

O alternatywnej interpretacji szczególnej teorii względności

Józef Kajfosz (emeryt)

Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego, 31-342 Kraków

Streszczenie: Przedstawiono w zarysie alternatywną do standardowej, lorentzowską wersję szczególnej teorii względności. Pokazano, że jeśli w interpretacji materiału doświadczalnego, dotyczącego ruchów inercjalnych, stosować prostą zasadę zgodności pomiarów, znaną i oczywistą dla każdego eksperymentatora, prowadzi to prostą drogą do sformułowania względności w ujęciu Lorentza, obejmującej zarówno zasadę względności i transformację Lorentza, jak i wyróżniony stan ruchu inercjalnego oraz efekty związane z ruchem absolutnym.

On the alternative interpretation of special relativity

Abstract: A short outline of the alternative, lorentzian version of special relativity is presented. It is shown that a simple principle of consistency of measurements, familiar and obvious to every experimentalist, when applied in the interpretation of experimental evidence about inertial motion, leads straightforward to the Lorentzian formulation of relativity which involves both the principle of relativity and Lorentz transformation and also a privileged state of motion and effects related to absolute motion.

1. Wstęp

Odkrycie zasady względności na początku XX wieku było niewątpliwie wydarzeniem historycznym, które w sposób istotny wpłynęło na cały dalszy rozwój fizyki. Dzisiaj jest ona ogólnie akceptowana i jej podważanie uchodzi słusznie za niedopuszczalne, nie mające żadnego uzasadnienia w materiale doświadczalnym. Jeśli jednak chodzi o całościowy obraz uwarunkowań i implikacji tej zasady, to można wyraźnie wyodrębnić dwa nurty. Ścierały się one z sobą w gorących dyskusjach na początku stulecia i ścierają się stale jeszcze, choć obecnie dzieje się to prawie wyłącznie za kulisami sceny fizycznej. Pierwszy nurt, radykalny, formalistyczny zainicjowały w roku 1905 niezwykle śmiało, rewolucyjne postulaty Einsteina, podnoszące zasadę względności za jednym zamachem do rangi centralnego aksjomatu, któremu w sposób absolutny podporządkowane być winno wszystko inne. Drugi nurt, ewolucyjny, konstrukcyjny, posługujący się ostrożną dedukcją na bazie ogólnie akceptowanych wtedy zasad, reprezentowany przez prace takich fizyków jak Poincaré, Lorentz, Abraham czy Langevin, był kontynuacją długotrwałych i żmudnych poszukiwań empiryczno-teoretycznych, trwających całe dziesięciolecia, w trakcie których do przyjęcia zasady względności i zrozumienia jej roli dochodziło się stopniowo, z oporami i zastrzeżeniami, przy zachowaniu klasycznego aparatu pojęciowego i klasycznej metodologii badań.

Zwyciężył nurt radykalny w tym sensie, że to prace Einsteina spopularyzowały zasadę względności i wywołały ogólną fascynację tą zasadą i to w chwili, kiedy zwolennicy nurtu klasycznego dochodzili dopiero z wolna do rozstrzygających wniosków. Dlatego zasadę tę związane powszechnie ze sformułowaniami einsteinowskiej szczególnej teorii względności (STW), co pozostawiło nieco późniejsze ujęcie lorentzowskie całkowicie w cieniu.

Niemniej jednak nie ulega wątpliwości, że zwolennicy ostrożnej drogi konstrukcyjnej doszli niebawem także do celu i jeśli nie wcześniej, to na pewno w roku 1910 istniała już lorentzowska interpretacja zjawisk związanych z ruchem inercjalnym w całościowej, zamkniętej postaci, zgodna z zasadą względności i akceptująca tę zasadę, lecz wolna od wszelkich zaskakujących innowacji epistemologicznych, właściwych podejściu Einsteina [1]. W wyniku tego faktu znaczna, jeśli nie większa część tych, którzy w tym żmudnym procesie poznawczym uczestniczyli lub go wnikliwie śledzili, zachowała powściągliwość w stosunku do sformułowań Einsteina, przychylając się raczej do względności w ujęciu Lorentza.

W późniejszym okresie względność w ujęciu Einsteina i Minkowskiego całkowicie zdominowała nauczanie fizyki i fizyczną opinię publiczną, nigdy jednak nie przestali pojawiać się coraz to nowi zwolennicy względności w ujęciu Lorentza po prostu dlatego, że zachowując w analizie faktów doświadczalnych klasyczny aparat pojęciowy, dochodzili oni metodą dedukcyjną niezależnie, często nie wiedząc nawet o tym, do interpretacji względności w ujęciu Lorentza. Spośród późniejszych przedstawicieli tego nurtu wymienić można takie nazwiska jak Ives [2], Builder [3], Dingle [4], Prokhovnik [5], Jánossy [6], Sjödin [7], Podlaha [8], Grøn [9], w Polsce zaś względnością w ujęciu Lorentza zajmowali się między innymi Frejtlak [10], Grabińska [11], Czerniawski [12] i autor niniejszego artykułu [13].

Niestety wzajemne kontakty przedstawicieli obu nurtów i ich rezultaty w żadnym wypadku nie stanowią chlubnej karty w historii dociekań naukowych. Do merytorycznych dyskusji dochodzi niezmiernie rzadko, a i w tych nielicznych przypadkach brak z reguły jakiegokolwiek postępu na drodze wzajemnego zrozumienia. Dominują wzajemne zarzuty, zjadliwe ataki albo postawa poczucia własnej wyższości i pogardy dla strony przeciwnej. Można by powiedzieć, że cały problem bierze się stąd, iż fizyka, mimo że uważana jest za naukę ścisłą, nie posiada swojej bazy aksjomatycznej. Gdyby podobnie jak w matematyce czy geometrii taka istniała, skutki proponowanych przez Einsteina zmian można byłoby od razu dokładnie prześledzić, co położyłoby kres długotrwałym sporom.

Obserwując ten stan rzeczy i śledząc niektóre prowadzone w przeszłości dyskusje (w szczególności słynny pojedynek prasowy Dingle – McCrea, do którego liczne odnośniki znajdują się w pracy bibliograficznej [14]), można dojść do wniosku, że przyczyną tak głębokiego impasu i braku wspólnego języka są różnice w bardzo fundamentalnych, często nie sprecyzowanych wyraźnie założeniach, przesłankach, terminach czy pojęciach, w wyniku których punkty wyjścia i sposoby rozumowania w obu przypadkach tak bardzo się różnią, iż konstruktywna wymiana zdań staje się prawie niemożliwa. Wynika z tego, że przełamanie impasu mogłoby ewentualnie nastąpić w wyniku sprecyzowania tych fundamentalnych założeń wyjściowych, pozwalającego na możliwie dokładne zlokalizowanie punktu rozgałęzienia się toku rozumowania na dwa odrębne tory, które mimo iż biorą swój początek w tej samej bazie empirycznej i takim samym jej matematycznym opisie, kończą się w odległych, niemalże przeciwstawnych punktach gdy chodzi o końcowe wnioski co do charakteru ruchu inercjalnego i sposobu wyjaśnienia obserwowanych zjawisk z nim związanych.

Artykuł niniejszy jest próbą takiego przedstawienia względności w ujęciu lorentzowskim, które umożliwiłoby:

- a) poznanie i zrozumienie w głównym zarysie treści tego ujęcia,

b) prześledzenie głównych założeń wyjściowych i sposobu dochodzenia do wyników końcowych,

c) podjęcie dyskusji lub polemiki merytorycznej przez zakwestionowanie konkretnych założeń, przesłanek, stwierdzeń czy wniosków.

W swojej pierwszej wersji artykuł niniejszy powstał na przełomie lat 1983 i 1984 i skierowany został do opublikowania w „Postęпах Fizyki”. Niestety, jak zwykle w takich przypadkach, recenzent, relatywista, nie zalecił jego opublikowania. Zamiast tego napisał własny artykuł na ten sam temat [15], przedstawiając w nim często powtarzaną tezę relatywistów o niepodważalności standardowej interpretacji STW i o nie istnieniu do niej żadnej alternatywy. W artykule tym zabrzmiały też wyraźne „zimnowojenne” akcenty pod adresem „poprawiaczy” STW, te same, z którymi można się spotkać bardzo często w wypowiedziach relatywistów. Trzeba było ponad trzech lat wysiłków, zanim udało się opublikować krótką notatkę [16], prostującą niektóre jego tezy.

