

TADEUSZ PABJAN
(Lublin)

SZCZEGÓLNA TEORIA WZGLĘDNOŚCI A UPLÝW CZASU

Na styku naukowego, filozoficznego i potocznego języka funkcjonują formułowane w różny sposób pojęcia określające upływ czasu. Chociaż samo wyrażenie „upływ czasu” jest intuicyjnie oczywiste, to jednak nie ma ono ścisłej fizycznej definicji. Powodem tego stanu rzeczy jest fakt, iż fizyka obywat się bez antropomorfizującego „upływania”, poprzestając na traktowaniu czasu jako parametru zmienności. Podobnie jak w przypadku wielu innych pojęć, które trudno zdefiniować, tak i tutaj stosuje się jedynie definicję operacyjną, która nie wyjaśnia samej istoty czasu (ani jego upływu), ale pozwala określić procedurę empirycznego pomiaru tej fundamentalnej wielkości fizycznej. Zgodnie z tą procedurą, upływ czasu należy opisywać w oparciu o dowolny cykliczny proces, w którym miarę czasu określa liczba podstawowych cykli procesu. Najprostszym urządzeniem, pozwalającym w łatwy sposób zrealizować tę procedurę jest zegar¹, w którym upływ czasu wyznaczony jest odczytywaną na cyferblacie ilością jednostek (np. sekund), oznaczających okres trwania podstawowego cyklu mechanizmu zegara.² Zegar jest wzorcowym urządzeniem służącym do pomiaru upływu czasu, dlatego przy jego użyciu mierzy się tempo zachodzenia różnego rodzaju procesów fizycznych. Należy jednak pamiętać, że upływ czasu w jednakowy sposób dotyczy mechanicznego urządzenia, jakim jest zegar, jak i wszystkich innych urządzeń i różnego rodzaju procesów (termodynamicznych, elektrycznych, chemicznych itd.), które są związane z danym układem odniesienia. Dlatego stosowany w niniejszym opracowaniu zwroty typu „zegar idzie wolniej”, lub „czas płynie wolniej”, należy rozumieć jako skróty myślowe, odznaczające, iż w określonym przypadku mniejsze jest tempo zachodzenia wszystkich procesów fizycznych, mających miejsce w danym układzie. Aby uniknąć tautologii w stwierdzeniu, że tempo upływu czasu ulega zmianie³, należy przyjąć, iż tego typu sformułowanie ma charakter względny: ponieważ nie istnieje absolutny wzorzec upływu

¹ W teorii Einsteina zegar oznacza „idealny proces okresowy”; zob. A. Einstein, *Teoria względności* [w:] *tenże, Teoria względności i inne eseje*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 30.

² Tak jest w przypadku zegarów mechanicznych; czas trwania podstawowego cyklu mechanizmu takiego zegara jest wyznaczony np. ruchem wahadła lub oscylacją sprężyny. W nowoczesnych zegarach cezowych ten sam cel osiąga się zliczając oscylacje przejść pomiędzy stanami energetycznymi atomów.

³ Próba określenia absolutnego tempa upływu czasu prowadzi do tautologii, ponieważ zakłada ustalenie prędkości, z jaką zegar odmierza czas – przy pomocy zegara, por. P.J. Zwart, *The flow of time* [w:] *Space, Time and Geometry*, P. Suppes (red.), D. Reidel Publishing Company, Dordrecht 1973, s. 138.

czasu, dlatego sens fizyczny ma jedynie względne tempo jego upływu, to znaczy tempo określane względem danego układu odniesienia. Jak to zostanie niebawem pokazane, obserwator pozostający w swoim własnym układzie odniesienia nigdy nie zauważy zmiany tempa upływu czasu w obrębie tego układu; czas „płynie” dla niego zawsze z taką samą „prędkością”, niezależnie od ruchu układu. Różnice w tempie upływu czasu i przebiegu procesów fizycznych ujawniają się natomiast przy opisie tego układu dokonywanym przez obserwatora, który nie jest związany z tym układem odniesienia, ale pozostaje w stosunku do niego we względnym ruchu. Dla takiego obserwatora tempo upływu czasu i przebiegu procesów fizycznych w tym układzie jest inne, niż w jego własnym układzie odniesienia.⁴ Jak wiadomo, spowolnienie upływu czasu może być również spowodowane obecnością silnego pola grawitacyjnego, jednakże niniejsze opracowanie zostanie zawężone do dylatacji czasu będącej skutkiem względnego ruchu układów odniesienia.⁵

1. Upływ czasu: podstawowe pojęcia

W teorii względności czas jest pojęciem względnym, to znaczy uzależnionym od wyboru układu odniesienia. Oznacza to, że zdarzenia następujące po sobie w pewnym układzie odniesienia, mogą w innym układzie być zdarzeniami jednoczesnymi, lub następować po sobie w odwrotnej – względem czasu – kolejności. Najważniejszym warunkiem, koniecznym do tego, aby tego typu względność miała miejsce, jest przyczynowa niezależność zdarzeń; jeżeli zdarzenia są powiązane kauzalnie, to ich następstwo ma charakter niezmienniczy, to znaczy jest niezależne od wyboru układu odniesienia. Przez układ odniesienia należy rozumieć pewien realny lub wyimaginowany obiekt, względem którego określa się położenie lub ruch ciał, opisywanych przez ten układ. Ponieważ tempo upływu czasu jest ściśle związane z ruchem danego ciała, dlatego, aby poprawnie opisywać upływ czasu, jakiego doznaje ciało pozostające w ruchu, warto związać z takim ciałem osobny układ odniesienia. Oczywiście, mogą istnieć układy odniesienia, względem których opisuje się ruch wielu niezależnych obiektów. Ale ponieważ każde poruszające się ciało niesie swój własny zegar, który – zależnie od prędkości ciała – inaczej odmierza upływ czasu, dlatego wygodnie jest przyjąć, iż każde ciało pozostające w ruchu przypisane jest do niezależnego układu odniesienia, w którym czas odmierzany jest inaczej, niż w innych poruszających się układach.

