusza się szybciej od światła²⁹, zasada oddziaływania na odległość nie może posłużyć do ustalenia absolutnej jednoczesności zdarzeń.

Znaczna część opracowań na temat konwencjonalnego charakteru jednoczesności poświęcona jest poszukiwaniu definicji jednoczesności wolnej od jakiegokolwiek konwencji. Jak na razie, poszukiwania te nie zostały uwieńczone powodzeniem, dlatego też oparcie się na definicji przyjętej w sposób arbitralny wydaje się koniecznością. *Alternatywna, wolna od konwencji metoda synchronizacji odległych zegarów prawdopodobnie nigdy nie zostanie znaleziona*³⁰.

²⁸*The absolute transport time, if uniquely defined, would give us nothing but a definition of simultaneity, which is a definition in the same sense as the definition of congruence by means of rods. The theory of relativity, however, maintains the existence of an essential difference. Whereas the congruence of rods is independent of the path of transport, that of clocks is not. The theory of relativity excludes the transport time because of this physical fact;* H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 133. Dyskusja pozostałych argumentów i kontrargumentów dotyczących transportu zegarów znajduje się w: A. Janis, *Conventionality of Simultaneity*, [w:] *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <<http://plato.stanford.edu/entries/spacetime-convensimul/>>, lipiec 2002.

²⁹Jeśli zostanie udowodnione istnienie tachionów, możliwość ustalenia absolutnej jednoczesności odległych zdarzeń zyska mocny argument.

³⁰*No such convention-free, alternative method is likely to be found;* J. Norton, *Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 18. Por. też: A. Janis, *Simultaneity and Conventionality*, [w:] *Physics, Philosophy and Psychoanalysis*, R. Cohen, L. Laudan (red.), D. Reidel, Dordrecht / Boston 1983, s. 103–105; J. Norton, *The Quest for*

4. TWIERDZENIE MALAMENTA

Autorem znanego argumentu przeciwko tezie o konwencjonalnym charakterze pojęcia jednoczesności jest Malament³¹. Sformułował on twierdzenie, w którym dowodzi, że kauzalna struktura STW nie pozwala na dowolność w definiowaniu zdarzeń jednoczesnych, ponieważ standardowa relacja jednoczesności, wyznaczona przez $\epsilon = \frac{1}{2}$, jest jedyną nietrywialną relacją jednoczesności, jaką można zdefiniować w danym układzie odniesienia w terminach relacji kauzalnych.

Jak wiadomo, standardowa relacja jednoczesności zależy od wyboru inercjalnego układu odniesienia; Malament wiąże układ odniesienia z inercjalnym obserwatorem, którego reprezentuje krzywa czasopodobna O . Po odpowiednim zdefiniowaniu relacji kauzalnej κ ³², Malament formułuje problem następująco: *jakie potencjale „relacje jednoczesności” można zdefiniować w terminach κ ?*³³ Następnie Malament wykazuje, że:

- relacja standardowej jednoczesności ($\epsilon = \frac{1}{2}$) jest definiowalna w terminach kauzalnego połączenia κ , oraz relacji bycia elementem krzywej czasopodobnej O ;
- relacja standardowej jednoczesności ($\epsilon = \frac{1}{2}$) jest jedyną dwuczłonową relacją definiowalną w terminach κ oraz O ; pod warunkiem, że:

the One Way Velocity of Light, „British Journal for the Philosophy of Science”, 37 (1986), s. 119.

³¹Zob. D. Malament, *Causal Theories of Time and the Conventionality of Simultaneity*, [w:] *Spacetime*, J. Butterfield, M. Hogarth, G. Belot (red.), Dartmouth, Aldershot 1996, s. 365–372.

³²Kauzalne połączenie zdarzeń Malament definiuje następująco: klasa wszystkich zdarzeń pozostająca w relacji kauzalnego połączenia jest izomorficzna z (R^4, κ) , gdzie dla dowolnych zdarzeń p i q , dwuczłonowa relacja κ określona jest następująco: $p\kappa q \equiv |p - q| \geq 0$; relacja κ nazwana jest relacją kauzalnego połączenia; por. tamże, s. 366.

³³Tamże.