Niemniej jednak pojawiają się oznaki stopniowej, powolnej zmiany klimatu wokół zagadnień interpretacyjnych STW. Temat ten jest ostatnio częściej podejmowany, co prawda ciągle jeszcze rzadziej przez fizyków niż przez filozofów nauki, pozwala to jednak żywić nadzieję, że zwycięży w końcu przekonanie, iż istnieje tu obiektywny, ciekawy problem, wymagający rzetelnego i dogłębnego potraktowania, czego od dawna domagają się zwolennicy podejścia alternatywnego, a przed czym do niedawna tak uporczywie bronili się zwolennicy podejścia standardowego.

Aby jednak nie tracić czasu na bezowocne wyważanie otwartych drzwi, wydaje się potrzebne podkreślić jak najwyraźniej:

a) Mowa jest o koncepcji, która obejmuje zasadę względności i transformację Lorentza, w wyniku czego jest ona pod względem matematycznym i pod względem empirycznym nieodróżnialna od standardowej, einsteinowskiej interpretacji STW. W związku z tym powoływanie się na jakieś eksperymenty, które rzekomo ją obaliły, jest nieporozumieniem. Argumenty tego typu dotyczą zazwyczaj jakichś krótkotrwałych, przejściowych hipotez roboczych na drodze do ostatecznej postaci tej interpretacji, ale w żadnym wypadku nie mogą dotyczyć tej ostatniej.

b) Nie wydaje się celowe polemizowanie z tymi, którzy uporczywie utrzymują, że prócz standardowej interpretacji STW żadna inna koncepcja zdolna wyjaśnić wszystkie fakty doświadczalne nie istnieje, gdyż twierdzenie takie może wynikać wyłącznie z ignorancji lub nieuczciwości. To prawda, że alternatywna koncepcja lorentzowska nie jest powszechnie znana, nie usprawiedliwia to jednak jej ignorowania.

c) „Obalenie” stwierdzeń zawartych w niniejszym artykule nie może polegać wyłącznie na orzeczeniu, że są błędne, ponieważ są niezgodne z postulatami Einsteina lub innymi sformułowaniami standardowej interpretacji STW. Taka metoda „dowodzenia”, mimo iż szeroko stosowana (można by to wykazać w oparciu o bogaty materiał) jest jednak z oczywistych powodów nie do przyjęcia gdy chodzi o ocenę koncepcji, która ma być alternatywą danej koncepcji (choć niektórym zwolennikom nurtu formalistycznego będzie zapewne bardzo trudno oderwać się od takiego podejścia do sprawy).

2. Właściwości obiektów fizycznych i ich opisy

Do celów niniejszego artykułu zdefiniujmy fizykę jako naukę o właściwościach obiektów fizycznych i prawach nimi rządzących. Obiekt fizyczny jest to dowolny przedmiot lub układ przedmiotów materialnych, na przykład pręt, zegar, interferometr Michelsona, atom, laboratorium, człowiek, układ słoneczny itp. Właściwościami obiektu fizycznego są wielkości fizyczne, charakteryzujące ten obiekt, jak np. jego długość lub inne rozmiary, prędkość poruszania się części obiektu względem siebie, okres obiegu, częstotliwość drgań, czas przelotu ciała lub sygnału między poszczególnymi częściami obiektu itp.

Aby otrzymać opis jakiejś właściwości obiektu fizycznego, konieczne są pomiary, oparte o pewne założenia. Na przykład, jeśli obiektem będzie pręt, a badaną właściwością długość tego pręta, to dla opisu tej właściwości potrzebne będzie wprowadzenie jednostki długości, założeniem będzie więc przyjęcie wzorca długości i nadanie mu nazwy.

Po przyjęciu niezbędnych założeń możliwy jest pomiar danej wielkości, którego wynikiem jest opis danej właściwości. W naszym przykładzie, jeśli założeniem jest pewna definicja metra, to pomiar polegać będzie na ustaleniu stosunku długości pręta do długości metra, zaś opis długości l pręta przyjmie wtedy postać np.

$$l = 5 \text{ metrów.} \quad (1)$$

Przypuśćmy teraz, że dwie osoby, A i B badają niezależnie od siebie długości dwóch różnych prętów L i M , i otrzymują w wyniku następujące opisy:

$$l_{LA} = 5 \text{ metrów, } l_{MB} = 5 \text{ metrów.} \quad (2)$$

Pierwszy z tych opisów jest opisem długości pręta L otrzymanym przez osobę A , drugi — opisem długości pręta M otrzymanym przez osobę B .

Opisy te chcemy teraz wykorzystać do porównania długości obu prętów. Natychmiast widać, że jednakowe są otrzymane opisy obu tych długości. Czy jednak oznacza to automatycznie, że oba pręty mają taką samą długość? Aby móc wyciągnąć z otrzymanych opisów taki wniosek, trzeba się jeszcze upewnić, czy pojęcie metra oznacza dla obu osób to samo, czyli czy obie osoby użyły w swoich pomiarach i opisach tych samych założeń. Gdyby bowiem tak nie było, to mimo formalnej zgodności otrzymanych opisów byłyby one z sobą nieporównywalne, co uniemożliwiłoby wyciągnięcie poprawnych wniosków co do wzajemnej relacji długości obu prętów.

Z powyższego elementarnego rozważania wynikają następujące ogólne wnioski:

Istnieje zasadnicza różnica między właściwością obiektu fizycznego a opisem tej właściwości. Właściwość obiektu fizycznego jest obiektywnym elementem rzeczywistości, niezależnym od obserwatora ani od sposobu pomiaru czy obserwacji. Opis właściwości obiektu fizycznego natomiast zawiera zarówno elementy obiektywne, jak i elementy umowne, konwencjonalne, w pewnym sensie i w pewnym stopniu subiektywne, zależne od obserwatora i sposobu pomiaru czy obserwacji, pochodzące z przyjętych przez niego założeń. Formalna równość opisów właściwości nie jest warunkiem wystarczającym fizycznej równości opisywanych właściwości. Odpowiadające sobie właściwości dwóch różnych obiektów fizycznych są jednakowe w sensie

fizycznym tylko wtedy, jeśli jednakowe są ich opisy, uzyskane w wyniku pomiarów, przeprowadzonych przy zastosowaniu tych samych założeń.

Występujący powyżej przymiotnik „formalny” używany będzie dalej w tym właśnie znaczeniu, jako „oparty o jednakowe ciągi liczb” bądź też „dający liczbowo te same wyniki” bez względu na okoliczność, czy chodzi o liczby w sensie fizycznym z sobą porównywalne.

Przedstawioną tu zasadę nazwijmy zasadą zgodności pomiarów albo też zasadą porównywalności wyników pomiarowych. Ujmując krótko mówi ona, że aby opisy otrzymane w wyniku pomiarów były z sobą porównywalne, muszą być wynikiem pomiarów ze sobą zgodnych, aby zaś pomiary były ze sobą zgodne, muszą być oparte o jednakowe założenia.

Ważnym wnioskiem szczegółowym, wynikającym z tej zasady, który wykorzystamy w dalszych rozważaniach, jest to, że jeśli pomiary są ze sobą zgodne (czyli ich założenia jednakowe), to otrzymane w ich wyniku opisy tej samej obiektywnej rzeczywistości (tj. tej samej właściwości tego samego obiektu w tych samych warunkach fizycznych) muszą być jednakowe. Jeśli dwa opisy tej samej obiektywnej rzeczywistości (tj. tej samej właściwości tego samego obiektu w tych samych warunkach fizycznych) nie są jednakowe, jest to dowodem niezgodności pomiarów, (czyli istnienia jakichś różnic w poczynionych założeniach), czyli nieporównywalności otrzymywanych w ich wyniku opisów (ciągów liczb).

Jak najprościej sprawdzić zgodność pomiarów obu osób A , B , które mierzyły długości wspomnianych prętów L , M ? Wystarczy zlecić osobie A wykonanie pomiaru i sporządzenie opisu długości pręta M albo osobie B wykonanie pomiaru i sporządzenie opisu długości pręta L . Jeśli wyniki otrzymane przez obie osoby dla tego samego pręta, a więc bądź opisy l_{LA} i l_{LB} , bądź też opisy l_{MA} i l_{MB} nie będą jednakowe, będzie to dowodem niezgodności pomiarów spowodowanej jakimiś różnicami założeń, a zatem nieporównywalności między sobą tych opisów. Jeśli natomiast pary opisów dla tego samego pręta okażą się jednakowe, uznamy to za argument przemawiający na rzecz zgodności pomiarów, a zatem i założeń obu osób, co uprawdopodobnia wniosek, że długości obu prętów są istotnie jednakowe:

$$l_L = l_M . \quad (3)$$

Z tego, co powiedzieliśmy, wynika całkiem oczywista konieczność wnikliwego odróżniania w badaniach i rozważaniach fizycznych opisów właściwości od samych właściwości oraz konieczność starannego doboru i wnikliwego śledzenia założeń, będących podstawą opisów. Bez tego łatwo bowiem o wymieszanie elementów obiektywnych i umownych, zawartych w wynikach badań, i dochodzenie do fałszywych, niezgodnych z rzeczywistością wniosków, dotyczących obiektywnych właściwości obiektów fizycznych.