⁴ Por. B.F. Schutz, *Wstęp do ogólnej teorii względności*, PWN, Warszawa 2002, ss. 32-34.

⁵ Na temat grawitacyjnego spowolnienia czasu, por. np. K.S. Thorne, *Czarne dziury i krzywizny czasu*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2004, ss. 101, 130-131.

Określona grupa obiektów może być przypisana do wspólnego układu odniesienia, o ile obiekty te nie zmieniają swojego względnego położenia. W takim wypadku można zakładać, że upływ czasu przebiega w takim samym tempie w całym układzie.⁶

Wszystkie fizyczne zdarzenia, przypisane do danego układu odniesienia, można – ze względu na upływ czasu – zakwalifikować do trzech rozłącznych⁷ kategorii, określanych ogólnie mianem przeszłości, teraźniejszości i przyszłości. Ponieważ jednoczesność zdarzeń opisywanych w różnych układach odniesienia jest względna – to znaczy zależy od względnego ruchu lub spoczynku tych układów – dlatego należy pamiętać, że przypisanie jakiegokolwiek zdarzenia do jednej z powyższych kategorii czasowych ma sens tylko wtedy, gdy wyraźnie określony jest układ odniesienia, w którym dokonuje się takiej kwalifikacji. Oznacza to, że arbitralne zdanie typu „zdarzenie A już miało miejsce”, lub „zdarzenie A dopiero będzie miało miejsce” w ogólności nie jest ani prawdziwe, ani fałszywe; a staje się takim dopiero w odniesieniu do konkretnego obserwatora (lub układu odniesienia). Oczywiście, w języku potocznym często wypowiada się tego typu zdania, np. „kubek spadł ze stołu”, lub „kubek spadnie ze stołu” – i każdym konkretnym przypadku nikt nie ma wątpliwości, że są to zdania albo prawdziwe, albo fałszywe. Dzieje się tak dlatego, że za każdym razem milcząco zakłada się wówczas, iż zdarzenia o których mowa mają miejsce w układzie odniesienia związanym z osobą, która wypowiada te zdania.

Zazwyczaj wyróżnia się trzy rodzaje temporalnych relacji⁸, zachodzących pomiędzy zdarzeniami: jednoczesność, następstwo i trwanie. Relacje te mają ścisły związek z klasyfikacją zdarzeń do jednej z trzech wymienionych powyżej kategorii czasowych. I tak, jednoczesność definiuje w danym układzie odniesienia kategorię teraźniejszości.⁹ Chociaż definicja jednoczesności w STW ma charakter konwencjonalny, to jednak przyjmuje się, że przy pewnych założeniach¹⁰ stosunkowo łatwo można określić, które zdarzenia w danym układzie odniesienia są jednoczesne, tzn. które zdarzenia definiują teraźniejszość obserwatora. Ponieważ jednak w tego typu definicjach zakłada się zazwyczaj, że zdarzenia mają charakter infinitymalny – czyli że trwają nieskończenie krótko¹¹ – dlatego

⁶ W celu zsynchronizowania oddalonych zegarów w takim układzie można zastosować np. standardową procedurę Einsteina.

⁷ Przy założeniu, że zdarzenia mają charakter infinitymalny.

⁸ W niniejszym opracowaniu nie będzie rozstrzygany problem ontologicznej natury czasu; na temat dyskusji pomiędzy relacyjną i substancjalną teorią czasu, por. T. Pabjan, *Uwagi o naturze czasu*, [w:] *Wyzwania racjonalności*, R. Janusz, S. Wszolek (red.), WAM, Kraków 2006, w druku.

⁹ Zastrzeżenia i wątpliwości co do tego wniosku zostaną sformułowane poniżej.

¹⁰ W przypadku standardowej procedury synchronizacji takim założeniem jest stałość prędkości światła, por. T. Pabjan, *O konwencjonalnym charakterze pojęcia jednoczesności w Szczególnej Teorii Względności*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce”, XXXVII (2005), ss. 53-72.

