

**Ks. Tadeusz Pabjan**

*WTST – Tarnów*

## **CZY UPŁYW CZASU JEST ZŁUDZENIEM?**

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 obywatela 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. Typowym urządzeniem, pozwalającym w łatwy sposób zrealizować tę procedurę, jest zegar,<sup>1</sup> wykorzystywany powszechnie do pomiaru tempa zachodzenia różnego rodzaju procesów fizycznych. Upływający czas nie wyróżnia jednakże w jakiś szczególny sposób mechanicznego urządzenia, jakim jest zegar; zmienność, związana z upływem czasu, dotyczy w takim samym stopniu wszystkich innych urządzeń i różnego rodzaju procesów (termodynamicznych, elektrycznych, chemicznych itd.), które mają miejsce w danym układzie odniesienia. Stosowane w niniejszym opracowaniu zwroty typu „zegar idzie wolniej” lub „czas płynie wolniej”, należy w związku z tym rozumieć jako skróty myślowe, oznaczające, iż w określonym przypadku mniejsze jest tempo zachodzenia wszystkich procesów fizycznych, a nie tylko tych, które związane są z działaniem mechanizmu zegara.

---

<sup>1</sup> W teorii Einsteina zegar oznacza „idealny proces okresowy”; por. A. Einstein, *Teoria względności*, w: *Teoria względności i inne eseje*, Warszawa 1997, s. 30. W przypadku zegarów mechanicznych czas trwania podstawowego cyklu mechanizmu wyznaczony jest najczęściej ruchem wahadła lub oscylacją sprężyny. W zegarach cezowych ten sam cel osiąga się zliczając oscylacje przejść pomiędzy stanami energetycznymi atomów.

Ponieważ nie istnieje absolutny wzorzec upływu czasu<sup>2</sup>, dlatego sens fizyczny ma jedynie względne tempo jego upływu, to znaczy tempo określane względem danego układu odniesienia. Jak to zostanie niebawem pokazane, obserwator *A* pozostający w swoim własnym układzie odniesienia (układ *a*) nigdy nie zauważa 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 *B*, który nie jest związany z układem *a*, ale pozostaje w stosunku do niego we względnym ruchu. Dla obserwatora *B* tempo upływu czasu i przebiegu procesów fizycznych w układzie *a* jest inne, niż w jego własnym układzie odniesienia.<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup>

## 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 rzeczywisty 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. Określona grupa obiektów może być przy-

<sup>2</sup> Określenie absolutnego tempa upływu czasu nie jest możliwe, ponieważ zakłada ono możliwość ustalenia 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.), Dordrecht 1973, s. 138.

<sup>3</sup> Por. B.F. Schutz, *Wstęp do ogólnej teorii względności*, Warszawa 2002, ss. 32-34.

<sup>4</sup> Na temat grawitacyjnego spowolnienia czasu, por. np. K.S. Thorne, *Czarne dziury i krzywizny czasu*, Warszawa 2004, ss. 101, 130-131.

pisana do wspólnego układu odniesienia; jeżeli obiekty te nie zmieniają swojego względnego położenia, to można zakładać, że upływ czasu przebiega w takim samym tempie w całym układzie.<sup>5</sup>

Wszystkie fizyczne zdarzenia, rozpatrywane w układzie odniesienia obserwatora  $A$ , można – ze względu na upływ czasu – zakwalifikować do trzech rozłącznych<sup>6</sup> kategorii, określanych ogólnie mianem przeszłości, terażniejszości i przyszłości. W zaproponowanej przez Minkowskiego geometrycznej reprezentacji czasoprzestrzeni, terażniejszości obserwatora  $A$  odpowiada określony punkt w czasoprzestrzeni (zdarzenie  $a$ ), zaś jego przeszłości i przyszłości – odpowiednio świetlny stożek przeszłości i przyszłości, o wspólnym wierzchołku w punkcie  $a$ . Ponieważ jednoczesność zdarzeń opisywanych przez różnych obserwatorów (w różnych układach odniesienia) jest względna, 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. W przypadku obserwatorów poruszających się z różną prędkością, to samo zdarzenie (określony punkt w czasoprzestrzeni) może znaleźć się w stożku przyszłości obserwatora  $A$  i jednocześnie w stożku przeszłości obserwatora  $B$ ; może zarazem wyznaczać terażniejszość obserwatora  $C$ . 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; staje się takim dopiero w odniesieniu do konkretnego obserwatora (układu odniesienia). Oczywiście, w języku potocznym często wypowiada się tego typu zdania, np. „kubek spadł ze stołu” lub „kubek spadnie ze stołu” – i w 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, iż zdarzenia, o których mowa, mają miejsce w układzie odniesienia związanym z osobą, która wypowiada te zdania, oraz że prędkości poruszających się ciał są na tyle małe, iż można zaniedbać efekty relatywistyczne. Ścisłego określenia terażniejszości, przeszłości i przyszłości danego obserwatora można dokonać w prosty sposób w oparciu o relacje chronologiczności i przyczynowości w ramach kauzalnej struktury czasoprzestrzeni, definiowanej w oparciu o globalne metody kosmologii relatywistycznej.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> W celu zsynchronizowania oddalonych zegarów w takim układzie można zastosować np. standardową procedurę Einsteina.