Rozważania powyższe wyglądają jak wyjęte z podręcznika fizyki dla szkół podstawowych, okazuje się jednak, że nawet w ważnych stwierdzeniach, uważanych za wielkie osiągnięcia współczesnej fizyki, ta elementarna, oczywista dla każdego eksperymentatora zasada bywa rażąco gwałcona.

W trakcie dalszych rozważań przekonamy się, że przyjęcie powyższej zasady zgodności pomiarów jako punktu wyjścia do analizy bazy empirycznej STW (czyli wszystkiego tego, co z doświadczeń wiemy o obiektach w ruchu inercjalnym) prowadzi prostą drogą do lorentzowskiej

interpretacji względności, czyli do konieczności przyjęcia istnienia absolutnego spoczynku i rzeczywistych zmian właściwości obiektów, związanych z ruchem absolutnym.

3. Brakująca wielkość

Studiowanie i opisywanie samych tylko przestrzennych właściwości obiektów, takich jak długość, nie nastęcza trudności i wymaga tylko przyjęcia określonego wzorca. Podobnie proste jest opisywanie samych tylko właściwości czasowych, takich jak okres drgań, czas obiegu czy obrotu itd., co osiągnąć można przez porównanie tych czasów z czasem wzorcowym, przyjętym za jednostkę. Swoista trudność pojawia się przy próbie badania właściwości, w których łączą się z sobą elementy przestrzenne i czasowe. Trudność ta leży u podstaw relatywistyki i jej uświadomienie sobie jest kluczem do zrozumienia wielu faktów.

Niech w naszym laboratorium znajduje się w spoczynku pręt o znanej długości l z końcami w punktach C i D , oraz dwa identyczne zegary, każdy na jednym końcu pręta. Z punktu C pchnijmy w kierunku punktu D w ruch jednostajny prostoliniowy kulkę w momencie, kiedy zegar w C wskazuje godzinę t_1 . Interesuje nas prędkość $v = l/t$ poruszania się kulki wzdłuż pręta. Aby ją obliczyć, potrzebna jest znajomość czasu przelotu t kulki z C do D . Jest on równy $t = t_2 - t_1$, gdzie t_2 jest to moment przybycia kulki do punktu D . W momencie tym na zegarze w D odczytujemy czas t_3 , który jest równy $t_3 = t_2 + T$, gdzie T jest to nieznaną nam różnica wskazań obu zegarów. Chcąc wyznaczyć t_2 , musimy znać T . Jak zmierzyć tę wielkość? Nie byłoby tego problemu, gdybyśmy przed pomiarem prędkości kulki przeprowadzili synchronizację obu zegarów, czyli zapewnili $T = 0$.

Spróbujmy więc zsynchronizować zegary. Wystarczy do tego wysłanie z C do D znaną prędkością v_s dowolnego sygnału i ustawienie zegara w D w momencie odebrania tam tego sygnału na wartość $t_{0D} = t_{0C} + l/v_s$, gdzie t_{0C} jest to wskazanie zegara w C w momencie emisji tego sygnału. Jak jednak ustalić prędkość v_s , skoro do pomiaru dowolnej prędkości konieczne jest uprzednie zsynchronizowanie zegarów? Otrzymaliśmy błędne koło. Do synchronizacji potrzebna jest znana prędkość, do pomiaru dowolnej prędkości potrzebna jest synchronizacja. Nie można przeprowadzić żadnej synchronizacji zegarów bez znanej prędkości i nie można zmierzyć żadnej prędkości bez synchronizacji zegarów.

Okazuje się, że trudność powyższa nie jest bynajmniej banalna, lecz odzwierciedla bardzo fundamentalną cechę budowy świata. Nie da się jej usunąć żadnym wybiegiem ani żadnymi, nawet bardzo skomplikowanymi doświadczeniami czy też rozważaniami teoretycznymi. Nie jest to na pierwszy rzut oka oczywiste i kuszące jest poszukiwanie rozwiązania tego problemu, wiele też ludzi poświęciło na to mnóstwo czasu i wysiłków, okazało się to jednak daremne.

Jakie z tej sytuacji pozostaje wyjście? Tylko takie, że sposób synchronizacji odległych zegarów wprowadzimy umownie, z definicji. Umowa o synchronizacji będzie także zarazem umową o wprowadzeniu jakiegoś wzorca prędkości oraz umową o jednoczesności odległych wydarzeń. Umowę tę włączyć musimy do zbioru założeń, potrzebnych do dokonywania pomiarów i sporządzania opisów właściwości obiektów fizycznych. Założenie to będzie oczywiście dodatkowym elementem umownym w opisach właściwości obiektów. Konkretną postacią tego założenia zajmiemy się nieco później, teraz zaś stwierdzimy jeszcze tylko oczywisty fakt, że opisy właściwości obiektu fizycznego zależą od postaci tego założenia. Przyjęcie różnych założeń co do jednoczesności spowoduje oczywiście powstawanie różnych opisów właściwości obiektu, choćby tylko z uwagi na różne wartości prędkości i różną

kolejność odległych zdarzeń, chociaż same właściwości danego obiektu, jako elementy obiektywnej rzeczywistości, nie ulegają oczywiście pod wpływem zmiany założeń żadnym fizycznym zmianom, są niezależne od poczynionych założeń.

4. Stany ruchu i układy odniesienia

Wprowadźmy kilka pojęć celem ułatwienia rozważań związanych z właściwościami obiektów fizycznych w ruchu. Zajmować się będziemy tylko ruchami inercyjnymi czyli ruchami jednostajnymi prostoliniowymi obiektów fizycznych. Ruchy te zawsze będą względne, dotyczące przemieszczania się obiektów względem siebie, jako że pojęcie ruchu w odniesieniu do pojedynczego obiektu jest pozbawione sensu. Stąd też pojęcie prędkości będzie zawsze pojęciem prędkości względnej.

Wprowadźmy pojęcie stanu ruchu (inercjalnego) jako charakterystykę ruchu poruszającego się obiektu fizycznego. Dwa obiekty fizyczne niechaj znajdują się w tym samym stanie ruchu wtedy i tylko wtedy, gdy pozostają względem siebie w spoczynku. Jeśli natomiast obiekty te poruszają się względem siebie skończoną prędkością, mówić będziemy, że znajdują się one w różnych stanach ruchu. Każdy obiekt fizyczny znajduje się oczywiście w danym czasie w jednym i tylko jednym stanie ruchu. Poszczególne stany ruchu oznaczać będziemy literą S z odpowiednimi indeksami.

Aby możliwe było opisywanie ruchu i właściwości obiektów fizycznych, konieczne jest wprowadzenie układu odniesienia. Aby uzyskać możliwość opisywania w postaci liczbowej położenia obiektów lub ich części i zmian tych położenia w czasie, konieczne jest określenie w wybranym układzie odniesienia kierunków osi współrzędnych, przyjęcie założenia o jednoczesności oraz wprowadzenie jednostek wielkości fizycznych. Uzyskane wtedy opisy prędkości obiektów będą opisami prędkości w przyjętym układzie odniesienia, otrzymanymi przy zastosowaniu przyjętego zbioru założeń. Układ odniesienia może być wybrany dowolnie i wybór ten stanowi także jedno z założeń potrzebnych do opisu właściwości obiektów, i jako taki jest również elementem umownym opisów. Układy odniesienia oznaczać będziemy literą U z odpowiednimi indeksami.

