

# Niewinowski, Paweł

---

## Zagadnienie czasu w filozofii przyrody i w fizyce

---

Studia Płockie 41, 119-138

---

2013

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych [mazowsze.hist.pl](http://mazowsze.hist.pl).

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Ks. Paweł Niewinowski

## ZAGADNIENIE CZASU W FILOZOFII PRZYRODY I W FIZYCE

### Wstęp

Zainteresowanie problematyką czasu jest związane z czasoprzestrzennymi uwarunkowaniami życia ludzkiego: człowiek nie może znajdować się w dowolnej chwili w tym samym miejscu, nie może cofnąć się do dnia wczorajszego i nie może zmienić „upływu” czasu (np. zwolnić go, zatrzymać). Dlatego często porównywano czas z płynącą rzeką (np. w pieśni, „Nie tak bystro płynie rzeka, jak nam prędko czas ucieka”). Zagadnienie ma także aspekt psychologiczny – doświadczenie dziejowości, przemijania ludzkiego życia, zestawione z trwaniem świata zewnętrznego (wyrażane np. w sentencji „Dłużej klasztoru niż przeora”, czy w konstatacji natchnionego mędrca, „Pokolenie przychodzi i pokolenie odchodzi, a ziemia trwa po wszystkie czasy” /Koh 1,4/). Mimo, że od dawna umiano mierzyć interwały (odcinki) czasowe, to zarazem dla wielu ludzi określenie filozoficznej (ontologicznej) istoty czasu było (i jest) trudne, z powodu jego „nieuchwytności”, niedostępności zmysłowej. Taki dylemat wyrażał np. św. Augustyn: „Czymże więc jest czas? Jeśli mnie nikt o to nie pyta, wiem: gdy zaś chcę wyjaśnić pytającemu, nie wiem; wiem jednak i śmiało to twierdzę, że wiem, iż gdyby nic nie przemijało, nie byłoby czasu przeszłego, a gdyby nic nie nadchodziło, nie byłoby czasu przyszłego, a gdyby niczego nie było, nie byłoby czasu teraźniejszego”<sup>1</sup>.

Spontaniczny podział czasu (także gramatycznego) na przeszłość, teraźniejszość i przyszłość rodzi np. pytanie o sposób istnienia tych wydzielonych przedziałów. Wydaje się bowiem, że przeszłości *już* nie ma, a przyszłości *jeszcze* nie ma, istnieje jedynie teraźniejszość, rozumiana jako moment (chwila) rozgraniczający dwa pozostałe przedziały. Czy zatem moment jest zawsze ten sam, czy istnieje *continuum* następstwa momentów? Jak wobec tego usytuować czas pod względem realności jego istnienia: między bytem i niebytem?<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Św. Augustyn, Wyznania, Warszawa 1955, s. 256.

<sup>2</sup> Problem statusu przyszłości podejmował np. T. Kotarbiński w słynnym artykule pt. Zagadnienie istnienia przyszłości, „Przegląd Filozoficzny” XVI (1913), s. 74-92, a aktualizację zagadnienia

Starożytne dociekania nad przestrzenią, z jej trójwymiarową (poglądową) strukturą były o wiele bardziej zaawansowane od analiz czasu (geografia, kartografia). Natomiast zwyczaj paralelnego rozpatrywania problematyki czasu i przestrzeni utrwalił się dopiero w związku z wprowadzeniem pojęcia czterowymiarowej czasoprzestrzeni (odkrycie geometrii nieeuklidesowych, zasad ogólnej teorii względności). Inne okoliczności aktualizujące zagadnienia czasu i przestrzeni to: problem sposobu istnienia, (nie)skończoności, (nie)ograniczoności, (nie)odwracalności, czy kwantyzacji. Współczesna fizyka czasoprzestrzeni, wyprowadzając nieintuicyjne wnioski z badania przyrody (np. efekty dylatacyjne), rodzi bowiem wiele pytań i skłania do refleksji nad zagadnieniami, które odsłaniają złożoność rzeczywistości. W niniejszym tekście podejmiemy więc próbę przybliżenia starożytnego i współczesnego pojęcia czasu, oraz funkcjonowania jego koncepcji, zwłaszcza w kontekście opozycji: czas absolutny – czas relacyjny. Powiemy także o potrzebie rozumienia fizycznej relatywistyki zgodnie z właściwym znaczeniem, bo pojęcie to bywa interpretowane na sposób arbitralny.

### Pojęcie czasu

W języku greckim funkcjonowały dwa terminy, służące do wyrażania treści związanych z kategorią czasu: *chronos*<sup>3</sup> oraz *kairos*<sup>4</sup>. Pierwszy z nich oznaczał zjawisko okresowości, dające się mierzyć poprzez układy i ruchy ciał niebieskich (*kata ton kairon touton* = w tym czasie), potem, później (np. *epi chronou* = pod wpływem czasu). Natomiast *kairos* wiązano z ludzką egzystencją, „wypełniającą” czas: okres życia, wiek, pora roku (np. *kata kairos* = sukcesywna chronologiczna, kolejność zdarzeń, chwil, „życiorys”). O ile zatem np. w Koh 3,1 (LXX) „Wszystko ma swój czas (*chronos*)”, to już w Koh 3,2n („Jest czas rodzenia i czas umierania...”), autor natchniony użył (kilkakrotnie) *kairos* (por. także np. Mk 1,15: *hoti peplerotai ho kairos*). Ogólnie można więc stwierdzić, że *chronos* akcentuje raczej ilościowe aspekty czasu, a *kairos* – jakościowe. Obie nazwy znalazły swój odpowiednik w łacińskim terminie *tempus*. Wśród jego

---

podjął np. w polskiej literaturze popularnej J. Dukaj, jako główną osnowę powieści *Lód* (Kraków 2007). Jest to historia alternatywna, poruszająca m.in. problem negacji dychotomii konieczność – przypadek (np. w hazardzie), w kontekście szerszego pytania o to, czy możliwa jest (i do jakiego stopnia) ingerencja w prawa historii i logiki.

<sup>3</sup> Według mitologii przedsokratejskiej (Ferekydes z Syros, VI w. przed Chr.), bóg Chonos uważany był za personifikację Czasu, który wszystko widzi, ujawnia i wyrównuje. Bywa on niekiedy mylny (z racji podobnie brzmiącej wymowy) z Kronosem – tytanem, który połykał swoje dzieci zaraz po ich urodzeniu (poza Zeusem). Do tej (mylnej) interpretacji odwoływał się np. K. Ajdukiewicz: „Otóż ów Kronos miał być uosobieniem czasu [...], jego stosunek do własnych dzieci miał oddawać w przenośni istotę czasu, który jest twórcą i niszczyicielem swych własnych stworzeń. Każde radosne czy nieszczęsne zdarzenie zostaje przez czas powołane do życia i bytu, lecz natychmiast, po swym zaistnieniu, przez ten sam czas zostaje zepchnięte w przeszłość i przestaje istnieć”. K. Ajdukiewicz, *Zagadnienia i kierunki filozofii*, Warszawa 1983, s. 169.

<sup>4</sup> *Kairos* również wywodzi się z mitologii greckiej. Był to bożek szczęśliwego zbiegu okoliczności, szczęśliwego momentu (lub niewykorzystanej szansy). Charakteryzował się długą grzywką, za którą – gdy kogoś mijał – można go było chwycić, wykazując się refleksem.

rozlicznych znaczeń są m. in.: okres pomiędzy dwoma wydarzeniami, następstwo czasowe (np. *ex tempore vivis* = z dnia na dzień, bezpośrednio, bez przygotowania), stosowna chwila (np. *pro tempore* = stosownie do okoliczności, *per tempus* = w porę, w stosownej chwili), pora dnia, nocy, roku.

Warto dodać, że w filozofii (neo) scholastycznej czas – sposób istnienia rzeczy materialnych – zestawiano (kontrastując) z: (1) *wiecznością* (długotrwałością) (*aevum*) – typowym sposobem istnienia bytów duchowych, oraz (2) *wiekuistością* (*aeternitas*) – charakterystycznym sposobem istnienia Boga (szerzej: absolutu – bytu, którego istotą jest istnienie): np. *tempus fugit, aeternitas manet* = czas ucieka, wiekuistość trwa. Obecnie oba rozróżnienia uległy zatarciu i co najwyżej obok czasu wymienia się tylko wieczność, choć w niektórych nurtach filozofii współczesnej odrzuca się całkowicie koncepcję wieczności, utrzymując, że cała rzeczywistość ma charakter temporalny<sup>5</sup>. Wstępnie możemy zatem określić czas jako kategorię ogarniającą w sposób syntetyczny różne aspekty powstawania, trwania, wewnętrznych i zewnętrznych zmian oraz przemijania wszystkiego, co w jakikolwiek sposób istnieje. Czas byłby więc z jednej strony podstawową właściwością świata (bytu), a z drugiej – jednym z najważniejszych sposobów ujmowania istnienia (świata).

Za najdawniejszą grecką definicję czasu uznaje się (np. W. K. C. Guthrie) tekst sofisty Antyfony z Aten, według którego czas nie istnieje obiektywnie, a jest tylko intelektualną koncepcją albo sposobem pomiaru (*oema e metron ton chronon /ouk hypostasin/*)<sup>6</sup>. Bardziej znana była jednak koncepcja czasu Platona, związana ściśle z jego doktryną o ideach. Ponieważ świat, w którym bytują idee jest – według Platona – niezmienny, dlatego idee nie są poddane upływowi czasu. Świat idei istnieje wiecznie, ale nie oznacza to istnienia w czasie „bez początku i końca”, lecz poza nim. W dialogu „Timajos” Platon opisuje, że Boski Demiurg, stwarzając materialny świat, chciał go uczynić tak bardzo podobnym do świata idei, jak to możliwe, ale zmienny świat rzeczy materialnych nie mógł istnieć w beczasowej wieczności: „Więc umyślił zrobić pewien ruchomy obraz wieczności i porządkując wszechświat, robi równocześnie wiekuisty obraz wieczności, która trwa w jedności, obraz idący miarowo, który my nazywamy czasem. Urządza dni i noce, i miesiące i lata, których nie było, zanim powstał wszechświat [...]. Zatem czas powstał razem ze światem, aby razem zrodzone, razem też ustały, jeśli kiedyś przyjdzie koniec świata i czasu”<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Relację między wiecznością a czasem próbowano w filozofii usuwać, bądź podnosząc czas do rangi wieczności (np. F. Nietzsche), bądź redukując wieczność do czasu (np. G. F. Hegel). Jednak najczęściej za horyzont rozważań o czasie i przemijaniu – zwłaszcza w chrześcijaństwie – uważano wieczność, a za punkt odniesienia do wieczności – czas (np. w liturgicznych formułach dla wysławienia wieczności używa się kategorii czasowych: „teraz i zawsze” i „na wieki wieków”). Definicję wieczności (wiekuistości) podał m.in. Boecjusz w *Consolationes philosophiae libri quinque* (lib. 3, p. 2): „Aeternitas igitur est interminabilis vitae tota simul et perfecta possessio” („Wiekuistość to doskonałe i zarazem pełne posiadanie życia bez kresu”). Definicję tę zmodyfikował św. Tomasz z Akwinu zauważając, że 1) wieczność (wiekuistość) jest pozbawieniem wszelkiego kresu a parte ante et a parte post; oraz 2) brak jest w niej jakiegokolwiek następstwa momentów wcześniejszych i późniejszych (tota simul existens – S. Th., I, q. 10, a. 1).