<sup>6</sup> Przy założeniu, że zdarzenia mają charakter infinytezymalny.

<sup>7</sup> Na temat kauzalnej struktury czasoprzestrzeni, por. B. Carter, *Causal Structure in Space-Time, General Relativity and Gravitation 1* (1971), ss. 349-391. Popularne omówienie struktury kauzalnej można znaleźć w książce M. Hellera, *Filozofia i Wszechświat*, Kraków 2006, ss. 368-382.

Zazwyczaj wyróżnia się trzy rodzaje temporalnych relacji<sup>8</sup>, jakie zachodzą 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 subiektywnej terażniejszości obserwatora. Subiektywnej – ponieważ wyznaczona za pomocą relacji jednoczesności terażniejszość oznacza konfigurację zdarzeń, które mają miejsce w różnych punktach przestrzeni i w różnych momentach czasu, ale są *postrzegane* przez obserwatora jako jednoczesne, gdyż sygnały fizyczne (np. fale elektromagnetyczne) niosące informację o tych zdarzeniach docierają do obserwatora w tej samej chwili czasu.

Chociaż definicja jednoczesności w STW ma charakter konwencjonalny<sup>9</sup>, to jednak przyjmuje się, że przy pewnych założeniach stosunkowo łatwo można określić, które zdarzenia w danym układzie odniesienia są jednoczesne, tzn. które zdarzenia definiują subiektywną terażniejszość obserwatora. Ponieważ jednak w tego typu definicjach zakłada się zazwyczaj, że zdarzenia mają charakter infinitezymalny<sup>10</sup>, dlatego terażniejszość definiowana w taki sposób również ma charakter infinitezymalny. Oznacza to, że dobrze znane z potocznego języka i codziennego doświadczenia temporalne pojęcie, jakim jest terażniejszość, w rzeczywistości określone jest znikomo krótkim interwałem czasu, który zdąża w granicy do zera. Chociaż wniosek ten kłóci się z intuicyjnym rozumieniem pojęcia terażniejszości, 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 subiektywną terażniejszość, jeszcze ułamek sekundy wcześniej należała do jego przyszłości, a już po ułamku sekundy staje się jego przeszłością. Warto zauważyć, że taka interpretacja pojęcia terażniejszości jest zgodna z geometryczną interpretacją czasoprzestrzeni, podaną przez Minkowskiego – terażniejszość obserwatora jest tam zawężona do punktu (czyli do jednego zdarzenia elementarnego) na jego historii.

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 terażniejszości, ale ponieważ sygnały fizyczne (w przypadku percepcji wzrokowej są to fale elektromagnetyczne) nie propagują się w czasoprzestrzeni natychmiastowo, dlatego obraz rzeczywistości, odbierany przez obserwatora

<sup>8</sup> 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.), Kraków 2006, ss. 132-149.

<sup>9</sup> Argumenty przemawiające za tą tezą zamieszczono w artykule: T. Pabjan, *O konwencjonalnym charakterze pojęcia jednoczesności w Szczególnej Teorii Względności*, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, 37 (2005), ss. 53-72.