¹¹ Oraz że zajmują nieskończenie mały obszar przestrzeni.

teraźniejszość definiowana w taki sposób również ma charakter infinitezymalny. Oznacza to, że dobrze znane z potocznego języka i codziennego doświadczenia temporalne pojęcie, jakim jest teraźniejszość – tak naprawdę określone jest znikomym krótkim interwałem czasu, który zdąża w granicy do zera. Chociaż wniosek ten kłóci się z intuicyjnym rozumieniem pojęcia teraźniejszości, to jednak nawet przy pobieżnej analizie okazuje się on zupełnie oczywisty: konfiguracja fizycznej rzeczywistości, która w danym momencie tworzy całkowite *hic et nunc* obserwatora, czyli definiuje jego teraźniejszość, jeszcze ułamek sekundy wcześniej należała do jego przyszłości, a już po ułamku sekundy staje się jego przeszłością. Łatwo jednak wskazać pewne nieścisłości takiej interpretacji. Najpierw, percepcja zdarzeń jednoczesnych w danym układzie odniesienia co prawda prowadzi do wytworzenia w umyśle obserwatora intuicyjnego poczucia teraźniejszości, ale ponieważ sygnały fizyczne (w przypadku percepcji wzrokowej są to fale elektromagnetyczne) nie propagują się w czasoprzestrzeni natychmiastowo, dlatego obraz rzeczywistości, odbierany przez obserwatora jako teraźniejszość, faktycznie należy już do jego przeszłości. Z tego powodu, aby stworzyć „prawdziwą” listę zdarzeń, które definiują teraźniejszość danego obserwatora, należy wziąć poprawki na czas, potrzebny sygnałom fizycznym na pokonanie określonych odległości w przestrzeni. Przy niewielkich odległościach takie poprawki będą zaniedbywalne; przy znacznych odległościach – ogromne. Aby się o tym przekonać, wystarczy nocą spojrzeć na rozgwieżdżone niebo: zdarzenia (rozbłyski gwiazd), postrzegane subiektywnie przez obserwatora jako te, które określają jego teraźniejszość, w rzeczywistości miały miejsce miliony lat wcześniej.¹² Dodatkową trudność stanowi tu fakt, iż teraźniejszość określana jest zazwyczaj poprzez jednoczesną percepcję ogromnej liczby zdarzeń, rozmieszczonych w różnych miejscach przestrzeni, co w praktyce wyklucza możliwość dokładnego ustalenia, jak bardzo poszczególne zdarzenia oddalone są w czasie od momentu, postrzeganego subiektywnie jako teraźniejszość. Ponadto, nie jest ściśle zdefiniowana „infinitezymalność” jednoczesnych zdarzeń, określających teraźniejszość obserwatora. Z tego powodu nie wiadomo dokładnie, jak długi powinien być interwał czasu, określający tego typu zdarzenie. Oznacza to, że nie wiadomo również, jak długi odcinek czasu można nazwać teraźniejszością, zanim stanie się on przeszłością. Wydaje się, że istnieje pewna dolna granica podziału czasu na coraz krótsze odcinki – istnieją racje za tym, aby sądzić, że czas (a dokładniej: czasoprzestrzeń) ma charakter dyskretny, a nie ciągły.¹³ Jeśli wniosek ten jest słuszny, to

¹² Przy obserwacji dokonywanej za pomocą najnowszych teleskopów interwał ten zwiększa się do miliardów lat.

¹³ Por. np. I. Nowikow, *Rzeka czasu*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, ss. 148-150.

znaczy, że terażniejszość nie może „trwać” krócej niż czas Plancka.¹⁴ Jak wiadomo, percepcja tak krótkiego czasowego interwału pozostaje nie tylko poza możliwościami obdarzonego świadomością człowieka, ale również poza możliwościami najdokładniejszych urządzeń do pomiaru czasu, które dotychczas zbudowano. Powyższe racje przemawiają za tym, że tylko teoretycznie można wskazać, które zdarzenia faktycznie definiują terażniejszość obserwatora; zaś potoczne (a może również naukowe) rozumienie terażniejszości z konieczności musi się opierać na grubych przybliżeniach. Zapewne nie bez znaczenia jest tu również fakt, iż teorie fizyczne – zwłaszcza teoria względności – preferują blokową koncepcję czasu¹⁵, w której hipotetyczny punkt, oznaczający terażniejszość na osi czasu, w żaden sposób nie wyróżnia się od innych punktów.

Kolejną temporalną relacją, która ma związek z podziałem zdarzeń na przyszłe, trwające obecnie i przeszłe, jest następstwo. W przeciwieństwie do jednoczesności, relacja następstwa nie definiuje żadnej z tych trzech klas zdarzeń. Następstwo ma charakter topologiczny, to znaczy nie odnosi się do długości interwałów czasowych, i nie pozwala na ich porównywanie, ale decyduje o tym, które zdarzenia są wcześniejsze, a które późniejsze względem innych zdarzeń. Istotny związek z upływem czasu ma trzecia z wymienionych relacji temporalnych, tzn. trwanie. Dowolny obiekt „trwa” przez pewien okres czasu, jeżeli w tym okresie zachowuje swoją identyczność. Dynamiczna natura fizycznej rzeczywistości sprawia jednakże, iż atrybut identyczności w sensie ścisłym można przypisać jedynie cząstkom elementarnym, i to tylko w pewnym ograniczonym zakresie. Z tego powodu trwanie przysługuje raczej zdarzeniom¹⁶ i procesom, niż obiektom makroskopowym. Ponieważ jednak każdy obiekt makroskopowy stanowi pewnego rodzaju proces¹⁷, dlatego można również mówić o trwaniu rzeczy, przedmiotów, a nawet całego wszechświata. Trwanie związane jest zwykle z metryką czasu, zaś liczbową charakterystykę tej relacji stanowi czasowy interwał o odpowiedniej długości.

¹⁴ Czas równy w przybliżeniu $5,391 \times 10^{-44}$ s.