<sup>6</sup> Cyt. za W. K. C. Guthrie, *History of Greek Philosophy*, Cambridge 1969, t. 3, s. 292.

<sup>7</sup> Platon, *Timaios i Kritias*, Warszawa 1999, 37de. 38b.

W ujęciu Platona czas jest zatem obrazem wieczności, „idącym miarowo” (w innym przekładzie: „obraz, poruszający się według liczby”). Oznacza to, że czas można mierzyć. Dlatego dalej w „Timajosie” stwierdza się, że, „na rozgraniczenie i na straż liczby czasu” stworzone zostały ciała niebieskie i ich regularny, jednostajny i kolisty ruch obiegowy. Dostarczają one wyraźnej obiektywnej metody pomiaru czasu (dni, miesięcy, lat). Z kontekstu powyższego cytatu wynika także, że wprawdzie czas różni się od wieczności tym, że jest trwaniem rzeczy *zmiennych*, ale jest do niej podobny, ponieważ nie ma początku i końca. Można go zobrazować jako koło ciągle powtarzających się zdarzeń<sup>8</sup>.

Koncepcjom Platona zarzucano wiele sprzeczności i niejasności, uważając wręcz (np. W. Witwicki), że nie należy traktować dialogu „Timajos” poważnie (zgodnie zresztą z zamysłem samego Platona). O wiele więcej uwagi warto natomiast poświęcić uczniowi Platona, Arystotelesowi. Swoją próbę określenia czasu oparł on na ścisłym związku zachodzącym między czasem i ruchem (zmianą). Jeśli – twierdził – nic nie zakłóca stanu naszego umysłu, nie zauważamy upływu czasu. Czynimy to dopiero, gdy na coś oczekujemy lub rozważamy jakies wcześniejsze zdarzenie. Można zatem uznać czas za proces odliczania, związany z pojęciami „przed” i „po”, odnośnie do ruchu (zmian): „Albowiem czas jest właśnie ilością ruchu ze względu na ‚przed’ i ‚po’”<sup>9</sup>.

### Paralelizm czasu i zmian

Pomiędzy czasem i zmianą zachodzi wzajemna zależność: bez jakiegś zmiany można nie dostrzec upływu czasu, zaś bez upływu czasu nie mogłoby dojść do zmiany. Arystotelesowska definicja czasu nie jest tautologiczna, przy założeniu, że wyrażenie *kata to proteron kai hysteron (secundum prius et posterius)* bierze się nie w znaczeniu następstwa czasowego, ale następstwa w ogóle. Definicja ta ma charakter matematyczny, gdyż jej akcent jest położony na liczenie

<sup>8</sup> Jest to nawiązanie do idei Wielkiego Roku (może zapożyczony z Babilonii): gdy ciała niebieskie przyjmą dokładnie takie położenia, jakie już kiedyś zajmowały, chronos zamknie się i historia powtórzy się od nowa (wg innej wersji, powtarzalność dotyczyła jedynie ogólnego splotu wydarzeń). Por. G. J. Whitrow, *Czas w dziejach*, Warszawa 2004, s. 74. Koncepcja czasu – zamkniętego koła, nie była w starożytności wyjątkiem, a regułą (obecnie nadal występuje wśród ludów pierwotnych), uwarunkowaną cyklicznością zjawisk przyrody (np. pór roku). Dopiero wpływy judeo-chrześcijańskie spowodowały „przerwanie i rozprostowanie” koła czasu, przez jednorazowe i niepowtarzalne wydarzenia (np. stworzenie świata, narodziny Chrystusa, paruzja). Dalsza asymilacja chrześcijaństwa w kulturze Europy doprowadziła stopniowo do wytworzenia pojęcia jednokierunkowej historii (dziejów).

<sup>9</sup> Arystoteles, *Fizyka*, Warszawa 1968, IV, 219 b, 1-2. Istnieją też inne tłumaczenia tego ważnego fragmentu: „Czas jest to liczba (miara), liczbowa miara ruchu, wyrażona w wyniku odliczania momentów poszczególnych ‚teraz’, które, ujmowane są wedle kategorii ‚wczynie’ (już nie) – ‚później’ (jeszcze nie)”, „liczba ruchu według tego, co [w nim] jest uprzednie i następcze” (S. Adamczyk, *Kosmologia*, Lublin 1963, s. 209) lub „miara zmiany – pojętej jako pewien porządek – wyrażona przy pomocy przysłówków ‚wczynie’ i ‚później””. Nieco dalej Arystoteles wprowadza też nowy element definicji czasu: „Czas jest miarą zmiany [ruchu] i spoczynku”. Por. S. Mazierski, *Elementy kosmologii filozoficznej i przyrodniczej*, Poznań-Warszawa-Lublin 1972, s. 149.

wyróżnionych i następujących po sobie stanów ruchu (kolejnych zmian). Następowanie stanów ruchu można abstrahować od samej zmiany i rozpatrywać tylko owo następstwo. Stanom ruchu odpowiadać będą wtedy momenty czasu (chwile), a częściom ruchu – przedziały czasowe. Z jednej strony ruch służy więc do kwantyfikacji czasu, z drugiej – inne ruchy można odmierzać tak skwantyfikowanym czasem: „Nie tylko mierzymy ruch za pomocą czasu, lecz również czas za pomocą ruchu, ponieważ one się nawzajem określają. Czas określa ruch, bo jest jego liczbą, a ruch określa czas”<sup>10</sup>.

Czas znajduje zatem częściowo swoje *odzworowanie* w ruchu, choć nie należy ich obu utożsamiać (ruch może być jednostajny lub niejednostajny, a są to określenia definiowane przez czas, który przecież nie może sam siebie definiować). Oczywiście arystotelesowski ruch należy pojmować w kategoriach *globalnych* (od początku do końca), a nie tylko lokalnie (zmiana miejsca wzdłuż pewnej drogi), mimo, że ten ostatni rodzaj ruchu był dla Arystotelesa punktem wyjścia poznania czasu. Arystoteles zdawał sobie sprawę z ujmowania przez siebie czasu od strony psychologicznej. Dlatego podejmował też zagadnienie, czy mógłby istnieć czas niezależnie od umysłu liczącego („duszy”). Określając czas jako „miarę zmiany” (*numerus motus*), musiał konsekwentnie przyznać, iż: „Jeśli jednak nic nie potrafi z natury liczyć prócz duszy i zdolności umysłowej duszy, wobec tego nie może istnieć czas bez duszy, lecz tylko substrat czasu, czyli ruch. „Przed” i „po” istnieją w ruchu, a o ile dadzą się ująć w liczbę, wyznaczają czas”<sup>11</sup>.

W wyniku filozoficznych analiz ruchu kołowego, Arystoteles uznawał, że czas ze swej istoty jest *nieskończony*. Podobnie jak Platon, Stagiryta odwoływał się do nieustającego ruchu niebosłonu (ciał niebieskich), jako idealnego (doskonałego) przykładu regularnego ruchu jednostajnego, wolnego od przerw. Odbywa się on od pewnego miejsca do tego samego miejsca, czego nie ma w ruchu prostoliniowym, który może być ciągły najwyżej lokalnie (w danym interwale czasu) i nie wraca do pierwotnego punktu. Inne ruchy (zmiana jakościowa, ilościowa, lokalna) są mniej doskonałe, skończone. Dlatego uważano, że ruch

<sup>10</sup> Arystoteles, *Fizyka*, IV, 220b, 14-18. Podobnie o możliwości pomiaru czasu pisali A. Einstein i L. Infeld, „Z zegar może służyć dowolne zjawisko fizyczne pod warunkiem, że można je powtarzać dowolnie wiele razy. Przyjmując za jednostkę czasu odstęp między początkiem a końcem takiego zjawiska, można powtarzając nasz proces fizyczny mierzyć dowolne odstęp czasu”. A. Einstein, L. Infeld, *Ewolucja fizyki. Rozwój poglądów od najdawniejszych pojęć do teorii względności i kwantów*, Warszawa 1998, s. 161. Istotnie, jako wzorce czasu przyjmowano stałe, powtarzalne zjawiska przyrody, rejestrowane przez doświadczenie potoczne (np. przeciętną /około sekundową/ częstotliwość tętna ludzkiego, dobowy ruch obrotowy Ziemi dokoła własnej osi / tzw. skoordynowany czas uniwersalny UTC/). Od 1967 r. jedną sekundę definiuje się jako czas trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu Cs 133. Por. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 r. w sprawie legalnych jednostek miar, (Dz. U. z 2006 r., Nr 225, poz. 1638) s. 11183.

<sup>11</sup> Arystoteles, *Fizyka*, IV, 223a, 25-29. Takie ujęcie, nasuwające myśl o podmiotowych elementach arystotelesowskiej koncepcji czasu, spowodowało wprowadzenie rozpowszechnionego w scholastyce określenia: „byt myślowy z fundamentem w rzeczywistości” (*ens rationis cum fundamento in re*). Por. S. Mazierski, *Elementy kosmologii*, s. 149.