<sup>10</sup> Czyli że trwają nieskończenie krótko oraz że zajmują nieskończenie mały obszar przestrzeni.

jako terażniejszość, faktycznie należy już do jego przeszłości. Z tego powodu, aby stworzyć „prawdziwą” listę zdarzeń, które definiują terażniejszość 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 terażniejszość, w rzeczywistości miały miejsce miliony lat wcześniej.<sup>11</sup> Dodatkową trudność stanowi tu fakt, iż tak rozumiana terażniejszość określana jest zazwyczaj poprzez jednoczesną percepcję ogromnej liczby zdarzeń, rozmieszczonych w różnych miejscach czasoprzestrzeni, co w praktyce wyklucza możliwość dokładnego ustalenia, jak bardzo poszczególne zdarzenia oddalone są w czasie od momentu, postrzeganego subiektywnie jako terażniejszość.

Jak wiadomo, w STW przyjmuje się, że zdarzenie jest punktem w 4-wymiarowej rozmaitości, przy czym jedną ze współrzędnych tego punktu jest współrzędna czasowa, określająca, w którym momencie zachodzi dane zdarzenie. Tak pojmowanemu zdarzeniu nie przysługuje zatem rozciągłość czasowa. Zdarzenie jest „tym, co pozostaje z krótkotrwałego punktowego zjawiska fizycznego po odrzuceniu wszystkich jego cech z wyjątkiem tej, że zachodzi ono gdzieś i kiedyś”<sup>12</sup> Taka koncepcja zdarzenia jest wygodna w przypadku ujęcia geometrycznego (czasoprzestrzeń Minkowskiego), jednakże zawodzi wówczas, gdy rozpatruje się percepcję dowolnych zdarzeń w świecie fizycznym. Zdarzenia takie zawsze mają określoną, różną od zera rozciągłość czasową. „Infinitezymalność” zdarzeń jednoczesnych, definiujących subiektywną terażniejszość obserwatora, w rzeczywistym świecie może być zatem zrealizowana jedynie w pewnym przybliżeniu. Ponadto, trudno wskazać jednoznaczne kryteria określające, jak długi powinien być interwał czasu, oznaczający tego typu zdarzenia, co oznacza, że nie wiadomo również, jak długi odcinek czasu można nazwać terażniejszością, zanim stanie się on przeszłością. Wydaje się, że istnieje dolna granica podziału czasu na coraz krótsze odcinki – wiele wskazuje na to, że czas (a dokładniej: czasoprzestrzeń) ma charakter dyskretny, a nie ciągły.<sup>13</sup> Jeśli wniosek ten jest słuszny, to znaczy, że terażniejszość nie może „trwać” krócej niż czas Plancka.<sup>14</sup> Jak wiadomo, percepcja tak krótkiego czasowego interwału pozostaje nie tylko poza możliwościami obdarzonego świadomością człowieka, ale również poza możliwościami najdokładniejszych urządzeń do pomiaru czasu, jakie dotychczas zbudowano. Powyższe racje przemawiają za tym, że tylko teoretycznie można wskazać, które zdarzenia faktycznie definiują su-

<sup>11</sup> Przy obserwacji dokonywanej za pomocą najnowszych teleskopów interwał ten zwiększa się do miliardów lat.

<sup>12</sup> A. Szymacha, *Szczególna teoria względności*, Warszawa 1985, s. 22.

<sup>13</sup> Por. np. I. Nowikow, *Rzeka czasu*, Warszawa 1998, ss. 148-150.

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

biektywną terażniejszość obserwatora, zaś potoczne rozumienie terażniejszości z konieczności musi się opierać na grubych przybliżeniach.

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. Filozoficzna definicja trwania odwołuje się do pojęcia identyczności, którą zachowuje „trwający” obiekt. Nie jest to jednak pojęcie operacyjne i z różnych względów nie znajduje zastosowania w teoriach fizycznych. Najprościej zatem zdefiniować trwanie za pomocą pojęcia historii w czasoprzestrzeni (linia świata). Dowolny obiekt „trwa” przez pewien okres czasu, jeżeli w tym okresie można wyznaczyć jego historię w czasoprzestrzeni za pomocą krzywej czasopodobnej lub zerowej. Relacja trwania zachodzi w takim przypadku pomiędzy punktami tej historii, czyli pomiędzy zdarzeniami, informującymi o czasoprzestrzennej lokalizacji obiektu. Trwanie związane jest zwykle z metryką czasu, zaś liczbową charakterystykę tej relacji stanowi czasowy interwał o odpowiedniej długości.