¹⁵ Na temat tej koncepcji, por. np. P. Davies, *Zagadka upływającego czasu*, „Świat Nauki”, 11/2002, ss. 24-29.

¹⁶ W tym przypadku nie będą to już zdarzenia elementarne, bo im – z definicji – nie przysługuje rozciągłość w czasie.

¹⁷ Wszystkie obiekty makroskopowe na poziomie kwantowym doznają ciągłych zmian; zmienia się nie tylko wewnętrzna konfiguracja cząstek, z których są zbudowane, ale również ich skład (na skutek nieustannego oddziaływania z otoczeniem).

2. Dylatacja czasu

Zgodnie ze szczególną teorią względności, upływ czasu w danym układzie odniesienia uzależniony jest od spoczynku lub ruchu tego układu. W inercyjnym układzie¹⁸, który porusza się ze znaczną prędkością, czas płynie wolniej, niż w układzie który się nie porusza. To kluczowe dla omawianego zagadnienia stwierdzenie należy jednak dobrze rozumieć: w układzie odniesienia, który się porusza, nie zachodzi zmiana *tempa* upływu czasu; wskazówki zegarów nadal poruszają się z taką samą prędkością, a wszystkie procesy przebiegają tak samo, jak wówczas, gdy układ był w stanie spoczynku. Różnica w tempie upływu czasu uwidacznia się natomiast w układzie, który spoczywa względem pierwszego układu (lub porusza się z inną prędkością). Obserwowany z tego układu poruszający się zegar będzie chodził wolniej, a wszystkie procesy fizyczne przebiegać będą z mniejszą prędkością.¹⁹ Zaistniała różnica staje się widoczna, gdy obydwa układy po pewnym czasie znajdują się blisko siebie, i gdy można bezpośrednio porównać wskazania zegarów w obydwu układach. Dylatacja czasu przejawia się w tym, że zegar układu poruszającego się wskazuje wcześniejszą godzinę, niż zegar układu spoczywającego, chociaż obydwa zegary, obserwowane w swoich własnych układach odniesienia, nie wykazywały zmian tempa upływu czasu.²⁰ Opisane zjawisko zachodzi w przypadku tzw. paradoksu bliźniąt, gdzie fizycznym skutkiem ruchu ze znaczną prędkością jest różnica wieku dwóch organizmów, które przed rozpoczęciem podróży były w identycznym okresie rozwoju. Intuicyjne wyjaśnienie mechanizmu dylatacji czasu polega na wskazaniu, że ruch dowolnego ciała dokonuje się zawsze nie w przestrzeni, ale w czasoprzestrzeni; zaś przyspieszenie ciała do znacznej prędkości oznacza odchylenie jego trajektorii (w stożku świetlnym) od kierunku czasowego do kierunku przestrzennego. Z tego powodu określona „część” ruchu w czasie zostaje zamieniona na ruch w przestrzeni, a współrzędna na osi czasu zyskuje odpowiednio mniejszą wartość – analogicznie do sytuacji, w której zamiana kierunku podróży z północy na

¹⁸ Dylatacja czasu, opisywana przez wzory STW, zachodzi jedynie w układach inercyjnych, czyli poruszających się bez przyspieszeń.

¹⁹ Niezależnie od relatywistycznej dylatacji czasu następuje w takim przypadku spowodowane efektem Dopplera rozciągnięcie fal elektromagnetycznych, tworzących obraz obserwowanego układu.

²⁰ Z tego powodu zaproponowana przez Zwarta definicja tempa upływu czasu nie wydaje się poprawna. Tempo upływu czasu oznacza dla niego „liczbę zdarzeń w jednostce czasu” (*art. cyt.*, s. 138). Zarówno w układzie poruszającym się jak i spoczywającym, liczba zdarzeń w jednostce czasu jest taka sama, a jednak w momencie spotkania obserwatorów ich zegary wskażą inną godzinę, co świadczy o tym, że tempo upływu czasu było inne w obydwu układach.

północny wschód powoduje odchylenie trajektorii od kierunku północnego i spadek tempa przyrostu współrzędnej na osi tego kierunku.²¹

Dylatacja czasu jest konsekwencją tego, iż upływ czasu w sposób zasadniczy zależy od względnego ruchu ciał lub związanych z ciałami układów odniesienia, przy czym zmiana tempa upływu czasu ujawnia się nie w układzie, który się porusza, ale w innym układzie, z którego dokonywana jest obserwacja poruszającego się układu. Co prawda, w układzie, który się porusza – i w którym faktycznie następuje dylatacja czasu – również zostanie zaobserwowane spowolnienie zegarów układu spoczywającego, co może sugerować paradoksalny wniosek o symetrii zjawiska dylatacji czasu.²² Występowanie w jednym z układów przyspieszenia (mającego w OTW charakter absolutny) pozwala jednakże jednoznacznie stwierdzić, który układ się porusza i – co za tym idzie – w którym układzie zjawisko dylatacji ma charakter rzeczywisty, a w którym tylko pozorny.²³ Jak wiadomo, wyraźny efekt dylatacji czasu pojawia się w przypadku ruchu z prędkością będącą znaczącym ułamkiem prędkości światła, jednakże już przy prędkości samolotu odrzutowego spowolnienie czasu daje się mierzyć przy pomocy odpowiednio dokładnych zegarów.²⁴ Warto zauważyć, że dylatacja czasu pojawia się przy każdej, nawet najmniejszej prędkości, chociaż efekt skrócenia czasu jest wówczas zaniedbywalnie mały. Dla omawianego zagadnienia nie jest jednak istotny rząd wielkości lub liczbowy wymiar dylatacji czasu; brzemienny w skutkach jest tu sam fakt, że każdy poruszający się obserwator niesie swój własny zegar, który inaczej odmierza czas. Dla przejrzystości wywodu można zatem zastąpić podświetlne prędkości raket prędkościami znanymi z codziennego doświadczenia; i rozpatrywać obserwatorów, którzy przemieszczają się względem siebie, spacerując wolnym krokiem. Efekt dylatacji czasu będzie w takim przypadku równie rzeczywisty, choć zaniedbywalnie mały.²⁵ Aby doświadczyć spowolnienia czasu nie trzeba zatem koniecznie rozpędzać się do