- (i) relacja ta nie jest trywialna, tzn. nie łączy każdego zdarzenia z każdym innym, a zarazem łączy przynajmniej jeden punkt na O z innym punktem, nie należącym do O ;
- (ii) relacja ta jest relacją równoważnościową³⁴.

Dowód twierdzenia Malamenta oparty jest na pojęciu symetrii, które zachowuje stożkowa struktura czasoprzestrzeni Minkowskiego, oraz opisana na niej linia świata O . Główna idea dowodu jest następująca: *każda symetria linii świata O , oraz struktury stożków świetlnych, musi jednocześnie być symetrią zachowywaną przez dowolną relację jednoczesności, zdefiniowaną na tej strukturze*³⁵. Poszukiwane symetrie muszą przekształcać linię świata O na nią samą; będą to zatem: translacje, skalowania, obroty wokół linii świata O oraz odbicia względem hiperpowierzchni ortogonalnej do O . W przeprowadzonym dowodzie Malament wykazuje, iż standardowa relacja jednoczesności jest jedyną dwuczłonową relacją, spełniającą warunki (i) oraz (ii), która pozostaje niezmiennicza przy zachowaniu wymienionych symetrii.

Teza postawiona przez Malamenta spotkała się z krytyką nie tylko ze strony zwolenników konwencjonalnego charakteru pojęcia jednoczesności. Według Nortona, podstawową słabością twierdzenia Malamenta jest nadmierna wrażliwość ostatecznego wyniku na niewielkie zmiany warunków przyjmowanych w punkcie wyjścia³⁶. I tak np. przyjęcie dodatkowego warunku czasowej orientowalności czasoprzestrzeni wystarcza do zdefiniowania nieskończenie wielu niestandardowych relacji jednoczesności³⁷. Gruntowną krytykę argumentów Mala-

³⁴Czyli jest zwrotna, symetryczna i przechodnia. Warunek (ii) umożliwia dokonanie podziału wszystkich zdarzeń czasoprzestrzeni na rozłączne zbiory zdarzeń wzajemnie jednoczesnych, czyli na hiperpowierzchnie jednoczesności.

³⁵J. Norton, *Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 49.

³⁶*The analysis depends on the assumption that the simultaneity relation be definable by the following list of structures: light cone structure, the inertial worldline O . It is crucial that this list be preserved since the slightest change in it seems to be sufficient to defeat Malament's result; tamże.*

³⁷Por. P. Spirtes, *Conventionalism and the Philosophy of Henri Poincaré*, Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh 1981, rozdział VI.

menta przeprowadza Grünbaum³⁸, który upatruje słabość omawianego twierdzenia w tym, iż wymóg równoważności, nałożony na relację jednoczesności, jest tu postulatem, a nie zdaniem udowodnionym³⁹. Również inni krytycy Malamenta wykazują, iż jego twierdzenie oparte jest na pewnych upraszczających założeniach, które w ostatecznym rozrachunku umniejszają lub całkowicie przekreślają siłę jego argumentów⁴⁰.

5. RACJONALNOŚĆ ŚWIATA JAKO ARGUMENT PRZECIWKONWENCJONALNOŚCI JEDNOCZESNOŚCI

Określenie „wspólnego czasu” dla odległych zdarzeń Einstein poprzedza następującym zdaniem: *Nie da się porównać czasu zdarzenia A z czasem zdarzenia B bez wprowadzenia dalszych reguł*⁴¹. Jak to już było powiedziane, „dalsze reguły” przyjmują u Einsteina postać definicji przyporządkowującej, w której zakłada się, że w pustej przestrzeni czas, potrzebny światłu na pokonanie określonego odcinka jest w obydwu kierunkach taki sam. Niemożność udowodnienia tego założenia bez popadnięcia w błędne koło, jest argumentem za konwencjonalnym charakterem pojęcia jednoczesności. Istnieją jednak inne racje za tym, iż założenie to pozostaje prawdziwe bez względu na logiczne trudności, które rodzą się przy próbach jego udowodnienia.

³⁸Zob. A. Grünbaum, *David Malament and the Conventionality of Simultaneity: A Reply*; art. cyt.