## II. DYLATACJA CZASU

Zgodnie ze szczególną teorią względności, w każdym inercjalnym układzie odniesienia upływ czasu uzależniony jest od względnego ruchu lub spoczynku tego układu. W układzie, 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 poruszającym się układzie  $a$  nie zostanie zauważona zmiana *tempa* upływu czasu; wskazówki zegarów nadal będą posuwać się z taką samą prędkością, a wszystkie procesy przebiegać będą tak samo jak wówczas, gdy układ był w stanie spoczynku. Różnica w tempie upływu czasu w układzie  $a$  uwidoczni się natomiast w układzie  $b$ , który spoczywa względem układu  $a$  (lub porusza się z inną prędkością). Obserwowany z układu  $b$  poruszający się zegar (w układzie  $a$ ) będzie chodził wolniej, a wszystkie procesy fizyczne przebiegać będą z mniejszą prędkością. Zaistniała różnica staje się widoczna, gdy obydwa układy po pewnym czasie znajdą 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.<sup>15</sup> 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 przyspieszanie ciała do znacznej prędkości<sup>16</sup> 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 północny wschód powoduje odchylenie trajektorii od kierunku północnego i spadek tempa przyrostu współrzędnej na osi tego kierunku.<sup>17</sup>

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 również zostanie zaobserwowane spowolnienie zegarów układu spoczywającego, co może sugerować paradoksalny wniosek o symetrii zjawiska dylatacji czasu.<sup>18</sup> Okazuje się, że na skutek względności ruchu efekt spowolnienia upływu czasu rzeczywiście jest symetryczny, jednakże wspomniana symetria znika, gdy układ poruszający się zmienia kierunek ruchu (np. zawraca). Nawet jeśli tego typu zmiana kierunku ruchu trwa zanedbywalnie krótko (wówczas można zaniedbać fakt, iż układ przestaje być inercjalny), to jednak wprowadza ona asymetrię<sup>19</sup>, która ujawnia się, gdy układ będący w ruchu spotyka się po określonym czasie z układem spoczywającym: linie świata (historie w czasoprzestrzeni) obydwu układów różnią się

---

<sup>15</sup> 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.

<sup>16</sup> Przyspieszanie układu sprawia, że układ przestaje być inercjalny. Aby pozostać w ramach STW należy założyć, że okres przyspieszania jest zanedbywalnie krótki.

<sup>17</sup> Por. B. Greene, *Struktura kosmosu*, Warszawa 2005, ss. 60-62.

<sup>18</sup> 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 o tym zjawisku w: G.J. Whitrow, *The natural philosophy of time*, Oxford 1980, ss. 260-266.

<sup>19</sup> „(...) gwałtowna zmiana prędkości wszystkich zegarów (bez towarzyszącej temu wydarzeniu zmiany wskazań zegarów) powoduje, że przestają one być zsynchronizowane”; A. Szymacha, *Szczególna teoria względności*, dz. cyt., s. 53.

długością i kształtem.<sup>20</sup> „W istocie rzeczy rozbieżność między pomiarami czasu ma źródło nie w prędkości ruchu zegarów, które w każdym układzie odniesienia idą z jednakową prędkością. Rozbieżność tę powoduje fakt, że owe pomiary są związane z całkowicie odmiennymi liniami świata”<sup>21</sup> Dłuższa linia świata w układzie poruszającym się oznacza, że przedział czasowy jest tu dłuższy niż w układzie spoczywającym. Wynika stąd, że w układzie, który się porusza, czas faktycznie płynie wolniej.

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.<sup>22</sup> Warto zauważyć, że dylatacja czasu pojawia się przy każdej, nawet najmniejszej prędkości, chociaż efekt skrócenia czasu jest wówczas zanedbywalnie mały. Dla omawianego zagadnienia nie jest jednak istotny rząd wielkości lub liczbowy wymiar dylatacji czasu; brzemienisty 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 statków kosmicznych 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 zanedbywalnie mały.<sup>23</sup>

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 wskazywał godzinę wcześniejszą niż zegar pozostający w spoczynku.<sup>24</sup> Jeśli układy po spotkaniu pozostają we względnym spoczyn-

<sup>20</sup> W przypadku „paradoksu bliźniąt” linia świata obserwatora pozostającego w spoczynku jest linią prostą, zaś linia świata obserwatora, który odbył podróż kosmiczną, jest linią łamaną – a przez to dłuższą. Oznacza to, że z pozostającym w ruchu obserwatorem związane były dwa różne układy inercjalne, co wyraźnie wyróżnia jednego z dwóch braci; por. tamże, ss. 49-56.