Ziemi i ciał niebieskich stanowi najprecyzyjniejszy instrument pomiaru czasu<sup>12</sup>. Zresztą, także i sprawa kształtu Ziemi (elipsoida obrotowa) wiąże się z interesującymi poznawczo obserwacjami czasu, np. z (trudnym do teoretycznego przewidzenia) efektem zmiany daty, jako wynikiem przekraczania stref czasowych w różnych obszarach długości geograficznej. Podczas wyprawy dookoła świata F. Magellana, przemieszczając się ze wschodu na zachód, ze zdziwieniem odkryto „stratę” jednej doby. Motyw ten wykorzystany został w literaturze popularnej – bohaterowie 80-dniowej podróży dookoła świata z powieści J. Verne’a przemieszczając się z zachodu na wschód „zyskali” jedną dobę. Powyższy problem przyczynił się pod koniec XIX wieku do wyznaczenia międzynarodowej linii zmiany daty (w znacznej części wzdłuż południka 180°).

Po wynalezieniu dokładniejszych czasomierzy (W. Shortt – wahadło inwaryjne /1924/, W. Marrison /1927/ – zegar kwarcowy /w sprzedaży od 1970/) okazało się, że obrót Ziemi (podlegający niewielkim fluktuacjom) nie jest precyzyjnym wzorcem czasu. Długość doby waha się w ciągu roku o ok.  $10^{-3}$  s, ponadto tempo obrotu naszej planety ulega spowolnieniu (przez tarcie pływowe na morskich płycznach) i doba wydłuża się o ok.  $1,5 \cdot 10^{-3}$  s na wiek. Wymogi punktualnej synchronizacji czasu w różnych sytuacjach społecznych były przyczyną stopniowego rozpowszechnienia zegarków osobistych, naręcznych (m. in. jako jednego z następstw pierwszej wojny światowej). Ich regulację ułatwiały radiowe sygnały czasu (usprawniające nawigację na morzu), zaś precyzja wzrastała przez wykorzystanie odpowiednich technologii. Współcześnie zauważa się ściślejszą zależność ludzi od precyzyjnego ustalania czasu (komunikacja, przesyłanie informacji naukowych, badania kosmiczne). Nie będziemy jednak zajmować się szczegółowo – skądinąd ciekawym – zagadnieniem dziejów (metod i dokładności) chronologii, opartej paralelnie z jednej strony o obserwacje astronomiczne, a z drugiej – o konstrukcje mechaniczne (zegary) (jak w przypadku słynnego problemu wyznaczania długości geograficznej w warunkach oceanicznych)<sup>13</sup>.

### **Czas absolutny i czas relacyjny**

Problem czasu absolutnego i relacyjnego (relatywnego) – w pewnym sensie podobny do analogicznie rozpatrywanej przestrzeni – występuje w powiązaniu

<sup>12</sup> Pierwsze kalendarze opierały się na obserwacjach ruchów obiektów sfery nieba (Syriusza, Księżyca) i zliczaniu interwałów (doba, miesiąc, pory roku, rok /lunarny, solarny/), co wsparło rozwój matematycznej astronomii. Oczywiście odliczano też mniejsze (krótsze) przedziały (np. klepsydrami). Wobec dłuższych perspektyw czasowych stawali np. historycy (historiografowie), w związku z rejestracją (utrwalaniem bądź rekonstrukcją) wydarzeń. Początkowo nie tyle wyjaśniano teraźniejszość w świetle przeszłości, ale dbano, by w przyszłości nie zapomniano o doniosłych zdarzeniach. Stąd (również w braku archiwalnych dokumentów) liczne moralizatorskie mity i legendy, nie wymagające usytuowania w czasie. Jednak stopniowo ustalano odpowiedni system datowania (np. zapewniający jednolitość kalendarzy lokalnych). Pierwszy znany cykl (Metona) z 432 prz. Chr. był oparty na obserwacji, że 235 miesiącom synodycznym (między nowiami) odpowiada w przybliżeniu 19 lat zwrotnikowych (między równonocami wiosennymi). Liczba dni cyklu wynosiła 6940, zatem rok liczył przeciętnie 365,26 dni.

<sup>13</sup> Por. D. Sobel, *W poszukiwaniu długości geograficznej*, Poznań 1998 (spopularyzowana historia J. Harrisona – genialnego konstruktora pierwszego chronometru, rozwiązującego ten istotny dla rozwoju żeglugi problem).

z zagadnieniem zjawisk (procesów) przyrodniczych, przebiegających i odmierzanych w funkcji czasu. Taki czas jest przeważnie ujmowany i rejestrowany przez potoczne doświadczenie człowieka jako absolutny (bezwzględny), co K. Ajdukiewicz scharakteryzował następująco: „Mysząc w życiu potocznym o czasie, mamy na myśli pewną drogę, wzdłuż której przesuwa się ,teraźniejsza rzeczywistość', drogę, na której stoją znaki sekundowe, podobnie jak na gościńcu kilometrowe. Równe trwania mają dwa zdarzenia, jeśli między początek i koniec obu przypada taka sama ilość znaków sekundowych na drodze czasu ustawionych. Czas sam, owa droga, jest czymś od zjawisk różnym i [...] z istoty tego obiektywnego (od nas niezależnego) czasu wynika, w którym miejscu znak sekundowy ma zostać umieszczony [...]. Ów czas stanowi jakby kanwę, na której się zjawiska haftują. Trwanie zjawisk mierzy się w tym czasie niejako ilością oczek pokrytych przez to zjawisko”<sup>14</sup>. Częstą ilustracją graficzną tak pojmowanego czasu jest równomiernie wyskalowana (tzw. podziałka) oś czasu  $t$ , w którego funkcji wykreśla się zmianę wartości jakiejś wielkości fizycznej, np. współrzędnych drogi, szybkości, przyspieszenia (jako tzw. kolejne pochodne po czasie).

Przyjęcie istnienia czasu absolutnego pociąga za sobą istnienie absolutnej *równoczesności*: jeśli dwa (lub więcej) zdarzenia zachodzą w tej samej chwili (w ciągu tego samego interwału czasu absolutnego), to są ze sobą absolutnie równoczesne, niezależnie od wyboru układu odniesienia. Przy takim założeniu, można mówić o wszystkich zdarzeniach we Wszechświecie, iż są równoczesne, jeśli zachodzą w danej chwili czasu absolutnego, zaś zbiór takich zdarzeń można nazwać stanem Wszechświata w danej chwili. Ilustrując to przekonanie, I. Barrow (XVII w.) – pod wpływem metody kinematycznej wprowadzonej do geometrii przez Galileusza i Torricellego – sformułował analogię między czasem a geometryczną linią prostą: „Czas nie implikuje ruchu, jeśli rozpatrywać jego wewnętrzną, absolutną naturę; ale też nie implikuje ani trochę bardziej spoczynku. Niezależnie od tego, czy rzeczy poruszają się, czy są nieruchome, czy śpimy, czy się budzimy, Czas biegnie równo, w sobie właściwy sposób [...]. Czas ma tylko długość, składa się w całości z podobnych sobie części i można go rozpatrywać jako prostą sumę kolejnych chwil albo też ciągły upływ jednej chwili”<sup>15</sup>.

Poglądy Barrowa przejął jego uczeń, I. Newton, traktując czas jako rzeczywistość podążającą równomiernie, niezależnie od ciał materialnych. Idąc także za ustaleniami P. Gassendiego, sformułował (obok omawianej wcześniej teorii absolutnej przestrzeni) teorię czasu absolutnego, upływającego jednostajnie, w sposób ciągły i niezmienny (nieodwracalny – od przeszłości ku przyszłości), czasu *continuum*, będącego realnością niezależną od ruchu materii i ludzkiego postrzegania: „Absolutny, prawdziwy, matematyczny czas płynie sam przez się i ze swej natury jednostajnie, niezależnie od czegokolwiek zewnętrznego, i zwie się inaczej trwaniem [...]. Wszystkie ruchy mogą przyśpieszać i zwalniać, ale upływanie absolutnego czasu nie ulega żadnym wpływom. Trwanie, czyli dążność

<sup>14</sup> K. Ajdukiewicz, Czas względny i bezwzględny, „Przegląd Filozoficzny” 23 (1920), s. 7-8.

<sup>15</sup> Cyt. z „*Lectones Geometricae*” za G. J. Whitrow, Czas w dziejach, s. 194. Jak widać, i ta wypowiedź może być graficznie zilustrowana przez równomiernie wyskalowaną (półprostą) oś czasu  $t$ , na obranym układzie współrzędnych, gdzie reprezentacją czasu jest właśnie długość (interwał).



do zachowania istnienia rzeczy, pozostaje to samo niezależnie od tego czy ruchy są szybkie, czy wolne, czy też nie ma ich wcale. I dlatego też trwanie to powinno odróżniać się od tego, co jest tylko jego zmysłową miarą<sup>16</sup>. Według Newtona, czas można sobie wyobrazić nie tylko jako jednowymiarową linię, ale także na sposób przestrzenny: jako wielkie naczynie (pojemnik) bez ścian, które ogarnia wszystkie ciała i wszystkie zachodzące w nim procesy fizyczne. Czas jednak jest od nich zupełnie niezależny. Wszystkie ruchy mogą przyspieszać i zwalniać, ale przebieg absolutnego czasu nie ulega żadnym wpływom. Mógłby on trwać nawet wtedy, gdyby w czasie nie odbywały się żadne zdarzenia. Dlatego też stan trwania Newton odróżniał się od tego, co jest tylko jego subiektywną, zmysłową miarą, nazwaną czasem względnym (mierzonym). Należało zatem przyjąć, że wszystkie zdarzenia w obrębie całej materialnej rzeczywistości trzeba traktować jako zdarzenia zachodzące w tym samym czasie. Ta interpretacja czasu (odpowiadająca potocznym wyobrażeniom) dominowała w fizyce XVIII i XIX wieku.