²¹ Por. B. Greene, *Struktura kosmosu*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005, ss. 60-62.

²² To właśnie taki wniosek prowadzi do określenia „paradoks bliźniąt”. Obserwator pozostający w spoczynku sądzi, że wolniej płynie czas w układzie poruszającym się, a obserwator będący w stanie ruchu – że w układzie pozostającym w spoczynku. Por. dyskusję tego zjawiska w: G.J. Whitrow, *The natural philosophy of time*, Clarendon Press, Oxford 1980, ss. 260-266.

²³ Relatywistyczna dylatacja czasu następuje tylko w układach inercjalnych. W pewnych momentach podróży (przyspieszanie, hamowanie) jeden z układów przestaje być inercjalny, o czym świadczą występujące przeciążenia. Na tej podstawie można stwierdzić, w którym z dwóch układów dylatacja czasu ma charakter rzeczywisty.

²⁴ Okrążenie Ziemi w kierunku wschodnim powoduje opóźnienie zegara o 59 nanosekund (10^{-9} s.), zaś w kierunku zachodnim – przyspieszenie o 273 nanosekundy. Różnica spowodowana jest tym, że ruch wirowy Ziemi również powoduje dylatację czasu; zob. P. Davies, *Czas. Niedokończona rewolucja Einsteina*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2002, s. 63.

²⁵ Trwający jedną godzinę marsz z prędkością 1 m/s powoduje spowolnienie zegara o 2×10^{-14} s.

prędkości światła, wystarczy wstać z krzesła i wolnym krokiem przespacerować się w dowolnym kierunku.

Ponieważ fizycznym skutkiem ruchu jest spowolnienie upływu czasu w układzie, który się porusza, dlatego przemieszczanie się w czasoprzestrzeni jest zarazem najprostszym sposobem jednokierunkowej „podróży” w czasie. Jednokierunkowej – ponieważ tym sposobem można się przemieszczać w swoją przyszłość, ale nie w swoją przeszłość.²⁶ Oczywiście, cały materialny wszechświat, a razem z nim wszyscy obserwatorzy „podróżują” w czasie (w przyszłość), niezależnie od stanu swojego ruchu. Życie – czymkolwiek jest – jest zarazem podróżą w czasie. Czas płynie nieustannie z przeszłości w przyszłość, a my przemijamy razem z nim, i nie sposób zatrzymać tej „podróży w czasie”, ponieważ jedyną pewną rzeczą, jaką wiemy o tempie upływu czasu jest to, że „nie może ono być ujemne: zdarzenia mogą następować (*happen*), ale nie mogą nie następować (*unhappen*)”.²⁷ Powszechnie stosowane wyrażenie „podróż w czasie” nie oznacza jednak tego przemijania, które jest wspólne dla całego wszechświata, ale to, które jest charakterystyczne dla obiektu materialnego, doznającego relatywistycznej dylatacji czasu. Sformułowanie „podróż w przyszłość” jest o tyle mylące, że sugeruje, jakoby istniał wyraźnie zaznaczony przedział czasu, o którym wszyscy obserwatorzy zgodzą się, że jest „przyszłością”. Tymczasem każdy pozostający w ruchu obserwator inaczej od pozostałych dzieli linię czasu; i to, co dla jednego obserwatora jest przyszłością, dla innego może być już przeszłością. Bliższa analiza zjawiska dylatacji czasu pozwala dostrzec również inne trudności, związane z interpretacją fenomenu „podróży (w przyszłość) w czasie”.

Pozostający w ruchu układ, który doświadcza dylatacji czasu, faktycznie przesunie się w przyszłość w czasie – w tym znaczeniu, że godzina zakończenia ruchu będzie późniejsza od godziny jego rozpoczęcia. Jeśli jednak przeanalizować „podróż w czasie” z czasoprzestrzennego punktu, w którym poruszający się obserwator spotyka się po zakończeniu podróży z obserwatorem, pozostającym w spoczynku i nie doświadczającym dylatacji czasu, to zasadnym staje się pytanie o to, w czyjej przyszłości znajdzie się wówczas obserwator, którego czas uległ skróceniu? Ponieważ w układzie spoczywającym upłynęło „więcej” czasu, niż w układzie, który się poruszał, dlatego obserwator pozostający w ruchu może uznać, że trafił do przeszłości obserwatorów, nie doświadczających dylatacji czasu.²⁸

²⁶ Na temat możliwości podróżowania w przeszłość i różnych rodzajów „wehikułu czasu”, por. np. K.S. Thorne, *dz. cyt.*, ss. 477-514.