<sup>21</sup> C. Lanczos, *Albert Einstein i porządek Wszechświata*, Warszawa 1967, s. 74.

<sup>22</sup> 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; por. P. Davies, *Czas. Niedokończona rewolucja Einsteina*, Warszawa 2002, s. 63.

<sup>23</sup> Trwający jedną godzinę marsz z prędkością 1 m/s powoduje spowolnienie zegara o  $2 \times 10^{-14}$  s.

<sup>24</sup> „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



ku, 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.<sup>25</sup> Przesunięcie zegarów w którąkolwiek stronę oznaczałoby dokonanie niczym nieuzasadnionego przeskoku w rachubie czasu jednego z układów.<sup>26</sup> W przypadku wielu poruszających się układów odniesienia zadanie staje się jeszcze trudniejsze do wykonania. Obliczenie średniego czasu dla wszystkich możliwych układów byłoby w tym przypadku rozwiązaniem równie arbitralnym, 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 spoczywającym<sup>27</sup>, ale nie mówi nic o tym, na którym z zegarów należy przesunąć wskazówki, aby ustalić „wspólny” czas dla obydwu układów. Arbitralny wybór punktu na zegarowej tarczy również i w tym przypadku wydaje się jedynym rozwiązaniem.<sup>28</sup>

---

pozostawał w spoczynku, o  $(1/2)t(v/V)^2$  s”; A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, w: *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki*, Warszawa 2005, ss. 136-137.

<sup>25</sup> Jak to już było powiedziane, procesy przebiegały wolniej z punktu widzenia obserwatora, pozostającego w układzie spoczywającym. Według obserwatora poruszającego się, procesy przebiegały w „zwyczajnym” 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 będącego w ruchu.

<sup>26</sup> W przypadku podróży z prędkością bliską prędkości światła przesunięcie zegarów oznaczałoby dodanie lub odjęcie całych lat lub nawet stuleci.

<sup>27</sup> Jednakże będą to zdarzenia jednoczesne jedynie względem określonego obserwatora, który pozostaje w układzie inercjalnym; por. A. Einstein, *O elektrodynamice ciał w ruchu*, art. cyt., s. 125. W tekście Einsteina układ inercjalny jest nazwany „układem spoczynkowym”

<sup>28</sup> Na temat problemów z synchronizacją zegarów pozostających w ruchu, por. A. Szy-macha, *Szczególna teoria względności*, dz. cyt., ss. 24-29.

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.<sup>29</sup> 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 się zdarzać (*happen*), ale nie mogą się nie zdarzać (*unhappen*)”<sup>30</sup> 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. Samo 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; to, co dla jednego obserwatora jest przyszłością, dla innego może być już przeszłością. 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. W szczególnej teorii względności każdy niezależny układ odniesienia posiada swoją własną przeszłość, przyszłość i teraźniejszość.

### III. BLOKOWA TEORIA CZASU

Z filozoficznego punktu widzenia najpoważniejszą konsekwencją dylatacji czasu jest zasadnicza niemożność jednoznacznego zaklasyfikowania zdarzeń do trzech analizowanych kategorii czasowych.<sup>31</sup> Niemożność ta stanowi istotny argument za tym, że fizyczna rzeczywistość realizuje tzw. koncepcję czasu blokowego.<sup>32</sup> Zgodnie z tą doktryną, przeszłość i przyszłość istnieją tak samo realnie jak teraźniejszość, a żaden z punktów na osi czasu nie jest bardziej rzeczy-

<sup>29</sup> Na temat możliwości podróżowania w przeszłość i różnych rodzajów „wehikułu czasu”, por. np. K.S. Thorne, *Czarne dziury i krzywizny czasu*, dz. cyt., ss. 477-514.

<sup>30</sup> P.J. Zwart, *The flow of time*, art. cyt., s. 139.

<sup>31</sup> Szczegółową analizę całego zagadnienia w języku teoriomnogościowym przeprowadza Z. Augustynek w książce *Przeszłość, teraźniejszość, przyszłość* (Warszawa 1979). Sam autor opowiada się jednakże za teorią „obiektywistyczną”, w której zakłada się „obiektywność relacji czasowych” i w której „przeszłość, teraźniejszość i przyszłość traktuje się obiektywnie” (tamże, s. 186). Wydaje się, że w świetle przedstawionych argumentów takie stanowisko jest nie do utrzymania.