Koncepcja absolutystyczna nie była jednak jedyną. Odrzucali ją np. G. F. Leibniz, G. Berkeley oraz I. Kant. Ten ostatni traktował czas jako jedną z dwu (obok przestrzeni) tzw. apriorycznych form naoczności (nie pochodzących z doświadczenia, lecz je warunkujących), tkwiących w każdym podmiocie poznającym. Natomiast według Leibniza czas jest względny, będąc tylko relacją – porządkiem następstwa rzeczy. Podczas, gdy czas Newtona ma naturę substancjalną, jest traktowany w pewnym sensie jako *rzecz*, to czas Leibniza jest jedynie własnością rzeczy. Jeśliby ze świata Newtona usunąć wszelką materię, czas pozostałby nienaruszony. Z kolei czas Leibniza zniknąłby zupełnie, jeśliby jego świat pozbawić jakichkolwiek zdarzeń: „Mam przestrzeń za coś czysto względnego, podobnie jak czas, mianowicie za porządek współistnienia rzeczy, podczas gdy czas stanowi porządek ich następstwa. Czas sam w sobie nie istnieje: Próżnia nie istnieje, albowiem rozmaite części próżnej przestrzeni byłyby zupełnie do siebie podobne, w pełni odpowiadałyby sobie i nie dałyby się same przez się rozróżnić, a nadto różniłyby się jedynie liczbą, co jest absurdem. W ten sam sposób dowodzę również, że czas nie jest rzeczą<sup>17</sup>”.

Nieco stylizując myśl Leibniza, można więc uznać świat za *zbiór zdarzeń* (zjawisk), na którym określone są relacje porządkujące ten zbiór. Niektóre z *relacji* mają charakter następstwa: dwa zdarzenia są nim związane, jeśli jedno następuje po drugim. Właśnie te relacje tworzą czas i są odpowiedzialne za przemijanie. Inne relacje zachodzą między zjawiskami współistniejącymi – ich zbiór definiuje przestrzeń. Wprawdzie Leibniz zgadzał się z Newtonem, że czas jest *continuum* jednorodnym i prostym (jak linia prosta), lecz uważał, że dla człowieka konieczne jest subiektywne wyobrażenie czasu, a dla Boga nie ma w ogóle konieczności istnienia czasu. Mimo, że do początków XX w. to poglądy Newtona wyznaczały kanon myślenia o naturze czasu i przestrzeni, wraz z powsta-

<sup>16</sup> I. Newton, *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, Rzeszów 2011, s. 7.

<sup>17</sup> G. W. Leibniz, *Wyznanie wiary filozofa*, Warszawa 1969 (Polemika z Clarke'm, nr 3-4). Spór Leibniza z Newtonem w sposób najwyraźniejszy znalazł odzwierciedlenie w korespondencji między Leibnizem a Samuelem Clarke'iem (ucznikiem Newtona). Clarke miał być angielskim tłumaczem „Teodycei” Leibniza, czemu ten się sprzeciwiał.

niem teorii względności zwrócono się ku koncepcjom Leibniza. Jak pisze K. Ajdukiewicz, przywołując użyte już wcześniej porównanie z kanwą haftu: „Przez czas nie rozumie nauka pozytywna [współczesna, już uwzględniająca efekty szczególnej teorii względności – P. N.] jakiejś od zjawisk niezależnej samodzielnej istoty [...]. *Współrzędna czasowa* zjawiska A, to liczba pewnych zjawisk B, konwencjonalnie przyjętych za wzorowe, późniejszych od pewnego zjawiska przyjętego jako zerowe, a nie wcześniejszych od zjawiska A. *Trwanie* zjawiska, to znów liczba zjawisk B, późniejszych od początku zjawiska A, a nie wcześniejszych od końca tego zjawiska. Naukowe [uwzględniające efekty szczególnej teorii względności – P. N.] pojęcie trwania i współrzędnej czasowej zakłada jedynie porządek szeregów zjawisk i ustosunkowanie porządków tych szeregów. Nie zakłada zaś wcale czasu, jako tła drogi, czy tunelu, przez który przesuwają się rzeczywistość [...]. Rzeczywistość nie haftuje się na tle kanwy, lecz zostaje z samych nici bez tła utkana. Wzór powstaje nie *na* tle, lecz wraz z tłem”<sup>18</sup>.

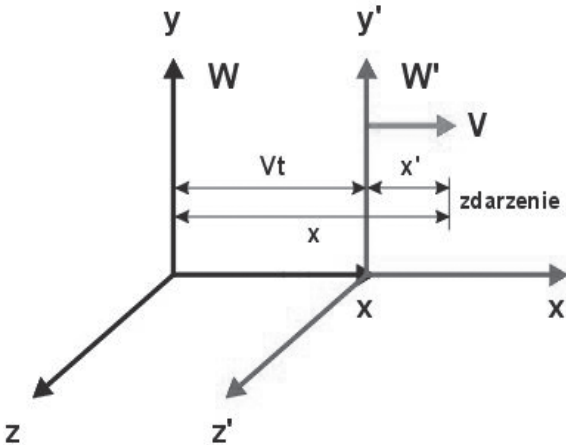
### Klasyczna zasada względności

Zajmiemy się teraz konstrukcją *fizycznego* pojęcia czasu, opartego na relacji równoczesności i następstwa. Według niej, pojęcie *momentu czasu* (chwili) jest definiowane jako klasa abstrakcji od relacji (równoważnościowej) równoczesności. Gęsty i ciągły zbiór momentów, zawierający się pomiędzy dwoma danymi momentami, to *interwał czasowy* lub odcinek czasu. Ciąg momentów tworzących interwał czasowy uporządkowany jest przy pomocy relacji *następstwa* czasowego. Czas można zatem wstępnie zdefiniować jako zbiór momentów, uporządkowany według relacji później – wcześniej, podobnie, jak w podanej wyżej definicji Arystotelesa. Tę koncepcję modyfikowano (w różnym tempie i zakresie). I tak przez pewien czas przyjmowano, że czas obserwowany (i mierzony) przez różnych obserwatorów, płynie dla każdego z nich jednakowo, niezależnie od ich układów odniesienia. Ponadto, według tego założenia wszystkie układy poruszające się względem siebie *bez przyspieszenia* (czyli tzw. inercjalne) są równoprawne. Żaden z nich nie jest wyróżniony (uprzywilejowany), bo przebieg zjawisk fizycznych jest w każdym z nich taki sam (w każdym obowiązują te same prawa fizyczne o identycznej postaci matematycznej): „Galileusz [...] zauważył, że ruch jednostajny prostoliniowy nie wywiera wpływu na zjawiska mechaniczne. Innymi słowy wszystkie procesy mechaniczne przebiegają w ten sam sposób na przykład na statku nieruchomym i na statku płynącym jednostajnie po linii prostej (ruch i spoczynek rozpatrujemy tu w odniesieniu do brzegu)”<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> K. Ajdukiewicz, *Czas względny i bezwzględny*, s. 8. Popularnym opracowaniem dziejów rozwiązywania przez nauki przyrodnicze rozmaitych kwestii związanych z wpływem czasu jest M. Heller, *Uchwycić przemijanie*, Kraków 1997. Za wskazanie tej książki składam serdeczne podziękowanie ks. prof. Tadeuszowi Rutowskiemu.

<sup>19</sup> W. E. Kresin (red.), *Fizyka klasyczna i jądrowa*, Warszawa 1971, s. 71. W czasach Galileusza mechanika była podstawową dziedziną fizyki, bo praktycznie nie istniały odrębne: optyka i elektryczność. Konieczność rozpatrywania zjawisk fizycznych z punktu widzenia układów współporuszających się zachodzi w różnych sytuacjach, związanych z porównywaniem wyników pomiarów, uzyskiwanych

Opisaną wyżej zasadę nazywaną *klasyczną zasadą względności* (o której wspominaliśmy już wcześniej) – można zilustrować przykładem: mamy dane dwa (kartezjańskie) inercjalne układy odniesienia:  $W$  oraz  $W'$ . Układ  $W'$  porusza się ze stałą prędkością o wartości  $V$  względem układu  $W$  w dodatnim kierunku osi oznaczonych jako  $X$  oraz  $X'$  (oczywiście względem innego układu odniesienia mogą poruszać się /jednostajnie/ oba układy, ale  $W'$  porusza się szybciej niż  $W$ ). Obserwator związany z układem  $W'$  przypisze pewnemu zdarzeniu (np. położeniu samolotu, lecącemu ze stałą prędkością wzdłuż prostej) współrzędne przestrzenne oraz czasowe:  $x', y', z'$  i  $t'$ , a obserwator z układu  $W$  – współrzędne  $x, y, z$  i  $t$ . Ponieważ względny ruch pomiędzy układami  $W$  i  $W'$  nie wpływa na współrzędne  $y$  oraz  $z$  (odczytywane z osi prostopadłych do kierunku ruchu), możemy zapisać:  $y' = y$  i  $z' = z$ . Te równości oraz związki pomiędzy współrzędnymi  $x$  i  $x'$  oraz  $t$  i  $t'$ , opisującymi położenie i upływ czasu samolotu, względem każdego z układów odniesienia, wyrażają wzory nazwane *transformacjami (przekształceniami) Galileusza*:  $x' = x - Vt$ ;  $y' = y$ ;  $z' = z$ ;  $t' = t$ .<sup>20</sup>



Powyższe równania są prawdziwe, gdy w chwili  $t'_0 = t_0 = 0$  początki obydwu układów odniesienia się pokrywały. Pierwsze z równań otrzymamy analizując załączony rysunek (wartość prędkości w ruchu jednostajnym prostoliniowym obliczamy jako iloraz przebytej drogi do czasu jej pokonania:  $V = s/t$ ). Natomiast równanie  $t' = t$  oznacza, że w obydwu układach obowiązuje taki sam czas, mierzony przez zegary

związane z tymi układami. W teorii Galileusza uznawano to za pewnik, ale – jak się okazało w XX w. – w pewnych warunkach nie można zastosować tego przekształcenia, a trzeba posłużyć się tzw. *transformacjami Lorentza*.

### Transformacje Lorentza

Wyobrażenia o czasie i przestrzeni w newtonowskiej fizyce klasycznej były oparte na zdrowym rozsądku, który sugerował także, że oddziaływania między

w identycznych eksperymentach przeprowadzanych w ww. układach. Ruch prowadzi zwykle do korekty wyników (np. w sytuacji interpretacji efektu Dopplera /akustycznego lub optycznego/).