Wprowadzenie układu odniesienia i pozostałych niezbędnych założeń umożliwia w szczególności jednoznaczny identyfikację i ewidencję stanów ruchu. Dla danego przyjętego układu odniesienia istnieje jeden i tylko jeden stan ruchu taki, że obiekty w tym stanie znajdują się w danym układzie odniesienia w spoczynku. A zatem, wybór układu odniesienia polega na związaniu go z jakimś konkretnym, wybranym stanem ruchu. Inne stany ruchu określone są wtedy jednoznacznie przez opisy wektorów prędkości obiektów w tych stanach. Każdemu zestawowi wartości liczbowych składowych wektora prędkości przyporządkowany jest jednoznacznie jeden stan ruchu i odwrotnie.

Właściwości obiektów fizycznych we wszystkich stanach ruchu mogą być i powinny być opisywane przy zastosowaniu wspólnego, tego samego zbioru założeń, w przeciwnym razie bowiem uzyskiwane opisy byłyby, jak stwierdziliśmy wcześniej, między sobą nieporównywalne. Zmiana układu odniesienia i związanych z nim innych założeń jest oczywiście zmianą elementów umownych w opisach, toteż, ogólnie biorąc, zmiana taka

może spowodować zmianę opisów właściwości obiektu, lecz nie będzie jej towarzyszyć żadna zmiana samych właściwości obiektu, ponieważ obiekt badany i opisywany nie jest przy tym poddawany żadnym oddziaływaniom fizycznym, mogącym spowodować jego zmiany.

Zmiana natomiast stanu ruchu obiektu czyli przeniesienie obiektu z jednego stanu ruchu do innego może nastąpić jedynie w wyniku oddziaływania fizycznego na obiekt: przyłożenia siły zewnętrznej i nadania mu przez to przyśpieszenia, nie można zatem z góry wykluczyć możliwości, że nastąpią przy tym jakieś obiektywne zmiany samych właściwości obiektu.

W związku z tym wprowadźmy jeszcze pojęcie obiektów identycznych. Dwa obiekty są identyczne, jeżeli, umieszczone równolegle do siebie w tym samym stanie ruchu, posiadają wszystkie odpowiadające sobie właściwości parami jednakowe. Jeśli następnie przeniesiemy te obiekty do różnych stanów ruchu, pozostają one z definicji identyczne, chociaż niekoniecznie muszą już być jednakowe, gdyż ich właściwości mogły przy tym ulec pewnym zmianom.

Podstawowym zagadnieniem fizyki ruchu inercjalnego jest pytanie, czy odpowiadające sobie właściwości obiektów identycznych, przeniesionych do różnych stanów ruchu, pozostają jednakowe.

5. Założenia o prędkości światła i jednostkach

Wybermy pewien określony stan ruchu S_A , zwiążmy z nim nasz układ odniesienia U_A i określmy w tym układzie osie współrzędnych prostokątnych x, y, z . Należy teraz wprowadzić niezbędną umowę o jednoczesności czyli o sposobie synchronizacji odległych zegarów. Najlepiej nadaje się do tego zjawisko rozchodzenia się sygnałów elektromagnetycznych lub po prostu światła ze względu na jego szczególne właściwości i znaczenie w przyrodzie. Dogodność polega na tym, że jest to najszybszy znany ruch jednostajny prostoliniowy, przy czym w odróżnieniu od innych ruchów prędkość światła jest z łatwością powtarzalna dzięki temu, że czas przelotu światła między punktem emisji a punktem absorpcji zależy od odległości tych punktów, lecz nie zależy ani od stanu ruchu obiektu emitującego, ani od stanu ruchu obiektu absorbującego.

Najprostszą postacią założenia o prędkości światła jest przyjęcie, iż w obranym układzie odniesienia U_A długość wektora prędkości światła nie zależy od kierunku, czyli że w U_A rozchodzenie się fal elektromagnetycznych jest izotropowe. Założenie to oznaczmy symbolem I_A .

Wprowadźmy teraz założenia dotyczące jednostek długości i czasu (inne nie będą nam tutaj potrzebne), korzystając z przyjętych w fizyce definicji metra i sekundy. Ponieważ nie mamy na razie pewności, czy właściwości obiektów fizycznych wykorzystane w tych definicjach (częstotliwości drgań i odpowiadające im długości fal atomów kryptonu i cezu) nie zależą od stanu ruchu tych obiektów, musimy je związać z określonym stanem ruchu, w naszym przypadku ze stanem S_A . Założenia te, dotyczące jednostek, oznaczmy symbolem J_A .

Wprowadzone założenia U_A, I_A, J_A stanowią łącznie zbiór założeń, konieczny i wystarczający do wykonywania pomiarów i do sporządzania opisów właściwości obiektów fizycznych, znajdujących się w dowolnych stanach ruchu. Zauważmy w szczególności, iż wprowadzone założenia określają jednoznacznie jednoczesność dla dowolnych punktów

przestrzeni i dla dowolnych momentów czasu, jeśli zaś w stanie ruchu S_A umieścić zegar i określić początek rachuby czasu, to wprowadzone założenia określają jednoznacznie opis czasu lokalnego dla każdego punktu przestrzeni i dla każdego momentu, uzgodnionego przez wprowadzone założenia z czasem zegara w S_A .

Należy jeszcze zaznaczyć, że wprowadzone założenie I_A zapewnia tylko, iż niezależny od kierunku w przestrzeni jest opis prędkości światła względem obiektów w stanie ruchu S_A . Opis ten c_{AA} wyraża się znaną wartością liczbową c , niezależną od kierunku poruszania się światła. Opis prędkości światła c_{XA} względem obiektów w dowolnym innym stanie ruchu S_X , różnym od S_A , zależy od kierunku poruszania się światła i przyjmuje wartości w granicach od $c - v_{XA}$ do $c + v_{XA}$, gdzie v_{XA} jest to wartość liczbowa opisu prędkości stanu ruchu S_X względem stanu ruchu S_A , otrzymanego z zastosowaniem zestawu założeń U_A, I_A, J_A .

6. Opisy obiektu w różnych stanach ruchu

Wprowadźmy następujący sposób identyfikacji opisów: Niechaj $D(R, S_A, U_A, I_A, J_A)$ oznacza opis D wybranego zbioru właściwości obiektu fizycznego R , znajdującego się w stanie ruchu S_A , uzyskany w wyniku pomiarów wykonanych przy założeniach U_A, I_A, J_A o wyżej podanym znaczeniu. Opis pojedynczej, konkretnej właściwości będzie miał postać na przykład:

$$L_x(R, S_A, U_A, I_A, J_A) = l, \quad (4)$$

gdzie L_x jest to oznaczenie danej właściwości, na przykład długości obiektu R w kierunku osi x , zaś l jest wartością liczbową, opisującą tę właściwość.

Niech S_A będzie stanem ruchu naszego laboratorium, wyposażonego we wzorce długości i czasu, zegary i inne niezbędne przyrządy, takie jak urządzenia do emisji i odbioru sygnałów świetlnych, do synchronizacji zegarów itp. Korzystając z założeń U_A, I_A, J_A zbudujemy w S_A dwa identyczne obiekty P, R , składające się z dwóch prostopadłych do siebie ramion jednakowej długości, skierowanych wzdłuż osi x i y układu U_A , urządzeń do emisji i detekcji sygnałów świetlnych na obu końcach ramion, oraz zegara, i niechaj wszystkie części każdego z tych obiektów połączone są sztywno w jedną całość.

Do zbioru opisywanych właściwości obiektów P i R włączmy: długości L_x, L_y obu ramion, czasy $T_x^+, T_x^-, T_y^+, T_y^-$ przelotu światła wzdłuż ramion w jednym i drugim kierunku oraz chód s zegara, określający, o jaką wartość zmieni się wskazanie zegara w czasie jednej sekundy.

Wykorzystując przyjęte założenia i robiąc odpowiednie pomiary i obliczenia, uzyskamy następujący opis $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ właściwości obiektu P :

$$\begin{aligned} L_x(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l, \\ L_y(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l, \\ T_x^+(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l/c, \\ T_x^-(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l/c, \\ T_y^+(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l/c, \\ T_y^-(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= l/c, \\ s(P, S_A, U_A, I_A, J_A) &= 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Ponieważ obiekty P i R są identyczne, umieszczone są równoległe do siebie w tym samym stanie ruchu S_A i opisywane są z zastosowaniem tego samego zestawu założeń U_A, I_A, J_A , to ich opisy muszą być jednakowe, czyli że opis $D(R, S_A, U_A, I_A, J_A)$ będzie dokładnym powtórzeniem opisu $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ z identyfikatorem obiektu R zamiast P .