<sup>32</sup> Na temat blokowej teorii czasu, por. np. P. Davies, *Zagadka upływającego czasu*, *Świat Nauki*, 11 (2002), ss. 24-29.

wisty niż inne punkty. Oznacza to, że czas w rzeczywistości nie „płyne”, ale stanowi jedynie porządek zdarzeń, zaś subiektywne wrażenie przemijania (upływu czasu) istnieje jedynie w ludzkiej świadomości, która z niewiadomych powodów<sup>33</sup> absolutyzuje chwilę obecną, odmawiając realności wszystkiemu, co nie dzieje się „teraz”. Jak widać, jedno z podstawowych doświadczeń każdego człowieka – przekonanie o wyjątkowym charakterze terażniejszości oraz o dynamicznej naturze płynącego czasu – nie znajduje potwierdzenia w teorii względności. Teoria ta sugeruje wyraźnie, że „nasz Wszechświat jest egalitarny, i każdy moment jest w nim tak samo rzeczywisty”.<sup>34</sup>

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.<sup>35</sup> Obecnie wiadomo już, że klasycznie rozumianego determinizmu nie można pogodzić z teorią względności, ponieważ sama struktura czasoprzestrzeni nakłada istotne ograniczenia na proces „determinowania” przyszłości.<sup>36</sup> Oznacza to, że determinizm zakładany przez blokową koncepcję czasu również musi mieć swoje granice. Zasadnicze znaczenie dla omawianego zagadnienia posiada również fakt, że teorie fizyczne nie wykluczają istnienia stanów deterministycznych, a zarazem zupełnie nieprzewidywalnych.<sup>37</sup> W rzeczywistości ścisła przewidywalność, charakterystyczna dla deterministycznej mechaniki newtonowskiej, jest jedynie teoretycznym postulatem, w wielu przypadkach zupełnie niemożliwym do osiągnięcia – choćby z powodu skończonej dokładności, z jaką można w praktyce poznać warunki brzegowe lub początkowe dowolnego układu mechanicznego.

Abstrahując od zagadnienia fizycznego zdeterminowania, należy zauważyć, że blokowa teoria czasu przekreśla koncepcję podmiotowej wolności człowieka. Rzuca to 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

---

<sup>33</sup> 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.

<sup>34</sup> B. Greene, *Struktura kosmosu*, dz. cyt., s. 150.

<sup>35</sup> 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*, Warszawa 1995, s. 473. Warto zauważyć, że zwolennikiem fizycznego determinizmu, wynikającego z teorii blokowej, był Einstein. Twierdził on, iż „rozdzielenie pomiędzy przeszłością, terażniejszością a przyszłością jest niczym innym, jak uparciem podtrzymywaną iluzją”; cyt. za: P. Davies, *Czas...*, dz. cyt., s. 76.

<sup>36</sup> Por. M. Heller, *Czy Wszechświat jest deterministyczny?*, *Analecta Cracoviensia*, 21-22 (1989/90), ss. 47-65.

<sup>37</sup> Na temat wzajemnych relacji pomiędzy pojęciami takimi jak determinizm, przewidywalność i przyczynowość, por. M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, Warszawa 1991, ss. 106-110.

teorii fizycznej, ponieważ wolna wola nie wchodzi w zakres tego typu teorii, jednakże problemu wolności nie należy w tym przypadku lekceważyć, ponieważ do podstawowych założeń każdej teorii fizycznej należy np. możliwość wolnego decydowania o przeprowadzeniu określonych naukowych eksperymentów. Uprawianie nauki nie byłoby możliwe bez podmiotowej wolności eksperymentatora. Ponadto, aparat poznawczy człowieka jest do tego stopnia „przeziąknięty” subiektywnym odczuciem upływu czasu i niezdeterminowania fizycznej rzeczywistości, że nawet fizycy, którzy opowiadają się za słusnością 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.<sup>38</sup> 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.