<sup>20</sup> Transformacje te można więc określić jako „przepis”, jak od współrzędnych obiektu w jednym układzie odniesienia przejść do opisu obiektu za pomocą współrzędnych innego (ale inercjalnego) układu odniesienia.

ciałami rozchodzą się z nieskończoną wartością prędkości (natychmiastowo) (tzw. *actio in distans*). W miarę rozwoju metod eksperymentalnych, wykazano błąd tego poglądu, np. przez pomiar (1676 – O. Rømer, 1729 – J. Bradley) skończonej prędkości światła widzialnego ( $c = \text{ok. } 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ), które – jak się potem okazało (J. C. Maxwell, H. Hertz) – stanowi jeden z zakresów długości fal elektromagnetycznych (od 3700 do 7000 Å, gdzie  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ )<sup>21</sup>. Ponieważ uważano, że każdy ruch falowy potrzebuje istnienia odpowiedniego ośrodka materialnego, przenoszącego drgania fal, szukano (własności) takiego hipotetycznego sprężystego ośrodka drgań fali elektromagnetycznej (roboczo nazwanego *eterem kosmicznym*). Poszukiwania te jednak doprowadziły do sprzecznych wniosków. Niektórzy twierdzili, że eter istnieje, inni – że nie (1851 – A. Fizeau, 1881 i 1887 – A. Michelson, E. Morley).

Stan badań nad falami elektromagnetycznymi (m. in. H. Poincaré, H. Lorentz, G. Fitzgerald) uporządkował A. Einstein (1905), który przyjął, że eter nie istnieje (i nie jest potrzebny do propagacji ww. fal, która może dokonywać się w próżni), a u podstaw swojej teorii – nazwanej szczególnie teorią względności (dalej: STW) – sformułował dwa założenia (postulaty):

1. „Jeżeli dwa układy współrzędnych poruszają się względem siebie ruchem jednostajnym prostoliniowym, to prawa, zgodnie z którymi zmieniają się stany układów fizycznych, nie zależą od tego, względem którego z układów te zmiany opisujemy”.
2. „Każdy promień światła rozchodzi się w układzie „spoczynkowym” ze stałą prędkością  $V$  [obecnie przyjęto oznaczenie  $c$  – P. N.], niezależnie od tego, czy jest emitowany przez ciało będące w spoczynku czy w ruchu”<sup>22</sup>.

Pierwsze założenie (*einsteinowska /relatywistyczna/ zasada względności*) było ekstrapolacją (uogólnieniem) mechanicznej zasady względności Galileusza na dowolne procesy (zjawiska) fizyczne, dokonujące się w (dwóch) dowolnych inercjalnych układach odniesienia. Wszystkie równania, wyrażające te same prawa fizyki powinny w tych układach mieć identyczną postać (tzn. być niezmiennicze), niezależnie od wyboru inercjalnego układu odniesienia. Według Einsteina, nie można zatem ustalić, na podstawie dowolnych eksperymentów fizycznych – wykonanych w zamkniętym układzie ciał – czy układ ten jest w spoczynku, czy porusza się jednostajnie prostoliniowo (względem dowolnego inercjalnego układu odniesienia). W fizyce wszystkie inercjalne układy odniesienia są całkowicie równoprawne i nie można wybrać spośród nich jakiegoś głównego („absolutnego”), różniącego się jakościowo od pozostałych<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> W 1676 r. duński astronom O. Rømer obserwował zaćmienia Io (jednego z księżyców Jowisza) na początku stycznia – gdy Ziemia znajdowała się najbliżej Jowisza, i w lipcu – najdalej. W drugim przypadku światło biegnące od Io, wysuwającego się zza tarczy Jowisza, przebywa drogę do Ziemi dłuższą o całą średnicę jej orbityokołosłonecznej. Rømer wyliczył, że czas obserwowanego zaćmienia wydłuża się wtedy o ok. 22 minuty.

<sup>22</sup> A. Einstein, 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki, Warszawa 2005, s. 125.

<sup>23</sup> B. M. Jaworski, A. A. Dietlaf, Fizyka. Poradnik encyklopedyczny, Warszawa 1998, s. 73-74. Einsteinowska zasada względności (zwana także zasadą niezmienniczości) była wyrazem stanu nauki początku XX w., kiedy to coraz częściej obserwowano i opisywano związki między zjawiskami za-

W drugim postulacie wyraża się zasada uniwersalności prędkości światła  $c$ , która w próżni nie zależy od ruchu (prędkości) źródła, emitującego promienie świetlne. Wprawdzie postulat nie zakładał żadnej konkretnej wartości tej prędkości, lecz dziś wiadomo, że  $c$  w próżni jest wartością graniczną (maksymalną) prędkości cząstek, ciał, oddziaływań i sygnałów w przyrodzie<sup>24</sup>. Powyższe założenie było sprzeczne z ustaleniami przyjmowanymi dotychczas w mechanice, odzwierciedlanymi przez transformacje Galileusza, gdzie – zgodnie z klasyczną regułą (wektorowego) sumowania prędkości (źródła światła  $V$  i promienia światła  $c$ ) – ich prędkość wypadkowa wynosi:  $V \pm c$ . Tymczasem, według założenia STW, wypadkową prędkości źródła światła i prędkości promienia światła (niezależnie od zwrotów ich wektorów), będzie (w próżni) zawsze i niezmiennie:  $V \pm c = c$ , a w skrajnej sytuacji:  $c \pm c = c$  (a nie – jak by się wydawało –  $2c$ ).

Niewystarczalność klasycznej reguły sumowania wektorów prędkości (w stosunku do  $c$ ) – a wręcz jej sprzeczność z postulatami STW – doprowadziła do przyjęcia w miejsce transformacji Galileusza innych przekształceń, zwanych *transformacjami Lorentza*. W szczególności dotyczy to twierdzenia o *identyczności biegu czasu* we wszystkich inercjalnych układach odniesienia, czyli bezwzględności długości przedziału czasu między dwoma dowolnymi zdarzeniami. Jak bowiem pamiętamy, klasyczna transformacja Galileusza zakłada istnienie absolutnego czasu, jednakowego we wszystkich układach inercjalnych ( $t = t'$ ), tzn. jeśli dwa zdarzenia zachodzą jednocześnie według zegara w jednym inercjalnym układzie odniesienia, to zachodzą one również jednocześnie według zegara w dowolnym innym inercjalnym układzie odniesienia. Wspomnianą sprzeczność można wyjaśnić na następującym przykładzie:

Jeśli w chwili początkowej  $t'_0 = t_0 = 0$ , z pokrywających się początków układów odniesienia  $W$  i  $W'$ , zostałaby wysłana (w próżni) sferyczna fala świetlna (z prędkością  $c$ ), to w chwili  $t > 0$  osiągnie ona w układzie odniesienia  $W$  punkty znajdujące się na powierzchni kulistej o środku w początku tego układu i promieniu  $r = ct$ . Natomiast w układzie  $W'$ , poruszającym się jednostajnie wzdłuż osi  $X$  i  $X'^{25}$ , zachowując zgodność z założeniami STW, w chwili  $t' = t$  światło osiąga punkty na sferze o takim samym promieniu ( $r = ct$ ) jak w układzie  $W$ , lecz ze środkiem w punkcie odległym o  $Vt$  od początku układu  $W$ . Oznaczałoby to, że impuls świetlny powinien jednocześnie osiągać punkty przestrzeni należące do dwóch różnych sfer. Połączenie postulatów STW z klasycznym wyobrażeniem o czasie bezwzględnym prowadzi więc do absurdu, zatem konieczne staje się wprowadzenie innego typu przekształceń<sup>26</sup>.

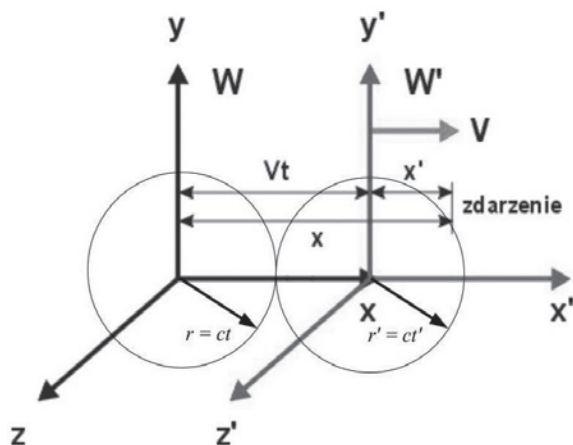
---

liczanymi do całkowicie odrębnych – jak uważano wcześniej – działów fizyki (np. elektromagnetyzm i optyka). Dlatego rozszerzono zakres ww. zasady z mechaniki na wszystkie dziedziny fizyki.

<sup>24</sup> Obecnie wartość  $c$  została wyznaczona (również z pomiarów elektromagnetycznych) z tak dużą dokładnością, że od 1983 r. za wzorzec długości (1 metra) służy już nie platynowo-irydowy pręt z Sèvres, ale droga, przebyta przez światło w próżni w czasie  $1/299\,792\,458$  sekundy. Por. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 r.

<sup>25</sup> Tor ruchu wzdłuż osi  $X$  i  $X'$  przyjmujemy dla prostoty wywodu, podobnie jak czyniliśmy przy transformacjach Galileusza. Występuje wtedy równość współrzędnych:  $y = y'$ ,  $z = z'$ , a poszukujemy jedynie różnicy między  $x$  i  $x'$ .

<sup>26</sup> Por. B. M. Jaworski, A. A. Dietlaf, Fizyka, s. 73-74.