³⁹Na podstawie prywatnej korespondencji Nortona i Grünbauma, zob. J. Norton, *Philosophy of Space and Time*, dz. cyt., s. 50.

⁴⁰Por. S. Sarkar, J. Stachel, *Did Malament Prove the Non-Conventionality of Simultaneity in the Special Theory of Relativity?*, „Philosophy of Science”, 66 (1999), s. 208–220; D. Giulini, *Uniqueness of Simultaneity*, „British Journal of the Philosophy of Science”, 52 (2001), s. 651–670; R. Rynasiewicz, *Is Simultaneity Conventional despite Malament's Result?*, <<http://philsci-archiv.pitt.edu/archive/00000293/00/text.pdf>>, VI 2001.

⁴¹A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, dz. cyt., s. 124.

Historia nauki pokazuje, że nie można dorzecznie mówić o świecie bez zdefiniowania pewnych pojęć⁴². Jednakże definiować pojęcia można na wiele różnych sposobów, co — jak wiadomo — stanowi podstawowy argument dla zwolenników konwencjonalizmu. Jeśli zatem definiowalność przyjmie się jako kryterium konwencjonalności, to jednoczesność zdarzeń rzeczywiście posiada charakter konwencjonalny. W takim jednak przypadku, konwencjonalny charakter należy przypisać wszystkim innym pojęciom fizycznym, bo każde z nich w taki czy inny sposób jest definiowane.

Skuteczność fizyki w opisywaniu i wyjaśnianiu świata jest jednakże mocnym argumentem za tym, iż nawet jeśli wszystkie pojęcia fizyczne mogłyby być inaczej zdefiniowane, to z pewnych względów metoda naukowa preferuje pewne definicje przyporządkowujące, a odrzuca inne. Wydaje się, iż powodem takiej praktyki są pewne podstawowe założenia, pozwalające na formułowanie fizycznych teorii, które opisują świat, badany przez nauki ścisłe. Jednym z takich fundamentalnych założeń jest racjonalność świata; pozwala ona wierzyć, że prawa przyrody gwarantują pewną stabilność i niezmienność podstawowych własności fizycznej rzeczywistości, i że własności rozpoznane w pewnym obszarze tej rzeczywistości pozostają niezmienione w innym jej obszarze. Opis fizycznej rzeczywistości nie może być w związku z tym jakikolwiek, ponieważ sama rzeczywistość nie zachowuje się jakkol-

⁴²W kontekście omawianego zagadnienia warto wspomnieć, iż pewnym rozwiązaniem problemu definicji jednoczesności jest propozycja Robb'a, który w swojej aksjomatyzacji zakłada, iż oddalone przestrzennie zdarzenie nigdy nie są jednocześnie i zarazem żadne z nich nie jest ani „przed”, ani „po” względem drugiego, to znaczy żadna z chwil pomiędzy wysłaniem sygnału z punktu *A* i jego powrotem, nie jest jednoczesna z chwilą odbicia sygnału w punkcie *B*: *According to the view generally held, A being neither before nor after B is taken as equivalent to A and B being simultaneous. According to the view here adopted, this is only so when the events A and B occur at the same place. If such events occur at different places, we are only entitled to say that the one is neither before nor after the other*; A.A. Robb, *A Theory of Time and Space*, dz. cyt., s. 6. Taka propozycja nie jest jednak rozwiązaniem samego problemu, a jedynie pewnym unikiem. W pomiarach fizycznych dotyczących odległych zdarzeń potrzebna jest bowiem wiedza nie o tym, która z chwil w punkcie *A* nie jest, ale która jest jednoczesna z daną chwilą w punkcie *B*.

wiek, ale w sposób racjonalny. W tym sensie racjonalność świata wyklucza ze zbioru wszystkich możliwych definicji pojęć te definicje, które co prawda są poprawnie zbudowane, ale nie są faktycznie wykorzystywane w fizycznej rzeczywistości.