Próby rozwiązania trudności związanych z determinizmem koncepcji świata-bloku stanowią teorie rozgałęzionej czasoprzestrzeni. Wszystkie one nawiązują w taki czy inny sposób do Everetta interpretacji mechaniki kwantowej, zgodnie z którą każdy akt dowolnego pomiaru, dokonanego przez dowolnego obserwatora, powoduje rozdzielenie się wszechświata na kilka kopii, w których realizują się określone wyniki pomiarów, posiadające przed dokonaniem pomiaru jedynie pewne prawdopodobieństwo, określone przez prawa mechaniki kwantowej. Przykładem tego typu teorii jest koncepcja Penrose’a, w której przeszłość wszechświata jest jednoznacznie ustalona, natomiast przyszłość jest niezdeterminowana. W koncepcji tej „rozdzielanie się” wszechświata odbywa się tylko w przyszłość i jest związane z psychologiczną strzałką czasu obserwatora. Z dowolnego punktu w czasoprzestrzeni obserwator może poruszać się w przyszłość po wielu możliwych (alternatywnych) liniach świata, oznaczających osobne odgałęzienia wszechświata, natomiast jego przeszłość wyznaczona jest za każdym razem tylko jedną możliwą historią.<sup>39</sup> Zdaniem Penrose’a, koncepcję tę można uzgodnić z teorią względności w taki sposób, aby uzyskać relatywistyczny model czasoprzestrzeni. Oznacza to, że tego typu teoria pozostawia miejsce na wolną wolę obserwatora (przyszłość jest niezdeterminowana), a zarazem jest zgodna z koncepcją świata-bloku, wynikającą z STW. Niestety, wolna wola w koncepcji Penrose’a (lub dowolnej wersji teorii wielu światów Everetta)

<sup>38</sup> Takie stanowisko prezentuje np. Penrose, por. *Nowy umysł cesarza*, dz. cyt., s. 485.

<sup>39</sup> Por. R. Penrose, *Singularities and time-asymmetry*, w: *General relativity. An Einstein century survey*, S. Hawking, I.W. Israel (red.), Cambridge University Press 1979, ss. 592-596.

oznacza konieczność skorzystania ze wszystkich możliwych rozwiązań w danym przypadku, czyli dokonania wszystkich możliwych wyborów – co oznacza, że wolność gwarantowana przez tego typu doktrynę jest pozorna.<sup>40</sup> Ponadto, chociaż teorie rozgałęzionej czasoprzestrzeni stanowią interesującą próbę wyjaśnienia natury wpływającego czasu, to jednak zasadnicza niemożliwość weryfikacji tego typu koncepcji stawia pod znakiem zapytania ich wartość eksplanacyjną.<sup>41</sup>

\*\*\*

Wszystko wskazuje na to, że zagadka wpływającego czasu nie zostanie prędko rozwikłana. Co prawda, teoria względności rzuciła 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. Podstawowa wątpliwość wynika z analizowanej w poprzednim paragrafie teorii blokowej, zgodnie z którą przyszłość i przeszłość istnieją tak samo realnie, jak terażniejszość, a sam upływ czasu jest jedynie złudzeniem, generowanym przez ludzką psychikę. Teoria ta nie jest jednakże wolna od trudności interpretacyjnych. Zakładane przez tę koncepcję zdeterminowanie świata jest sprzeczne zarówno z wizją człowieka jako wolnej istoty, która ma wpływ na swoją przyszłość, jak i z mechaniką kwantową, która mówi, że na podstawowym poziomie rzeczywistości determinizm jest uchylony. Ostateczne rozwiązanie zagadki czasu będzie zatem związane z poszukiwaniem „brakującego ogniwa” pomiędzy wpływającym czasem subiektywnie doświadczanym przez człowieka i „zamrożonym” czasem klasycznych teorii fizycznych. Dwa obiecujące pola badań 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 niezeterminowanie przyszłości i wolną wolę obserwatora. Nie ulega wątpliwości, że odczucie wpływającego czasu jest jednym z najmocniejszych i najbardziej fundamentalnych doświadczeń każdego człowieka. Pozostaje jedynie mieć nadzieję, że prowadzone obecnie badania pomogą kiedyś przezwyciężyć obecną frustrację spowodowaną doświadczeniem „przemożnego poczucia istnienia czegoś, co przecież nie ma żadnego sensu, jeśli poddać to szczegółowej analizie”<sup>42</sup>

<sup>40</sup> Por. P. Davies, *Bóg i nowa fizyka*, Warszawa 1996, s. 179-180.

<sup>41</sup> Krytykę koncepcji rozgałęzionej czasoprzestrzeni przeprowadza M. Heller w książce *Filozofia i Wszechświat*, dz. cyt., ss. 417-429.

<sup>42</sup> P. Davies; *Czas...*, dz. cyt., s. 289.

## IS THE FLOW OF TIME AN ILLUSSION?

## 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.