Przenieśmy teraz obiekt R ze stanu ruchu S_A do nowego stanu ruchu S_B różnego od S_A i niech dla uproszczenia S_B określony jest w U_A przez wektor prędkości, skierowany wzdłuż osi x . Chcemy teraz stwierdzić, jak wygląda opis obiektu R w tym nowym stanie ruchu, uzyskany przy zastosowaniu tego samego zbioru założeń. Przyjęte założenia i posiadane przyrządy pomiarowe (które jednak muszą pozostać w stanie ruchu S_A , gdyż tylko tam są określone na razie ich właściwości), pozwalają na wykonanie wszystkich niezbędnych pomiarów dla sporządzenia opisu $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$. Na podstawie znanych faktów doświadczalnych możemy przewidzieć, że opis ten przyjmie postać:

$$\begin{aligned}
 L_x(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= l/\gamma_{BA}, \\
 L_y(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= l, \\
 T_x^+(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= l[\gamma_{BA} \cdot (c - v_{BA})], \\
 T_x^-(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= l[\gamma_{BA} \cdot (c + v_{BA})], \\
 T_y^+(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= \gamma_{BA} \cdot l/c, \\
 T_y^-(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= \gamma_{BA} \cdot l/c, \\
 s(R, S_B, U_A, I_A, J_A) &= 1/\gamma_{BA}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

gdzie

$$\gamma_{BA} = 1/\sqrt{1 - v_{BA}^2/c^2}, \tag{7}$$

zaś v_{BA} jest wartością liczbową opisu prędkości stanu ruchu S_B w układzie odniesienia U_A : $V(S_B, U_A, I_A, J_A) = v_{BA}$.

Jak widać, opisy $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ i $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$, podane w równaniach odpowiednio (5) i (6), nie są jednakowe. Wynik ten wskazuje na to, że opisy odpowiadających sobie właściwości obiektów identycznych, będących w różnych stanach ruchu, otrzymane przy zastosowaniu tego samego zbioru założeń, są na ogół niejednakowe.

Skoro wszystkie założenia, czyli wszystkie elementy umowne w obu powyższych opisach są takie same, a mimo to opisy te różnią się, nasuwa się wniosek, iż różne muszą być elementy obiektywne, czyli że same właściwości obiektów identycznych w różnych stanach ruchu są na ogół niejednakowe. Poniżej otrzymamy jeszcze inne potwierdzenia tego wniosku.

7. Opisy obiektu w różnych układach odniesienia

Wszystkie rozważane dotychczas opisy miały za podstawę ten sam zbiór założeń. Przejdźmy obecnie do innego zbioru założeń i badajmy postać otrzymanych z ich zastosowaniem opisów. Zwiążmy nasz nowy układ odniesienia ze stanem ruchu S_B . Załóżmy izotropię rozchodzenia się sygnałów świetlnych w tym nowym układzie U_B i zbudujmy w S_B potrzebny zestaw obiektów wzorcowych dla jednostek długości i czasu, korzystając z identycznych, przyjętych w fizyce definicji tych jednostek, ale odniesionych tym razem do obiektów (atomów kryptonu i cezu) w stanie ruchu S_B . Zbudujmy też w S_B niezbędne przyrządy pomiarowe, lub przenieśmy ze stanu ruchu S_A do stanu ruchu S_B te przyrządy pomiarowe, których wcześniej używaliśmy w

S_A robiąc pomiary z zestawem założeń U_A, I_A, J_A . W tym nowym układzie odniesienia U_B i korzystając z tego nowego zbioru założeń U_B, I_B, J_B wykonajmy niezbędne pomiary i sporządźmy opis $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ właściwości obiektu R w stanie ruchu S_B .

Na podstawie znanych faktów doświadczalnych możemy przewidzieć, że opis ten przyjmie postać:

$$\begin{aligned}
 L_x(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l, \\
 L_y(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l, \\
 T_x^+(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l/c, \\
 T_x^-(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l/c, \\
 T_y^+(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l/c, \\
 T_y^-(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= l/c, \\
 s(R, S_B, U_B, I_B, J_B) &= 1.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Ten nowy zbiór założeń oraz posiadane w S_B narzędzia pomiarowe wystarczają również do wykonania pomiarów i sporządzenia opisu właściwości obiektu P , pozostającego nadal w stanie ruchu S_A . Na podstawie znanych faktów doświadczalnych możemy przewidzieć, że ten opis $D(P, S_A, U_B, I_B, J_B)$ przyjmie postać:

$$\begin{aligned}
 L_x(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= l/\gamma_{AB}, \\
 L_y(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= l, \\
 T_x^+(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= l/[\gamma_{AB} \cdot (c - v_{AB})], \\
 T_x^-(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= l/[\gamma_{AB} \cdot (c + v_{AB})], \\
 T_y^+(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= \gamma_{AB} \cdot l/c, \\
 T_y^-(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= \gamma_{AB} \cdot l/c, \\
 s(P, S_A, U_B, I_B, J_B) &= 1/\gamma_{AB}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

gdzie

$$\gamma_{AB} = 1/\sqrt{(1 - v_{AB}^2/c^2)}, \tag{10}$$

zaś v_{AB} jest wartością liczbową opisu prędkości stanu ruchu S_A w układzie odniesienia U_B : $V(S_A, U_B, I_B, J_B) = v_{AB}$.

Zauważmy, że opis $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ (w równaniach (5)) oraz opis $D(P, S_A, U_B, I_B, J_B)$ (w równaniach (9)) to dwa różne opisy tej samej obiektywnej rzeczywistości: obiektu P w stanie ruchu S_A . Różne są w nich tylko zbiory założeń czyli elementy umowne. Skoro te dwa opisy są niejednakowe, wynika stąd wniosek, iż oba zbiory założeń są względem siebie niezgodne.

To samo wynika z niezgodności opisu $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$ (w równaniach (6)) z opisem $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ (w równaniach (8)), w których także elementy obiektywne są takie same.

Skoro oba zbiory założeń U_A, I_A, J_A oraz U_B, I_B, J_B są z sobą niezgodne, to opisy uzyskane przy ich zastosowaniu są nieporównywalne. Wynik taki nie jest zresztą wcale zaskakujący. Z góry wiadomo było, że oba zbiory założeń są niezgodne, gdyż zawierają dwie niejednakowe definicje jednoczesności odległych zdarzeń, co prowadzić musi do niezgodności opisów.

Zbiory założeń U_A, I_A, J_A i U_B, I_B, J_B są formalnie identyczne, oparte na takich samych regułach i definicjach, ale odniesionych raz do stanu ruchu S_A , drugi raz do stanu ruchu S_B , co, jak widać, nie zapewnia ich zgodności. Założenia formalnie identyczne nie są więc jednakowe, jeśli odnoszą się do różnych stanów ruchu.

8. Równoważność formalna układów odniesienia

Porównując opis $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ (w równaniach (5)) z opisem $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ (w równaniach (8)) zauważamy, że są one formalnie jednakowe. Dotyczą one identycznych obiektów w różnych stanach ruchu i uzyskane zostały przy zastosowaniu identycznych lecz niejednakowych zbiorów założeń. Formalnie jednakowe okażą się również opisy $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$ (w równaniach (6)) i $D(P, S_A, U_B, I_B, J_B)$ (w równaniach (9)), jeśli wartości liczbowe v_{AB} i v_{BA} , (a zatem także γ_{AB} i γ_{BA} będą sobie równe.

Ze znanych faktów doświadczalnych wiemy, że ta zgodność opisów właściwości identycznych obiektów, znajdujących się w różnych stanach ruchu, uzyskanych z zastosowaniem identycznych lecz niejednakowych założeń, odnosi się do wszystkich układów odniesienia i nosi nazwę zasady względności. W terminach tutaj przyjętych możemy ją krótko sformułować następująco: Opis $D(F, S_X, U_Y, I_Y, J_Y)$ właściwości dowolnego obiektu fizycznego F , znajdującego się w stanie ruchu S_X , zależy tylko od opisu prędkości $V(F, S_X, U_Y, I_Y, J_Y) = v_{XY}$ stanu ruchu S_X w układzie odniesienia U_Y , a nie zależy od wyboru stanu ruchu S_X ani od wyboru układu odniesienia U_Y . W szczególnej postaci, dla $v_{XX} = 0$ będziemy mieli zasadę: Opisy $D(F, S_X, U_X, I_X, J_X)$ są dla wszystkich stanów ruchu i związanych z nimi układów odniesienia jednakowe.