²⁷ P.J. Zwart, *art. cyt.*, s. 139.

²⁸ Odmiennego zdania jest Davies, który twierdzi, że „z teorii względności nie wynika, że dzięki podróży rakieta można znaleźć się we własnej przyszłości, jedynie w czyjejś przyszłości”; *tenże*, *Czas, dz. cyt.*, s. 77.

Jednocześnie faktem jest to, że spotkanie obydwu obserwatorów odbywa się w ich własnych „teraźniejszościach”, ponieważ w momencie spotkania ich zegary wskazują współrzędne czasowe, określające teraźniejszość każdego z układów. Biorąc zatem pod uwagę zaistniałą względność opisów, można sformułować paradoksalny wniosek, iż moment spotkania obserwatora, który przez pewien czas pozostawał w ruchu, i obserwatorów, którzy pozostawali w spoczynku, jest momentem, w którym teraźniejszość jednego układu odniesienia „spotyka się” z przeszłością innego układu, chociaż wszystko to dzieje się we wspólnej przyszłości obydwu układów razem wziętych! Jak widać, dylatacja czasu prowadzi do problemów z zaklasyfikowaniem danego zdarzenia do odpowiedniej kategorii czasowej (przeszłość, teraźniejszość, przyszłość) w przypadku różnych układów odniesienia. Wynika stąd, iż nie istnieje taki układ odniesienia, w którym momenty czasu miałyby absolutny charakter, to znaczy byłyby jednoznacznie przypisane do przeszłości, teraźniejszości, lub przyszłości obserwatorów we wszystkich innych układach odniesienia. Innymi słowy, każdy niezależny²⁹ układ odniesienia posiada swoją własną przeszłość, przyszłość i teraźniejszość. Ten niepokojący wniosek każe poważnie zastanowić się nad tym, czy fizyczna rzeczywistość nie realizuje przypadkiem wynikającej stąd koncepcji czasu blokowego, w której przeszłość i przyszłość istnieją tak samo realnie, jak teraźniejszość; i żaden z punktów na osi czasu nie jest bardziej rzeczywisty, niż inne punkty. Wiadomo, że każdy obserwator skłonny jest przypisywać szczególną rolę momentowi wyznaczającemu teraźniejszość w jego własnym układzie odniesienia, jednakże STW pokazuje wyraźnie, iż „nasz Wszechświat jest egalitarny, i każdy moment jest w nim tak samo rzeczywisty”.³⁰ Jeśli fizyczna rzeczywistość realizuje tego typu koncepcję czasu, to znaczy, że upływ czasu jest jedynie złudzeniem.

3. Trudności z interpretacją teorii

Odmienne tempo upływu czasu w różnych układach odniesienia prowadzi do wielu trudności natury technicznej. Jedną z nich jest problem synchronizacji zegarów, odmierzających czas w różnym tempie. Jeśli w poruszającym się układzie odniesienia następuje relatywistyczne spowolnienie upływu czasu, a w innym układzie, który pozostaje w spoczynku, czas płynie bez takiego spowolnienia, to po spotkaniu obydwu układów, zegary znajdujące w tych układach będą wskazywały inne godziny: zegar poruszający się będzie

²⁹ Cały czas należy pamiętać, że wszystkie formułowane tu wnioski pozostają słuszne dla zdarzeń, które nie są powiązane kauzalnie.

³⁰ B. Greene, *dz. cyt.*, s. 150.

wskazywał godzinę wcześniejszą, niż zegar pozostający w spoczynku.³¹ Jeśli układy po spotkaniu pozostają we względnym spoczynku, to czas na powrót płynie w takim samym tempie w obydwu układach; nie widać więc powodu, dla którego zegary miałyby w dalszym ciągu wskazywać różne godziny. Pojawia się jednak pytanie, ustawienia którego zegara powinny zostać zmienione? Czy wskazówki zegara poruszającego się powinny zostać popchnięte do przodu, czy też odwrotnie, wskazówki zegara spoczywającego powinny zostać cofnięte? Ponieważ żaden z obserwatorów nie może uważać, że zajmuje wyróżnioną pozycję, dlatego żaden z nich nie może swojego czasu uważać za „właściwy”. Oczywiście, problem nie polega jedynie na przesunięciu wskazówek jednego z zegarów, ponieważ w układzie poruszającym się wszystkie procesy fizyczne przebiegały wolniej, skutkiem czego obserwator poruszający się jest wyraźnie młodszy niż obserwator pozostający w spoczynku.³² Przesunięcie zegarów w którąkolwiek stronę oznaczałoby dokonanie arbitralnego przeskoku w rachubie czasu jednego z układów.³³ W przypadku wielu (lub nawet nieskończenie wielu) poruszających się układów odniesienia zadanie staje się jeszcze trudniejsze do wykonania. Obliczenie średniego czasu dla wszystkich możliwych układów jest równie nieuzasadnionym rozwiązaniem, jak przyjęcie odczytu jednego z zegarów za „właściwy”, i uznanie wszystkich innych za „niewłaściwe”. Opisane przypadki zdają się dowodzić, iż rachuba „wspólnego” czasu dla poruszających się układów z konieczności musi mieć konwencjonalny charakter. Arbitralny wybór daty i godziny „wspólnego” czasu dla zegarów, które na skutek dylatacji czasu wskazują różne godziny, pozostaje jedyną rozsądną możliwością. Podobny wiosek należy sformułować w przypadku synchronizacji zegarów przed momentem spotkania układów, czyli w przedziale czasu pomiędzy rozpoczęciem i zakończeniem podróży przez jeden z układów. Standardowa procedura synchronizacji pozwala co prawda na wyznaczenie zdarzeń jednoczesnych w układzie poruszającym się i spoczywającym³⁴, ale nie mówi nic o tym, na którym z zegarów należy przesunąć wskazówki, aby ustalić „wspólny” czas dla