Przedstawioną wyżej sytuację można opisać geometrycznie następująco: po czasie  $t$ , zmierzonym w układzie  $W$ , czoło fali będzie powierzchnią sferyczną o promieniu  $r = ct$ <sup>27</sup>. Równanie tej sfery (wzór, który ją opisuje) dla  $x_0 = x, y_0 = y, z_0 = z$  wygląda tak:  $x^2 + y^2 + z^2 = r^2 = c^2t^2$ . Dla obserwatora umieszczonego w układzie  $W'$  czoło tejże fali jest także sferą, lecz jej promień wy-

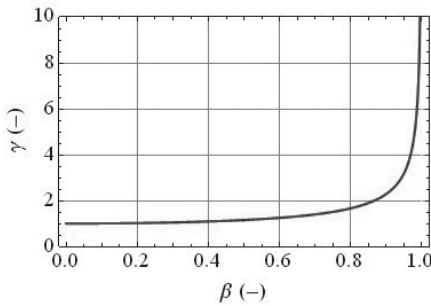
nosi  $r' = ct'$ . Zatem równanie tej sfery:  $x'^2 + y'^2 + z'^2 = r'^2 = c^2t'^2$ . Jak widać, w tym ostatnim równaniu oprócz primowanych współrzędnych przestrzennych, należało wprowadzić primowany czas  $t' \neq t$ . Dlaczego? Jeśli w obu układach inercjalnych  $W$  i  $W'$  prędkość światła ma być stała i ta sama, a zarazem promienie sfer  $r' \neq r$ , to sytuacja taka jest możliwa tylko w przypadku, kiedy  $t' \neq t$ . Wtedy spełniona zostaje równość:  $r/t = c = r'/t'$ .

Ponieważ ze względu na równości współrzędnych przestrzennych  $y = y'$  i  $z = z'$ , interesują nas tylko związki między  $x$  i  $t$  oraz  $x'$  i  $t'$ , to po przekształceniach (które tu pominiemy), otrzymujemy ostateczną postać poszukiwanych transformacji Lorentza (w wersji najprostszej, gdy zmienia się tylko jedna współrzędna przestrzenna):<sup>28</sup>  $x' = \gamma (x - Vt)$  oraz  $t' = \gamma (t - \beta x/c)$ , gdzie przyjęte współczynniki  $\gamma$  (tzw. współczynnik Lorentza) i  $\beta$  wynoszą odpowiednio:  $\gamma = (1 - V^2/c^2)^{-1/2}$  oraz  $\beta = V/c$ .

Dla cząstek, ciał, oddziaływań i sygnałów w przyrodzie (poza światłem w próżni), współczynnik Lorentza  $\gamma > 1$  (nie należy mylić współczynnika  $\gamma$  z kwantem promieniowania  $\gamma$  – fotonem!). Wykres zależności współczynnika  $\gamma$  od parametru  $\beta = V/c$ , która decyduje o wielkości efektów relatywistycznych, przedstawia załączony rysunek (obydwa współczynniki są oczywiście bezwymiarowe, tzn. nie posiadają jednostek). Z wykresu widać, że  $\gamma$  zaczyna się wyraźnie zwiększać dopiero dla  $\beta > 0,5$  (gdy  $V > 0,5c$ ). Natomiast dla  $V < 0,1c$  (a więc  $\beta < 0,1$ )  $\gamma \approx 1$ , w związku z czym opis zdarzeń może opierać się na wzorach fizyki nierelatywistycznej. Gdy jednak  $\beta \approx 1$ , tzn.  $V \approx c$ , współczynnik  $\gamma$

<sup>27</sup> Sferę w przestrzeni euklidesowej trójwymiarowej można określić intuicyjnie jako powierzchnię (tzw. brzeg) kuli, a ściślej jako zbiór punktów oddalonych o pewną zadaną odległość (promień sfery  $r$ ) od wybranego punktu (środek sfery o współrzędnych  $\{x_0, y_0, z_0\}$ ).

<sup>28</sup> Szczegółowe wyprowadzenia por. np. H. Piersa, *Podstawy fizyki*, cz. I, Lublin 2004, s. 118. Należy ostrożnie korzystać z różnych opracowań, w których transformacje Lorentza zostały podane błędnie, jak np. w J. Such, M. Szcześniak, *Ontologia przyrodnicza*, Poznań 2001 (s. 91 i 94 – zamiast cyfry 1 wydrukowano literę l / „el” – różnica czcionki dostrzegalna dopiero przy zapisie kursywą), czy w J. Przystawa, *Odkryj smak fizyki*, Warszawa 2011 (s. 246 – zamiast wzoru na współczynnik wydrukowano wzór na jego odwrotność).



zaczyna gwałtownie rosnąć, przez co wzrasta odstępstwo wyników od tych, które byłyby uzyskane według fizyki nierelatywistycznej (klasycznej).

Transformacje odwrócone otrzymuje się (co można łatwo sprawdzić) przez zamianę wielkości primowanych z nieprimowanymi, oraz zmianę znaku przed  $V$  i  $\beta$  na przeciwny (oczywiście nadal  $y = y'$  i  $z = z'$ ):  $x = \gamma (x' + Vt')$  oraz  $t = \gamma (t' - \beta x'/c)$ .

### Główne wnioski STW

Według STW, rozmiary przestrzenne i czasowe rozpatrywanych zdarzeń (ciał) zależą od prędkości, z jaką się poruszają. Podczas przejścia z jednego inercjalnego układu odniesienia do drugiego, zmieniają się współrzędne przestrzenne rozpatrywanych zdarzeń i ich współrzędne czasowe. Jedne nie są rozdzielone od drugich, jak w transformacjach Galileusza. Z STW można więc wyprowadzić kilka podstawowych wniosków o czasie i przestrzeni:

Po pierwsze, prędkość ruchu względnego dwóch układów odniesienia nie może być większa od prędkości światła w próżni ( $V \leq c$ ). Dla małych wartości prędkości ( $V \ll c$ , czyli  $\beta \rightarrow 0$ , zaś  $\gamma \rightarrow 1$ ) można przyjąć, że transformacje Lorentza przechodzą w transformacje Galileusza. Te ostatnie – i oparta na nich mechanika klasyczna – powstały bowiem przy założeniu natychmiastowości rozchodzenia się oddziaływań. Takie *przybliżone* podejście zachowuje swoją aktualność, ale tylko przy analizie ruchu ciał poruszających się wielokrotnie wolniej niż  $c$ . Zatem mechanika newtonowska stanowi szczególny przypadek STW w granicach małych prędkości<sup>29</sup>.

<sup>29</sup> Granicę między prędkością nierelatywistyczną ( $V \ll c$ ) a relatywistyczną (gdy współczynnik  $\beta = V/c \rightarrow 0$  można pominąć) należy rozumieć umownie. Decyzja zależy od dokładności dostępnej aparatury pomiarowej. Przy dysponowaniu b. dokładnym oprzyrządowaniem, nawet przy  $V = 0,1c$  można będzie stwierdzić poprawki relatywistyczne. Co do fizyki teoretycznej por. słowa L. Landaua: „W fizyce teoretycznej ogromną rolę spełnia przybliżony sposób podejścia do wielu zagadnień. Najściślej prawa są przede wszystkim przybliżeniem, chociaż [...] dokładność uzyskiwana za ich pomocą okazuje się bardzo duża [...]. Wystarcza bowiem, że istnieje jakikolwiek bądź zawczasu ustalony obszar zjawisk, w którym to dokładność rozpatrywanego prawa spełnia oczekiwane wymogi. Dlatego spokojnie przyjmujemy mechanikę newtonowską do opisu ruchu pocisku, chociaż wiadomo nie tylko, iż nie jest ona bezwzględnie ścisła, ale że do dyspozycji mamy też ściślejszą teorię, jaką jest mechanika relatywistyczna [...]. Określenie stopnia przybliżenia, z jakim dane zjawisko winno być rozpatrywane, jest nadzwyczaj istotnym czynnikiem w teoretycznym jego badaniu. Szczególnie poważnym błędem jest tu, na przykład, przeprowadzanie zbyt dokładnych obliczeń, uwzględniających wszelkie najdrobniejsze nawet poprawki, i posługiwanie się zbyt dokładnymi teoriami ogólnymi w sytuacji, kiedy to jednocześnie pomija się nieraz wielkości fizyczne znacznie większego rzędu”. L. Landau, J. Lifszic, *Mechanika*, Warszawa 2006, s. 197.

Po drugie, ciało, poruszające się jednostajnie prostoliniowo względem obserwatora, skraca względem niego swoją długość  $l$ , czyli wymiar równoległy do kierunku ruchu (wymiar poprzeczne pozostają niezmienione). Skrócenie (*kontrakcja*) jest tym większe, im większa jest prędkość ciała względem obserwatora (w granicy, gdy  $V \rightarrow c$ , wówczas  $l \rightarrow 0$ , zaś  $\gamma \rightarrow 0$ ), co oznacza, że dowolne ciało ma jednocześnie wiele długości (rozmiarów), zrelatywizowanych do różnych układów odniesienia. Rozmiar ciała, równoległy do ruchu, skraca się zgodnie ze wzorem:  $l = l_0 / \gamma$ , gdzie:  $l_0$  jest długością ciała w układzie spoczywającym,  $l$  – długością tego samego ciała mierzona w tym samym układzie poruszającym się z szybkością  $V$ <sup>30</sup>.

Po trzecie, tempo upływu czasu nie jest niezależne od obserwatora, ale stanowi funkcję prędkości ciała względem układu, przyjętego za nieruchomy. Inaczej mówiąc, czas mierzony zależy od prędkości, z jaką porusza się osoba mierząca (lub zegar). Czas w układzie poruszającym się zostaje wyrażony wzorem:  $t = \gamma t_0$ , gdzie  $t_0$  to czas w układzie spoczywającym,  $t$  – czas mierzony w tym samym układzie poruszającym się z szybkością  $V$ . Gdy ciało porusza się szybciej ( $V \rightarrow c$ ), czas się w nim „wydłuża”, płynąc (w nim) coraz wolniej ( $t \rightarrow \infty$ ). Przy prędkościach bliskich prędkości światła, wyraźnie występuje kinematyczne *zwolnienie (dylatacja) czasu*. Ze wzoru wynika również, że dla fal elektromagnetycznych, poruszających się z prędkością światła, czas nie istnieje (nie upływa – jednostka czasu wydłuża się w nieskończoność). To, że czas w poruszającym się obiekcie upływa wolniej, oznacza, że wszystkie procesy są w nim spowolnione w porównaniu z obiektem spoczywającym. Przy czym, jeśli prędkość  $V$  daje względny efekt spowolnienia czasu, to przyspieszenie a prowadzi do absolutnej (niezależnej od układu odniesienia) dylatacji czasu<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> Dla przykładu samolot myśliwski o długości 10 m, lecący z  $V = 3$  km/s, skraca się o ok. 5 Å, czyli długość odpowiadającą pojedynczej cząsteczce paliwa lotniczego. Wystąpienie skrócenia długości sprawdzono już kilkadziesiąt lat temu np. w liniowym akceleratorze elektronów w Stanford. Prędkość elektronów na wyjściu ma wartość 0,999975c i każdy metr długości rury akceleratora dla obserwatora poruszającego się z elektronem wyglądałby jak 7,1 mm. Gdyby nie wzięto tego pod uwagę, urządzenia takie by nie działały. Por. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, Warszawa 2001, t. 1, s. 661. Efekt relatywistyczny dotyczy też zmiany kształtu i zmniejszenia objętości poruszającego się ciała (np. kula w ruchu ulega spłaszczeniu, przybierając kształt elipsoidy obrotowej).