Wydaje się, że w definicji jednoczesności Einsteina, przyjęcie jako prawdziwego warunku, iż czas potrzebny światłu na pokonanie pewnej odległości jest taki sam w obydwu kierunkach, jest przejawem takiego właśnie przekonania o racjonalności świata. To prawda, że bez popadnięcia w błędne koło nie można empirycznie udowodnić, iż prędkość światła nie zależy od kierunku, to znaczy, że jest taka sama na odcinku AB , jak i na odcinku BA . Ale ponieważ przez podstawowe założenia STW wykluczone są wszystkie czynniki, które mogłyby wpłynąć na zmianę prędkości światła — np. przyspieszanie układu albo krzywizna czasoprzestrzeni spowodowana obecnością masy lub energii — dlatego nie widać powodu, dla którego ta prędkość miałaby się zmieniać. Nie bez znaczenia jest też w tym przypadku argument prostoty, która w pewnym sensie jest przejawem racjonalności. Dlatego też przyjęcie definicji jednoczesności, w której $0 < \epsilon < 1$ byłoby co prawda zgodne z kauzalną teorią czasu, ale wprowadziłoby metryczny chaos, sprzeciwiałoby się zasadzie prostoty i racjonalności świata. Ponieważ *wszystkie nasze sądy dotyczące czasu są w rzeczywistości sędami o zdarzeniach jednoczesnych*⁴³, dlatego precyzyjne zdefiniowanie tej czasowej relacji ma zasadnicze znaczenie nie tylko dla naukowego opisu fizycznej rzeczywistości, ale również dla języka potocznego i poznania przednaukowego. Najprostsza definicja jednoczesności gwarantuje optymalne warunki do umiejscawiania zdarzeń w czasie, a przez to ułatwia „poruszanie się” w czasoprzestrzeni i poznawanie struktury racjonalnego świata, której to struktury czas jest nieodłącznym elementem. Jeśli nawet definicja jednoczesności dopuszcza inne — oprócz standardowego — sformułowanie, to przyjęcie alternatywnej definicji do tego stopnia komplikuje opis fizycznej rzeczywistości, że zastosowanie procedury niestandardowej pozostaje tylko teoretyczną możliwością. Odrzucenie podstawowej dla całej fizyki relatywistycznej tezy

⁴³A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, dz. cyt., s. 123.

o tym, że prędkość światła w próżni jest stała, pociąga bowiem za sobą odrzucenie całej teorii względności i — co za tym idzie — domaga się wprowadzenia nie tylko alternatywnej definicji jednoczesności, ale również alternatywnej teorii fizycznej. Tymczasem, oprócz teoretycznych dywagacji, zwolennicy alternatywnych definicji jednoczesności najczęściej nie proponują niczego więcej; jak na razie, żaden z nich nie zbudował spójnej teorii, która opisywałaby fizyczną rzeczywistość w sposób, jaki opisuje teoria Einsteina, oparta o standardową koncepcję jednoczesności. Oczywiście, nie oznacza to, że nie stanie się tak w przyszłości. Alternatywna teoria fizyczna, zbudowana w oparciu o niestandardową definicję jednoczesności, byłaby zapewne przekonującym argumentem za podejściem konwencjonalistycznym. Ale dopóki takiej teorii nie będzie, dopóty konwencjonalizm jako filozoficzne stanowisko pozostanie tylko jednym z wielu epizodów w historii nauki. Co prawda, dyskusja zwolenników i przeciwników tej koncepcji ciągle trwa, ale w rzeczywistości nie ma ona większego wpływu na rozwój fizyki, dokonujący się w oparciu o standardową definicję jednoczesności.

SUMMARY

On the conventional character of simultaneity in special relativity

To be able to determine the simultaneity of distant events, one has to make use of a convention. Einstein's famous definition of simultaneity, which sets $\epsilon = \frac{1}{2}$, is a case of such a convention. The problem, dealt with in this paper, is to answer the question of whether the choice of such a convention is obligatory or not. The partisans of conventionality of simultaneity argue, that the standard synchronization procedure of clocks, based on the Einstein's definition, is not necessitated by facts concerning the physical universe, but can be replaced by any procedure originating from the definition of simultaneity, given $0 < \epsilon < 1$. The present article contains some arguments in favor of, as well as against, the conventionality of simultaneity. Apart from Einstein's standard synchronization procedure, special attention is paid to Reichenbach's definition of simultaneity and Malament's theorem. Some attempts at giving an absolute definition of simultaneity are also presented. Finally, an argument from the rationality of the world is formulated.