³¹ „Jeśli w punkcie A znajdują się dwa zsynchronizowane zegary, a następnie jeden z nich porusza się wzdłuż dowolnej linii zamkniętej ze stałą prędkością, aż powróci do A, co wymaga t sekund, to po powrocie zegar ten będzie się późnił w stosunku do zegara, który pozostawał w spoczynku, o $(1/2)t(v/V)^2$ s”; A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu* [w:] *tenże*, 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki, WUW, Warszawa 2005, ss. 136-137.

³² Jak to już było powiedziane, procesy przebiegały wolniej z punktu widzenia obserwatora, pozostającego w układzie spoczywającym. Według obserwatora poruszającego się, procesy przebiegały w „zwykłym” tempie, ale ponieważ w układzie tym upłynęło „mniej” czasu, dlatego zaszło w nim również „mniej” procesów fizycznych. To właśnie z tego powodu organizm obserwatora poruszającego się jest młodszy (we wcześniejszej fazie rozwoju) niż organizm obserwatora nie doznającego ruchu.

³³ W przypadku podróży z prędkością bliską prędkości światła przesunięcie zegarów oznaczałoby dodanie lub odjęcie całych lat, lub nawet stuleci.

³⁴ Jednakże będą to zdarzenia jednoczesne jedynie względem określonego obserwatora, który pozostaje w układzie inercyjnym; por. A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, dz. cyt., s. 125. W tekście Einsteina układ inercjalny jest nazwany „układem spoczynkowym”.

obydwu układów. Arbitralny wybór punktu na zegarowej tarczy również i w tym przypadku wydaje się jedynym rozwiązaniem.

Z filozoficznego punktu widzenia o wiele poważniejszą konsekwencją dylatacji czasu jest problem zasadniczej niemożności jednoznacznego zaklasyfikowania zdarzeń do trzech kategorii czasowych. Jak to już zostało pokazane, subiektywne przekonanie o wyjątkowym charakterze terażniejszości, oraz o dynamicznej naturze płynącego czasu - nie znajduje potwierdzenia w teorii względności, zgodnie z którą „blok” czasoprzestrzeni istnieje w całości, razem z przeszłością i przyszłością. A zatem nie jest tak, że przeszłość już „istniała”, a przyszłość dopiero „zaistnieje”. Zarówno przeszłość, jak i przyszłość istnieją tak samo realnie, jak terażniejszość, a tylko my, ludzie, z niewiadomych powodów³⁵ absolutyzujemy chwilę obecną, odmawiając realności wszystkiemu, co nie dzieje się „teraz”. Niestety, jeśli przyszłość istnieje tak samo realnie, jak terażniejszość, to znaczy, że jest ona już ustalona i nie można na nią w żaden sposób wpłynąć. Blokowa koncepcja czasu zakłada zatem całkowite zdeterminowanie fizycznej rzeczywistości.³⁶ Jak wiadomo, zwolennikiem takiej koncepcji był Einstein, który opowiadał się za sztywnym determinizmem właśnie z racji przekonania o słuszności blokowej teorii czasu.³⁷ Obecnie wiadomo już, że klasycznie rozumianego determinizmu nie można pogodzić z teorią względności, ponieważ sama struktura czasoprzestrzeni nakłada istotne ograniczenia na proces „determinowania” przyszłości.³⁸ Warto w tym kontekście zauważyć, że dyskutowanego problemu nie rozwiązują rozróżnienie takich pojęć, jak determinizm, przewidywalność i przyczynowość.³⁹

Abstrahując od zagadnienia fizycznego zdeterminowania, należy zauważyć, że blokowa teoria czasu przekreśla koncepcję podmiotowej wolności człowieka, co również rzuca podejrzenie na poprawność teorii, ponieważ subiektywne przekonanie o istnieniu wolnej woli jest jednym z podstawowych doświadczeń każdego obdarzonego świadomością człowieka. Co prawda, ten ostatni argument nie powinien wpływać na akceptację, bądź odrzucenie teorii fizycznej, ponieważ wolna wola nie wchodzi w zakres tego typu teorii,

³⁵ Większość autorów, piszących na temat fenomenu subiektywnego poczucia upływu czasu, próbuje na różne sposoby wyjaśnić zjawisko subiektywnego absolutyzowania chwili obecnej. Rozbieżność poglądów w tym temacie i brak ostatecznej odpowiedzi jest wymownym argumentem za tym, iż prawdziwy powód pozostaje nadal nieznanym.

³⁶ Penrose nazywa taki rodzaj zdeterminowania – silnym determinizmem. „Zgodnie z nim nie tylko przeszłość jest określona przez przyszłość, ale cała historia wszechświata jest ustalona z góry, zgodnie z pewnymi ścisłymi regułami matematycznymi”; R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa 1995, s. 473.