<sup>31</sup> Spopularyzowano to w antropocentrycznych paradoksach. Paradoks bliźniąt: jeśli bliźniak nr 1 wyrusza w podróż kosmiczną, doznaje efektu absolutnej dylatacji czasu – wszystkie procesy fizyczne, biologiczne i psychiczne są w nim spowolnione i po powrocie będzie młodszy od bliźniaka nr 2. Paradoks ojca i syna: ojciec wyrusza w taką (jak wyżej) podróż (mając np. 40 lat), gdy urodził mu się syn (0 lat). Zakładając, że czas ojca płynął np. 10 razy wolniej niż synowi, to po 100 ziemskich latach, syn ma 100 lat (0 + 100), a ojciec 50 lat (40 + 10). Czemu jednak to właśnie podróżnik (bliźniak, ojciec) staje się młodszy od tego, kto pozostał na Ziemi, jeśli obaj poruszali się względem siebie? Z powodu nieinercyjnego (wyróżnionego) ruchu podróżnika (doznawanych przyspieszeń, zawrócenia). Tu też pojawia się zagadnienie podróży w czasie (tam i z powrotem – tzw. wehikuł Wellsa), poruszane w utworach science-fiction. Otóż na pewno możliwa jest podróż w przeszłość. Jak dotąd najdłuższą odbył Siergiej Krikałow, który spędził 784 dni w stacji Mir. Z powodu jej prędkości i czasu pobytu, wybiegł on w przyszłość o ok. 0,02 s względem ludzi na Ziemi. Do niedawna uważano, że w STW czas może płynąć szybciej lub wolniej, a nawet się zatrzymać, lecz nie może biec do tyłu. Jednak okazało się, że także podróż w przeszłość teoretycznie nie jest wykluczona



Oprócz wniosków STW dotyczących czasu i przestrzeni, efekty relatywistyczne odnoszą się także do masy i energii, ale wątek ten nie jest ściśle związany z tematem naszego opracowania. Natomiast trzeba nadmienić, że prawa STW zostały bardzo dobrze potwierdzone eksperymentalnie. Najczęściej przytacza się tu przykład *promieniowania kosmicznego* – strumienia cząstek, „bombardujących” Ziemię z prędkościami sięgającymi  $0,99c$ . Na wysokości ok. 10 km nad powierzchnią Ziemi zderzają się one z cząstkami powietrza i ulegają rozpadowi. Wśród produktów rozpadu znajdują się cząstki zwane *mezonami  $\mu$*  (mionami). Ich średni czas życia wynosi  $2,2 \cdot 10^{-6}$  s (potem ulegają rozpadowi). Łatwo wyliczyć, że poruszając się z prędkością o wartości  $V \approx c$ , miony zdążyłyby przebyć drogę zaledwie ok. 600 m. A jednak docierają one do powierzchni Ziemi (są rejestrowane przez odpowiednie detektory), co potwierdza prawa STW. Mion porusza się względem układu odniesienia związanego z Ziemią, co oznacza, że względem tego układu „zegar” mionu idzie wolniej – według jego wskazania średni czas życia mionu wynosi  $1,5 \cdot 10^{-5}$  s. A taki przedział czasu wystarcza, by mion zdążył pokonać odległość 10 m<sup>32</sup>.

W 1971 r. wykonano eksperyment, w którym zastosowano dwa identyczne zegary atomowe (cezowe). Jeden z nich umieszczono w samolocie poruszającym się z szybkością 1200 km/h, drugi pozostał na Ziemi. Po 15 godzinach lotu zaobserwowano opóźnienie zegara w samolocie o  $4,7 \cdot 10^{-8}$  s względem drugiego zegara, która to wartość odpowiadała przewidywaniom STW. Oprócz ww. obserwacji, prawa STW sprawdzane są w codziennej pracy fizyków wysokich energii, którzy w akceleratorach przyspieszają cząstki elementarne do prędkości  $V \approx c$ . Gdyby nie uwzględniano efektów relatywistycznych, wyniki eksperymentów nie zgadzałyby się z teoretycznymi przewidywaniami. Zjawiska związane z dylatacją czasu stają się też istotne w przypadku niektórych technologii, np. elektroniki, nanotechnologii lub techniki satelitarnej (np. w systemach nawigacji, typu GPS).

## Geometryzacja STW

STW znacznie zmieniła sposób patrzenia na przestrzeń oraz na czas, który utracił charakter absolutny. Relatywne stało się pojęcie absolutnej równoczesności – zdarzeń równoczesnych nie można już uważać za takie dla wszystkich obserwatorów (niezależnie od układu odniesienia). W obliczu utrudnionego rozwiązywania konkretnych problemów powstało pytanie: czy da się przedstawić STW w takiej postaci, która nie zależałaby od wyboru inercjalnego układu

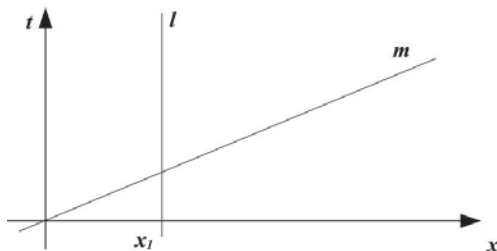
---

(mogłyby odbywać się np. z pomocą tzw. pętli czasowych Gödla /1949/ lub wormholes Morrisa i Thorna /1988/), przy czym rodzi ona sporo problemów rozmaitego typu (technicznego, filozoficznego).

<sup>32</sup> Jednym z krytyków STW był H. Bergson (*Durée et simultanéité. A propos de la theorie d'Einstein*, Paris 1922), który (analogicznie do stawianych przez siebie zarzutów) sformułowałby następujący dylemat: Wiążąc układ odniesienia z mionem, będzie on spoczywał, a Ziemia popędzi w jego stronę z szybkością  $V \approx c$ . Wówczas zegary na Ziemi powinny iść wolniej, co prowadzi do sprzeczności (ten sam zegar raz idzie wolniej, a raz szybciej). Bergson nie wziął jednak pod uwagę efektu kontrakcji długości, który należałoby wówczas uwzględnić: odległość Ziemia – mion (10 km) skraca się do ok. 600 m i mion zdążyłby tę drogę przebyć w czasie, wskazywanym przez jego „zegar” ( $2,2 \cdot 10^{-6}$  s).

odniesienia? Pozytywnej odpowiedzi udzielił H. Minkowski (1907), nadając STW formułę geometryczną: do przestrzeni, rozumianej jako zbiór punktów o współrzędnych  $(x, y, z)$ , gdzie  $x, y, z$  to odległości od trzech osi wybranego układu współrzędnych, dodał czwartą współrzędną  $t$  – czas zdarzenia. W ten sposób zdarzenie może być zdefiniowane przez cztery współrzędne  $(t, x, y, z)$ , a zbiór wszystkich możliwych zdarzeń nazwano (czterowymiarową) *czasoprzestrzenią*. Podstawową zaletą tego podejścia jest to, iż zagadnienia ruchu sprowadzono do *geometrii krzywych* w czasoprzestrzeni<sup>33</sup>.

Zamieszczony wykres przedstawia układ współrzędnych  $(t, x)$  w dwuwymiarowej czasoprzestrzeni Minkowskiego (w której dla uproszczenia pominięto wymiary  $y$  i  $z$ ). Oś pionowa ilustruje wzrastający czas  $t$  (do góry), zaś wymiar przestrzenny  $x$  (położenie ciała) zaznaczony jest jako oś pozioma. Krzywa  $l$  w tym układzie przedstawia tzw. *historię ciała* (którego modelem jest punkt materialny). Łatwo zauważyć, że ciało to spoczywa w układzie odniesienia, odpowiadającym rozważanemu układowi współrzędnych (mimo upływu czasu  $t$ , ciało zawsze znajduje się w punkcie  $x_1$ ). Z kolei krzywa  $m$  przedstawia historię ciała poruszającego się jednostajnie względem rozważanego układu współrzędnych. Odkładając równe odcinki na osi  $t$  łatwo sprawdzić, że odpowiadają im równe odcinki przebytej drogi na osi  $x$ . Proste  $l$  i  $m$  nie przedstawiają torów, jakie zakreślają ciała w przestrzeni, lecz informacje o tym, w jakim punkcie przestrzeni dane ciało znajdowało się w danej chwili. Dlatego właśnie można te informacje nazwać historiami ciał (używa się również pojęcia *linii świata* ciał)<sup>34</sup>.