W powyższym sensie wszystkie układy odniesienia są równoważne. Ponieważ w zasadzie tej chodzi o zgodność opisów właściwości, a nie o zgodność samych właściwości obiektów, równoważność tę nazwijmy równoważnością formalną.

Równoważność formalna układów odniesienia oznacza, iż nie ma wyróżnionego układu odniesienia. Opisy właściwości identycznych obiektów we wszystkich stanach ruchu, uzyskane z zastosowaniem identycznego zbioru założeń, ale odniesionego każdorazowo do danego stanu ruchu, są jednakowe. Ruch inercjalny jest więc w tym sensie formalnie względny, gdyż opisy w żadnym układzie nie różnią się od odpowiadających im opisów w innych układach.

9. Nierównoważność fizyczna stanów ruchu

Stwierdziliśmy wcześniej, iż podstawowym zagadnieniem fizyki ruchu inercjalnego jest pytanie, czy odpowiednie właściwości obiektów identycznych, będących w różnych stanach ruchu, są jednakowe. Gdyby tak było, wszystkie stany ruchu byłyby równoważne w sensie fizycznym, a zatem ruch inercjalny byłby względny nie tylko formalnie, lecz także fizycznie.

Bezpodstawne byłoby przypuszczenie, że zgodność opisu $D(R, S_A, U_A, I_A, J_A)$ z opisem $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ jest dowodem, iż właściwości obiektu R w S_A i tegoż obiektu w S_B są jednakowe. Przeczy temu zarówno fakt niezgodności opisu $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ z opisem $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$, a także fakt niezgodności opisu $D(R, S_A, U_A, I_A, J_A)$ z opisem $D(R, S_A, U_B, I_B, J_B)$, które to fakty świadczą o niezgodności zbioru założeń U_A, I_A, J_A ze zbiorem założeń U_B, I_B, J_B , jak również fakt niezgodności opisu $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ z opisem

$D(R, S_A, U_B, I_B, J_B)$, a także fakt niezgodności opisu $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$ z opisem $D(R, S_A, U_A, I_A, J_A)$, które to fakty, z uwagi na zgodność zbiorów założeń, świadczą bezpośrednio o niezgodności elementów obiektywnych w tych opisach.

Niezgodność samych właściwości identycznych obiektów fizycznych w różnych stanach ruchu można zresztą wykazać jeszcze bardziej poglądowo. Zwróćmy w tym celu uwagę na wspomniane wcześniej trudności z synchronizacją odległych zegarów. Gdyby odpowiednie właściwości obiektu P w stanie ruchu S_A i identycznego obiektu R w stanie ruchu S_B były istotnie jednakowe, można by bez trudu przeprowadzić bezwzględną synchronizację dwóch odległych zegarów w S_A na wiele różnych sposobów i uciekanie się w tym celu do umowy byłoby zbędne. Istotnie, gdyby na przykład długości ramion $L_X(P, S_A)$ i $L_X(R, S_B)$ były rzeczywiście jednakowe (opuszczamy identyfikatory założeń, gdyż nie chodzi już tutaj o porównywanie opisów właściwości, lecz samych właściwości), to początki i końce obu przesuwających się względem siebie ramion musiałyby spotkać się jednocześnie, co dawałoby sposób określenia jednoczesności dla dwóch odległych punktów. Podobnie, gdyby chody $s(P, S_A)$ i $s(R, S_B)$ zegarów były rzeczywiście jednakowe, to zegar z S_B mógłby zostać wykorzystany do synchronizacji dwóch odległych zegarów w S_A , i to niezależnie od prędkości względnej obu tych stanów ruchu. Ze znanych faktów doświadczalnych, jak również z formalizmu matematycznego STW dobrze wiadomo, że synchronizowanie zegarów tymi sposobami daje wyniki niejednoznaczne, zależne od tej prędkości, co jest dalszym, bezpośrednim dowodem tego, że właściwości identycznych obiektów w różnych stanach ruchu nie są jednakowe.

A zatem, na podstawie wielu przesłanek wypada przyjąć wniosek, że mimo względności formalnej różne stany ruchu nie są na ogół fizycznie równoważne, wobec czego względność ruchu inercjalnego nie jest względnością fizyczną. Obiekt fizyczny przenoszony z jednego stanu ruchu w inny stan ruchu doznaje obiektywnych, fizycznych zmian niektórych swoich właściwości, aczkolwiek zmiany te są niewykrywalne, jeśli właściwości te mierzyć i opisywać każdorazowo w układzie odniesienia i ze zbiorem założeń, związanym z danym stanem ruchu.

Nie trudno zresztą zrozumieć, dlaczego tak jest. Jeśli przy przejściu do nowego stanu ruchu zmienia się na przykład długość obiektu, to zmieniać się będzie w taki sam sposób także długość wzorca długości i zmieniona długość, mierzona zmienionym wzorcem długości, musi dać formalnie niezmienny wynik. Podobnie jeśli przy przejściu do nowego stanu ruchu zmienia się chód zegara, zmieniać się będzie także chód zegara wzorcowego i pomiar zmienionego chodu zmienionym wzorcem dać musi znowu niezmienny wynik. To proste rozważanie wskazuje na bezpodstawność wnioskowania o zgodności właściwości $W(P, S_A)$ z odpowiednimi właściwościami $W(R, S_B)$ na podstawie zgodności opisu $D(P, S_A, U_A, I_A, J_A)$ z opisem $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$.

10. Formalna przyczyna różnic w opisach

Dlaczego opisy $D(F, S_X, U_Y, I_Y, J_Y)$ zależą od opisu prędkości stanu ruchu S_X względem układu U_Y : $V(S_X, U_Y, I_Y, J_Y) = v_{XY}$? Niepotrzebne jest przypuszczenie, że chodzi tu o jakąś tajemniczą właściwość czasoprzestrzeni, która powoduje, że wielkość zmian poszczególnych właściwości obiektu wydaje się być zależna od jego prędkości względem obserwatora. W rzeczywistości chodzi o opis prędkości stanu ruchu S_X względem stanu ruchu S_Y , dla którego przyjęto założenie o izotropowym rozkładzie prędkości rozchodzenia się sygnałów świetlnych. Izotropia ta jest naruszona dla innych stanów, różnych od S_Y , przy czym naruszenie to jest tym

większe, im większa jest wartość opisu prędkości v_{XY} . Wartość ta jest więc miarą anizotropii założonej prędkości względnej rozchodzenia się fal elektromagnetycznych względem stanu ruchu S_X . Wielkość efektów „relatywistycznych” czyli wielkość zmian opisu właściwości obiektu $D(F, S_X, U_Y, I_Y, J_Y)$ w porównaniu z opisem $D(F, S_Y, U_Y, I_Y, J_Y)$ zależy więc od założonej anizotropii prędkości światła względem stanu ruchu S_X , wyrażonej wartością v_{XY} . Efekty „relatywistyczne”, pojawiające się w opisach, mają więc obiektywną przyczynę, a jest nią wynikająca z przyjętych założeń wielkość anizotropii prędkości światła względem badanego i opisywanego obiektu.

11. Fizyczna przyczyna różnic właściwości

Z przeprowadzonych wcześniej rozważań wynika, że właściwości obiektów fizycznych, przenoszonych do różnych stanów ruchu, ulegają realnym, fizycznym zmianom, nasuwa się więc pytanie, jakie są te właściwości i jakie są prawidłowości ich zmian. Ponieważ zależnie od przyjętego zbioru założeń czyli od elementów umownych otrzymujemy różne opisy właściwości obiektów, wnioskowanie o samych właściwościach tych obiektów oprócz musimy na wszystkich tych opisach. Logiczny wydaje się wniosek, że obiektywnymi danymi o samych właściwościach obiektów będą te dane, które wynikają z wszystkich opisów czyli z wszystkich zestawów założeń.

Pierwszym i podstawowym faktem, spełniającym to wymaganie, jest to, iż prędkość rozchodzenia się sygnałów elektromagnetycznych może być izotropowa względem jednego i tylko jednego stanu ruchu, zaś względem wszystkich pozostałych stanów ruchu istnieje anizotropia tej prędkości. Wynika to z każdego zestawu założeń. Nie istnieje taki zbiór niesprzecznych i logicznie spójnych założeń dla dokonywania pomiarów i sporządzania opisów właściwości obiektów w różnych stanach ruchu, z którego wynikałaby izotropia prędkości światła względem więcej niż jednego stanu ruchu.