³⁷ Einstein twierdził, iż „rozdzielenie pomiędzy przeszłością, terażniejszością a przyszłością jest niczym innym, jak uparcie podtrzymywaną iluzją”; cyt. za: P. Davies; *Czas, dz. cyt.*, s. 76.

³⁸ Por. M. Heller, *Czy Wszechświat jest deterministyczny?*, „Analecta Cracoviensia”, 21-22 (1989/90), ss. 47-65.

³⁹ Na temat wzajemnych relacji pomiędzy tymi pojęciami w różnych teoriach, por. M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, PWN, Warszawa 1991, ss. 106-110.

jednakże problemu wolności nie należy w tym przypadku lekceważyć, ponieważ do podstawowych założeń każdej teorii fizycznej należy np. możliwość decydowania o przeprowadzeniu określonych naukowych eksperymentów. Ponadto, aparat poznawczy człowieka do tego stopnia „przeziąknięty jest” subiektywnym odczuciem upływu czasu i niezdeterminowania fizycznej rzeczywistości, że nawet fizycy, którzy opowiadają się za słusznością blokowej koncepcji czasu, po wyjściu z laboratorium powracają do wspólnego zwykłym śmiertelnikom przeświadczenia o tym, że czas rzeczywiście „płynie”, że „naprawdę” istnieje tylko teraźniejszość, oraz że przyszłość nie jest jeszcze w żaden sposób ustalona. Być może, rozwiązanie tej trudności domaga się przyjęcia założenia, że pojęcie czasu fizycznego nie znajduje zastosowania w odniesieniu do świadomości człowieka, ponieważ ta ostatnia podlega innym prawom, niż obiekty świata fizycznego.⁴⁰ Tego typu założenie jest wygodne z metodologicznego punktu widzenia, ale nie usuwa zasadniczej niespójności, jaka zachodzi pomiędzy blokową koncepcją czasu fizycznego i subiektywnym poczuciem przemijania, które towarzyszy człowiekowi przez całe życie.

Wszystko wskazuje na to, że zagadka upływającego czasu nieprędko zostanie rozwikłana. Teoria względności rzuciła co prawda nowe światło na odwieczny problem przemijania, wskazując na fundamentalne ograniczenia, jakie kauzalna struktura czasoprzestrzeni nakłada na czas fizyczny, ale przyniosła zarazem nowe wątpliwości odnośnie samej natury tego czasu. Intuicyjnie odczuwany upływ czasu każe jedynie w teraźniejszości widzieć realny fragment czasowego continuum. Jeśli jednak tylko teraźniejszość istnieje realnie, to w jaki sposób istnieje przyszłość i przeszłość, skoro pierwsza jeszcze nie nadeszła, a drugiej już nie ma? Przyjęcie, iż jedno i drugie jest równie nierealne kłóci się zarówno z przedstawionymi w poprzednim punkcie wynikami badań nad względnością czasu, jak i z subiektywnym doświadczeniem wspomnienia (przeszłości) i oczekiwania (przyszłości). Pewien kierunek poszukiwania odpowiedzi na te pytania wskazuje blokowa teoria czasu, jednakże i ona wikała się w trudnościach interpretacyjnych, ponieważ zakładane przez tę koncepcję zdeterminowanie świata jest sprzeczne zarówno z wizją człowieka jako wolnej istoty, która ma wpływ na swoją przyszłość, jak i z teoriami fizycznymi, które mówią, że na podstawowym poziomie rzeczywistości determinizm jest uchylony. Ostateczne rozwiązanie zagadki czasu będzie zatem związane z poszukiwaniem „brakującego ognia” pomiędzy upływającym czasem subiektywnie doświadczanym przez człowieka i „zamrożonym” czasem klasycznych teorii fizycznych. Dwa obiecujące pola

⁴⁰ Takie stanowisko prezentuje np. Penrose, zob. *dz. cyt.*, s. 485.

badania nad tym zagadnieniem to teoria chaosu i mechanika kwantowa, w których deterministyczne prawa fizyki pozwalają na istnienie stanów zupełnie nieprzewidywalnych, co może stanowić uchyloną furtkę, przez którą uda się wprowadzić do teorii czasu niezdeterminowanie przyszłości i wolną wolę obserwatora. Pozostaje jedynie mieć nadzieję, że badania te pomogą kiedyś przezwyciężyć obecną frustrację spowodowaną doświadczeniem „przemożnego poczucia istnienia czegoś, co przecież nie ma żadnego sensu, jeśli poddać to szczegółowej analizie”.⁴¹

The Special Theory of Relativity and the flow of time

Summary

The main goal of this paper is to discuss the question of whether the flow of time is something real or not. The Special Theory of Relativity claims that there is no flow of time, that time is “frozen” and both the future and the past exist in the same way as the present. The inevitable consequence of this thesis is determinism, which in turn is rejected by both science (the General Relativity and the Quantum Mechanics) and common sense because it denies free will. Common sense is a source of a strong conviction that time flows, and therefore it produces an argument against the “block theory of time”. In the light of the present state of science the discussion between these two opposite theses does not lead to definite answer.

Tadeusz Pabjan

⁴¹ P. Davies; *Czas, dz. cyt.*, s. 289.