W przeciwieństwie do transformacji Galileusza, gdzie niezmiennikiem jest czas i odległość w przestrzeni, w transformacji Lorentza zachowany jest interwał (odległość zdarzeń w czasoprzestrzeni), podczas gdy wielkość jednostki czasu i odległości zależy od prędkości układu odniesienia. Natomiast stałość interwału czasoprzestrzennego

oznacza, że pomiar odległości między dwoma zdarzeniami w czasoprzestrzeni dla zawsze taki sam wynik, niezależnie od prędkości, z jaką porusza się obserwator zdarzeń (oraz źródło sygnału świetlnego). Wyobrażając sobie model trójwymiarowy czasoprzestrzeni (dwuwymiarowa powierzchnia i jeden wymiar

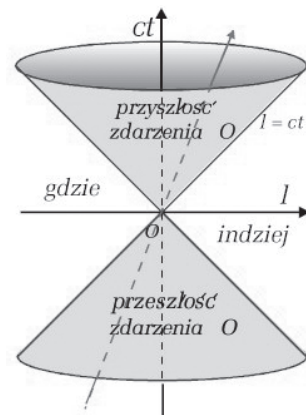
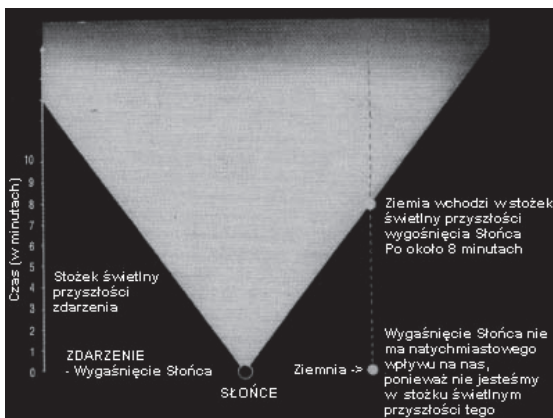
<sup>33</sup> Czasoprzestrzenność nie oznacza tożsamości czasu i przestrzeni. Pozostają między nimi pewne różnice: czas jest jednowymiarowy, przestrzeń trójwymiarowa, czas jest anizotropowy (ma wyróżniony kierunek), przestrzeń izotropowa (w skali globalnej wszystkie kierunki są równoważne, „dół” i „górze” wyróżnia się jedynie lokalnie, np. na planecie).

<sup>34</sup> W celu wybrania innego układu odniesienia, gdzie np.  $l$  nie będzie równoległa do osi  $t$  (a więc nie będzie w spoczynku), wystarczy obrócić o odpowiedni kąt poprzedni układ odniesienia (wokół jego początku). Z kolei aby  $m$  przedstawiała spoczynek, należy wybrać taki układ odniesienia, którego oś czasu jest równoległa do  $m$ . Por. M. Heller, T. Pabjan, *Elementy filozofii przyrody*, Tarnów 2007, s. 48.

czasu /niekiedy pomnożonego przez stałą  $c$ , by ujednoczyć jednostki/), otrzymamy dwa współwierzchołkowe stożki, zwane w fizyce stożkiem świetlnym (light cone). W stożku odwróconym (górnym) wierzchołek wyznaczony jest przez miejsce i czas rozchodzącego się sygnału świetlnego  $O$ . Dolny stożek zostaje utworzony ze zdarzeń, z których wysłany sygnał mógł dotrzeć do wierzchołka  $O$ . Stożki te dzielą czasoprzestrzeń na 3 regiony: (1) przyszłość (absolutną) zdarzenia – zbiór wszystkich zdarzeń, na które może oddziaływać sygnał  $O$  w danej chwili; (2) przeszłość (absolutną) zdarzenia – zbiór tych zdarzeń, z których wysłany sygnał mógł dotrzeć do  $O$ ; oraz (3) obszar „gdzie indziej” (elsewhere), którego zdarzenia nie mogły wpłynąć na  $O$  i wzajemnie. Przykładowo, gdyby Słońce przestało świecić dokładnie w tej chwili, nie miałoby to żadnego wpływu na obecne losy Ziemi, bo znajduje się ona w elsewhere tego wydarzenia<sup>35</sup>.

### Rozumienie relatywistyki

STW stała się obiektem różnorodnych sporów filozoficznych, np. używano jej dla obrony (neo) kantyzmu (L. Brunschwig, E. Cassirer). Ponieważ według doktryny Kanta podmiot poznający „wyciska” swoje subiektywne cechy na każdej obiektywnej danej, podobnie każdy obserwator miałby „nakładać” na czasoprzestrzeń swój czas i swoją przestrzeń (rozkład czasoprzestrzeni na czas i przestrzeń byłby dla każdego obserwatora jego „kategorią”). Potwierdzeniem tej doktryny miałyby być dylatacje (długości, czasu) i względność równoczesności. Ponadto na STW powoływali się niektórzy zwolennicy relatywizmu teoriopoznawczego (prawda miałaby zależeć od okoliczności jej poznawania), co wskazuje na niezrozumienie STW bądź ekstrapolowanie na niezgodne z nią doktryny filozoficzne. Stwierdzenie, że pewną wielkość fizyczną należy mierzyć względem wybranego układu odniesienia, jest stwierdzeniem obiektywnym, nie mającym nic wspólnego z relatywizmem prawdy. Oto krytyczne uwagi Einsteina pod adresem kantowskich interpretacji STW: „Filozofowie wywarli szkodliwy wpływ na rozwój myśli naukowej, przenosząc niektóre podstawowe pojęcia



<sup>35</sup> Ilustrację stożka świetlnego zaczerpnięto z S. W. Hawking, Krótka historia czasu, Warszawa 2000, s. 36-37.

z dziedziny doświadczenia, gdzie znajdują się one pod naszą kontrolą, na niebotyczne wyżyny aprioryzmu. Nawet jeśli się okaże, że świata idei nie można wydedukować z wrażeń na drodze czysto logicznej, że jest on w pewnym sensie tworem umysłu ludzkiego, bez którego nie ma nauki, to mimo wszystko świat idei będzie zawsze równie mało niezależny od naszych doświadczeń jak odzież – od kształtu ludzkiego ciała. W szczególności jest to prawdziwe w odniesieniu do pojęć czasu i przestrzeni, które fizycy pod wpływem faktów musieli zdjąć z Olimpu rzeczy a priori, uściślić je i przystosować do obecnych potrzeb<sup>36</sup>.

Nie można więc mówić, że według STW „wszystko jest względne”, co oznaczałoby akceptację sprzeczności. Przeciwnie, w STW fundamentalną rolę odgrywają wielkości bezwzględne (niezmienniki), niezależne od wyboru układu odniesienia: prędkość światła, prawa fizyki i czasoprzestrzeń: „Rezultaty najprostszych obliczeń wykazują, że długość odstępu czasu i prędkość (poza  $c$ ) nie mają charakteru absolutnego, lecz zależne są od układu odniesienia, w którym je rozpatrujemy. Może to wywołać wrażenie, że najważniejszą sprawą w teorii względności jest względność tych pojęć [...]. Kosztem względności pewnych podstawowych wielkości osiągamy niezmiernie ważny cel – niezmienność równań opisujących zjawiska fizyczne we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Teoria względności mogłaby się więc nazywać teorią niezmienności praw fizycznych we wszystkich inercjalnych układach odniesienia<sup>37</sup>.”

### Zakończenie

Problematyka czasu interesuje wielu ludzi. Potoczne doświadczenie (upływu) czasu (w różnych skalach historii) stało się podstawą niezwykle istotnych dociekań filozoficzno-przyrodniczych<sup>38</sup>. Podstawowe aspekty zagadnienia, poruszone w niniejszym tekście, wskazują na złożoność i często nieintuicyjność wniosków płynących zarówno z analiz zjawisk temporalnych, jak i czasu w ogóle. Wychodząc od psychologicznych konstatacji czasu w kontekście zmienności, omówiliśmy dwie wiodące interpretacje zjawiska: teorię czasu absolutnego

<sup>36</sup> A. Einstein, *Istota teorii względności*, Warszawa 1958, s. 8-9.

<sup>37</sup> W. E. Kresin (red.), *Fizyka klasyczna i jądrowa*, s. 79. Por. S. Mazierski, *Relatywizm epistemologiczny a relatywizm szczególnej teorii względności*, „Roczniki Filozoficzne” 10 (1962) z. 3, s. 5-36; por. „Czasami uważa się błędnie, że teoria względności A. Einsteina prowadzi do relatywizmu epistemologicznego. Takie przekonanie wpływa z niezajomości teorii względności i z błędnego poglądu, że podobieństwo zewnętrzne wyrażen wskazuje na podobieństwo znaczeń. W teorii względności jako podstawowe założenie przyjmuje się, że prawa fizyki są stałe, niezmiennie i obowiązują w całym wszechświecie, oraz że prędkość światła jest stała, niezależna od tego, czy jego źródło porusza się, czy pozostaje w spoczynku. Z tych założeń dopiero wnioskuje się dedukcyjnie, że czas, przestrzeń i masa zmieniają się w ruchu, a więc ich pomiary dokonane przez obserwatora nieruchomego różnią się od pomiarów przeprowadzonych przez obserwatora, który się porusza. Istnieją ściśle prawa matematyczne precyzujące te zależności”. T. Rutowski, *Relatywizm szczególnej teorii względności a relatywizm epistemologiczny*, „Studia Philosophiae Christianae” 3: 1967 nr 1, s. 139-149.

<sup>38</sup> Por. jedną z najnowszych monografii o czasie w języku polskim: J. Gołosz, *Upływ czasu i ontologia*, Kraków 2011.

i teorię czasu relacyjnego. Jak się okazuje, to właśnie ta druga (leibnizowska) wydaje się obecnie bardziej niż pierwsza (newtonowska) odpowiadać temu, czym jest czas w odniesieniu do innych parametrów (np. współrzędnych przestrzennych). Wnioski z odkrytych w XX wieku teorii relatywistycznych zostały potwierdzone empirycznie. Ważniejsze z wniosków zostały wskazane w artykule. Relatywizm – oparty choćby o szczególną teorię względności – nie ma jednak nic wspólnego z relatywizmem epistemologicznym, aczkolwiek STW przemawia często do wyobraźni, prowokując zupełnie arbitralne interpretacje. Przeciwnie, założenia STW na temat stałości określonych parametrów, przemawiają za tym, by teoria była nazywana raczej „teorią stałości”.

### Summary

This article discusses some aspects of time – one of main problem in the philosophy of nature and physics. The author discusses the ancient (Greek) concept of time, understood in its dual aspect as: (1) *chronos* – qualitative intervals and (2) *kairos* – quality events. Then shows the relationship of time with the movement of Plato and Aristotle (“Time is the amount of movement due to the ‚before’ and ‚after’”). Subsequently, attention is drawn to the parallelism of time and change, the methods of measuring time, controversy: supporters commonsense theory of absolute time (e. g. Newton) vs. supporters theory of relational time (e. g. Leibniz). The latter theory has expanded in connection with the achievements of the special theory of relativity (STR). The article presents genesis and conclusions of STR (the principle of relativity and the Galilean transformations, Einstein’s postulates, Lorentz transformations, relativistic effects). At the end, the article reveals the geometrization of STR (Minkowski spacetime, cone of light) and the correct understanding of relativity.