Przyjęcie tego jako faktu daje natychmiast przejrzysty obraz właściwości obiektów fizycznych i ich zmian pod wpływem ruchu. Zgodnie z tym obrazem istnieje jeden i tylko jeden wyróżniony stan ruchu S_0 taki, że prędkość światła względem obiektów w tym stanie jest stała, niezależna od kierunku. Prawdziwym opisem dowolnego obiektu F w stanie ruchu S_0 jest opis $D(F, S_0, U_0, I_0, J_0)$. Prawdziwym opisem obiektu F po przeniesieniu go do dowolnego innego stanu ruchu S_X jest opis $D(F, S_X, U_0, I_0, J_0)$, w którym występuje prędkość v_{X0} tego obiektu względem stanu ruchu S_0 , której prawdziwym opisem jest opis $V(S_X, U_0, I_0, J_0) = v_{X0}$. Obiekty poruszające się względem stanu ruchu S_0 doznają obiektywnych, rzeczywistych, fizycznych zmian swoich właściwości (tzn. występują w nich efekty „relatywistyczne”, w szczególności skrócenie wymiarów w kierunku ruchu i zwolnienie wszystkich procesów fizycznych), których wielkość zależna jest od wartości v_{X0} , charakteryzującej prawdziwą anizotropię prędkości światła względem danego stanu ruchu S_X .

Ze względu na formalną równoważność układów odniesienia, czyli względność formalną, stan ruchu S_0 nie może zostać doświadczalnie zidentyfikowany, na skutek czego prawdziwe opisy właściwości obiektów nie mogą zostać z nieskończonej liczby możliwych opisów wyodrębnione.

Okoliczność, iż nie można doświadczalnie zidentyfikować stanu ruchu S_0 nie jest sprzeczna z twierdzeniem o jego istnieniu ani tego twierdzenia nie podważa, gdyż istnienie tego stanu ruchu

wynika z nierównoważności fizycznej stanów ruchu, czyli z obserwowalnych różnic właściwości obiektów identycznych w różnych stanach ruchu.

Konieczność istnienia wyróżnionego stanu ruchu S_0 wynika zresztą także z całkiem elementarnego rozważania. Jeśli światło porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, a jego prędkość jest powtarzalna i nie zależy od stanu ruchu obiektu emitującego ani od stanu ruchu obiektu absorbującego, co przyjmowane jest ogólnie bez zastrzeżeń, to musi istnieć inny stan ruchu, określający tę prędkość, czyli stan S_0 .

12. Przyczyna względności formalnej

Jeżeli istnieje wyróżniony stan ruchu S_0 i jeżeli właściwości obiektów zależą od ich prędkości względem tego stanu, to jak wytłumaczyć niemożliwość identyfikacji tego stanu, czyli względność formalną, czyli równoważność układów odniesienia, czyli formalną zgodność opisów właściwości obiektów $D(F, S_X, U_X, I_X, J_X)$ dla wszystkich U_X ?

Istnieje na to pytanie odpowiedź formalna i odpowiedź fizyczna. Formalnie biorąc jest to wynikiem faktu, że transformacja Lorentza, opisująca prawidłowo rzeczywistość, ma taką a nie inną postać matematyczną. Transformacja ta jest poprawnym przepisem na przekształcanie opisów właściwości obiektów, uzyskanych z zastosowaniem jednego zbioru założeń, na opisy uzyskane z zastosowaniem innego zbioru założeń, a mówiąc bardziej konkretnie: przepisem na przekształcanie opisu uzyskanego przy założeniu anizotropii prędkości światła względem opisywanego obiektu na opis uzyskany przy założeniu izotropii tej prędkości. Postać matematyczna tej transformacji jest taka, iż po założeniu izotropii prędkości światła względem obiektu opis właściwości obiektu okazuje się być niezależny od stanu ruchu obiektu.

Postać tej transformacji nie jest oczywiście przypadkowa, lecz taką a nie inną postać narzucają obowiązujące prawa fizyczne. Dlaczego więc mimo anizotropii prędkości światła względem obiektu i mimo zależności właściwości obiektu od wielkości tej anizotropii po założeniu izotropii prędkości światła opisy tych właściwości okazują się dokładnie takie, jakie są właściwości identycznego obiektu w stanie ruchu bez anizotropii prędkości światła, czyli w stanie ruchu S_0 ? Fakt ten, czyli względność formalna, jest niewątpliwie faktem o fundamentalnym znaczeniu i wyjaśnienie jego przyczyny jest istotne dla zrozumienia logiki budowy naszego świata. W standardowej interpretacji STW względność formalna wyjaśniana jest w terminach geometrycznych jako rezultat symetrii czasoprzestrzeni, tutaj natomiast konieczne jest pogłądowe wyjaśnienie fizyczne.

Nie trudno jest wyjaśnienie takie sformułować. Prędkość światła jest nie tylko prędkością przenoszenia sygnałów elektromagnetycznych, lecz, co istotniejsze, także prędkością przenoszenia w próżni elektromagnetycznych oddziaływań siłowych, a najprawdopodobniej także wszystkich pozostałych oddziaływań siłowych. Poszczególne elementy obiektu fizycznego F , będącego w stanie ruchu S_0 , opisanego poprawnie opisem $D(F, S_0, U_0, I_0, J_0)$, oddziałują na siebie siłami, przenoszonymi z prędkością niezależną od kierunku. Każdy element obiektu znajduje się w każdym momencie w stanie równowagi dynamicznej w polu sił od pozostałych elementów tego obiektu. Przypuśćmy, że obiekt zostałby przeniesiony ze stanu ruchu S_0 do innego stanu ruchu S_X z nieizotropowym rozkładem prędkości oddziaływań siłowych bez zmiany właściwości obiektu, w szczególności z zachowaniem wzajemnych odległości poszczególnych jego elementów. Spowodowałoby to oczywiście zakłócenie równowagi poszczególnych elementów obiektu ze względu na zmiany wielkości i opóźnień

oddziaływań siłowych innych elementów na ten element. Na skutek tego takie przeniesienie obiektu z S_0 do S_X bez zmian jego właściwości jest niemożliwe. W rzeczywistości poszczególne elementy przenoszonego obiektu pozostają w równowadze dynamicznej na skutek tego, iż powstające naruszenie równowagi, spowodowane pojawiającą się anizotropią sił, jest na bieżąco kompensowane przez zmiany wzajemnych położenia poszczególnych elementów obiektu pod wpływem tych sił. Równowaga dynamiczna wewnątrz obiektu jest więc na bieżąco przywracana i po przejściu obiektu w nowy stan ruchu S_X każdy jego element przyjmuje taki kształt i zajmuje takie położenie, w których nie czuje żadnych zaistniałych zmian, tzn. w których wszystkie pozostałe elementy oddziałują na ten element w sposób dokładnie identyczny, jak w stanie ruchu S_0 . Istotnie, opis $D(F, S_X, U_X, I_X, J_X)$ jest dokładną analogią opisu $D(F, S_0, U_0, I_0, J_0)$ w nowych warunkach fizycznych, na skutek czego obserwator, poruszający się wraz z obiektem i badający sam obiekt, nie wykryje w obiekcie żadnych zmian. Każdemu elementowi obiektu można jednak przypisać rolę obserwatora pozostałych elementów, z czego wynika, że każdy element mimo zaistniałych zmian fizycznych w obiekcie pozostaje w stanie równowagi nieodróżnialnym czyli dokładnie analogicznym do stanu równowagi w S_0 .

Względność formalna jest zatem w tej interpretacji wynikiem dokładnego dopasowywania się właściwości obiektu do nowego układu sił i jej istnienie jest nie tylko zrozumiałe, lecz także konieczne, gdyż bez takich zmian, przywracających równowagę wewnątrz obiektu, nie mógłby on w nowych warunkach istnieć.

Warto w tym kontekście zauważyć, że poszczególne efekty „relatywistyczne”, jak skracanie (kontrakcja), zwalnianie procesów fizycznych (dylatacja czasu), wzrost masy itd. nie są niezależnymi od siebie zjawiskami, których istnienie trzeba w tej koncepcji z konieczności postulować dla otrzymania zgodności z doświadczeniem (jak zarzucają zwolennicy geometrycznej interpretacji STW — patrz np. [15]), lecz pozostają z sobą w ścisłym związku. Na przykład w tzw. zegarze optycznym (w którym jednostką chodu jest czas przelotu sygnału świetlnego na pewnej zamkniętej drodze) dylatacja czasu pojawia się automatycznie jako skutek kontrakcji. Podobnie w układzie ładunków elektrycznych kontrakcja wywoła automatycznie wzrost masy (tj. energii potencjalnej układu).

Spójrzmy jeszcze na względność formalną od strony historycznej. Podstawowym problemem okresu przedrelatywistycznego było niepowodzenie prób wykrycia ruchu Ziemi względem eteru (tj. wyróżnionego stanu ruchu). Standardowa interpretacja STW rozstrzyga ten problem stwierdzeniem, że nie ma takiego stanu ruchu (eteru). Interpretacja lorentzowska natomiast nie tylko dopuszcza, lecz wymaga istnienia takiego stanu, natomiast niemożliwość zaobserwowania ruchu względem tego stanu tłumaczy zmianami właściwości obiektów zachodzącymi pod wpływem tego ruchu. W przeprowadzanych przed rokiem 1905 i później doświadczeniach próbowano wykryć anizotropię prędkości światła (zwaną wiatrem eteru) zakładając niezmienniczość właściwości identycznych obiektów w różnych stanach ruchu. Jeśli zreinterpretować te doświadczenia z uwzględnieniem zachodzących w obiektach zmian pod wpływem tego ruchu, to okazuje się, że doświadczenia te są nieczułe na prędkość względem wyróżnionego stanu ruchu, nie mogą więc dostarczyć żadnych informacji na temat tego ruchu (ściślej mówiąc, ich wyniki są do pogodzenia z dowolną prędkością tego ruchu, mniejszą od c).

13. Znaczenie fizyczne transformacji Lorentza

Rozważmy wzajemny stosunek dwóch różnych opisów obiektu R w stanie ruchu S_B : $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ i $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$, wyrażonych odpowiednio przez współrzędne x', y', z', t' oraz x, y, z, t . Transformacją, przekształcającą opis $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$ w opis $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$ jest transformacja Lorentza L . W uproszczonej postaci (jeśli osie x, x' skierować wzdłuż wektora prędkości względnej obu układów) wyraża się ona zależnościami:

$$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma \cdot (t - v \cdot z/c^2). \quad (11)$$

Transformację Lorentza można rozłożyć na dwie części: transformację Galileusza (G) postaci:

$$x'' = x - v \cdot t, \quad y'' = y, \quad z'' = z, \quad t'' = t, \quad (12)$$

która przekształca opis $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$ w opis $D(R, S_B, U_B, I_A, J_A)$, oraz transformację uzupełniającą ($L-G$) postaci:

$$x' = \gamma \cdot x'', \quad y' = y'', \quad z' = z'', \quad t' = t''/\gamma - \gamma \cdot v \cdot x''/c^2, \quad (13)$$

która przekształca opis $D(R, S_B, U_B, I_A, J_A)$ w opis $D(R, S_B, U_B, I_B, J_B)$.

Znaczenie fizyczne transformacji Galileusza (G) polega na tym, że uwzględnia ona wyłącznie zmianę układu odniesienia z U_A na U_B , natomiast nie uwzględnia zmian pozostałych założeń (co do jednostek i definicji jednoczesności). Na skutek tego zmienia ona opisy jedynie tych właściwości obiektu, które charakteryzują go w relacjach zewnętrznych, nie zmieniając opisów pozostałych (wewnętrznych) jego właściwości.

Zauważmy w szczególności, że opis $D(R, S_B, U_B, I_A, J_A)$ jest opisem obiektu R w układzie, w którym obiekt ten znajduje się w spoczynku, a mimo to w opisie tym występują w dalszym ciągu wszystkie efekty „relatywistyczne”, tzn. skrócenie długości i zwolnienie chodu zegarów (gdyż jest to opis taki sam jak $D(R, S_B, U_A, I_A, J_A)$, podany w równaniach (6)). Widać więc wyraźnie, że efekty te nie są związane z ruchem obiektu względem obserwatora, lecz z przyjętym założeniem o sposobie rozchodzenia się światła w układzie, w którym opisywany obiekt znajduje się w spoczynku. W naszym przypadku, ze względu na założenia I_A, J_A , w układzie U_B światło rozchodzi się oczywiście nieizotropowo.

Transformacja ($L - G$) jest transformacją bez zmiany układu odniesienia, uwzględnia natomiast zmianę założeń (co do jednostek i jednoczesności), która to zmiana pociąga za sobą zmianę opisów. Transformacja ($L - G$) jest przejściem od założenia o nieizotropowym rozkładzie prędkości światła (względem stanu S_B do założenia o izotropowym rozchodzeniu się światła (względem tego stanu) przy jednoczesnym zastąpieniu jednostek zdefiniowanych w U_A przez jednostki zdefiniowane w U_B . Widać to wyraźnie z równania dla zmiennej czasowej t' , w którym występują dwa człony: człon „dylatacyjny”, związany ze zmianą jednostki chodu zegara i człon „synchronizacyjny”, zależny od x'' , związany ze zmianą założenia o sposobie rozchodzenia się światła.

W wyniku tej transformacji (na skutek dokonanej zmiany założeń) znikają oczywiście wszystkie efekty „relatywistyczne” w opisywanym obiekcie, co jest całkowicie zrozumiałe,

gdyż poszczególne wielkości są teraz wyrażone w jednostkach, określonych przy pomocy wzorców, podlegających tym samym zmianom, co obiekty badane i opisywane.

Transformacja Lorentza jest zatem złożeniem dwóch przekształceń o różnym znaczeniu fizycznym: galileuszowskiej zmiany układu odniesienia (niezmienniczej względem założeń co do jednostek i jednoczesności, a dzięki temu nie zmieniającej opisów „wewnętrznych” właściwości obiektów) oraz zmiany metryki (spowodowanej wprowadzeniem nowych założeń co do jednostek i jednoczesności, a ściślej mówiąc dostosowaniem tych założeń do aktualnych właściwości opisywanego obiektu, i na skutek tego zmieniającej opisy właściwości obiektów).

14. Lorentzowski obraz świata

Opisaną alternatywną do standardowej interpretację zjawisk „relatywistycznych” można poglądowo przedstawić, posługując się przestrzenią prędkości. Jeśli zwiążemy układ odniesienia U_A z pewnym wybranym stanem ruchu S_A , to możemy wprowadzić kartezjański układ współrzędnych prostokątnych, na którego osiach odkładać będziemy wartości liczbowe opisów składowych prędkości $V_x(S_X, U_A, I_A, J_A) = v_{XA_x}$, $V_y(S_X, U_A, I_A, J_A) = v_{XA_y}$, $V_z(S_X, U_A, I_A, J_A) = v_{XA_z}$. Zauważmy, że w tak określonej przestrzeni prędkości każdemu stanowi ruchu odpowiada jednoznacznie jeden punkt i odwrotnie. Stan ruchu S_A jest oczywiście reprezentowany przez punkt w początku układu, o współrzędnych $v_{AA_x} = v_{AA_y} = v_{AA_z} = 0$. Wraz ze wzrostem odległości od początku układu punktu, reprezentującego dany stan ruchu, wzrastają obserwowane efekty „relatywistyczne”, czyli skracanie wymiarów obiektu w kierunku wektora opisu prędkości, spadek wartości liczbowej opisu chodu zegara, wzrost wartości liczbowej opisu masy obiektu itd.

Z doświadczenia wiemy, że obiekty o niezerowej masie spoczynkowej poruszać się mogą z prędkościami mniejszymi od prędkości światła, czyli subluminalnymi, to znaczy, że zajmować mogą stany ruchu, których opisy prędkości spełniają warunek:

$$v_{XA} = \sqrt{(v_{XA_x})^2 + (v_{XA_y})^2 + (v_{XA_z})^2} < c. \quad (14)$$

W naszej przestrzeni prędkości leżą one wewnątrz kuli C o promieniu c ze środkiem w początku układu. Kiedykolwiek i skądkolwiek wyemitowany zostanie promień światła, zajmuje on zawsze jeden ze stanów ruchu, reprezentowanych przez punkty, leżące na powierzchni tej kuli C . Jej powierzchnia jest więc miejscem geometrycznym stanów ruchu, opisanych prędkością c . Stany ruchu natomiast, opisane prędkościami większymi od prędkości światła, czyli supraluminalnymi, których punkty leżą na zewnątrz kuli C , nie są na razie dostępne dla żadnych znanych nam obiektów, chyba że potwierdzone zostanie istnienie tachionów.

Tak więc nierównoważność fizyczna stanów ruchu w ujęciu jakościowym jest w tej reprezentacji oczywista. Istnieją trzy ich rozłączne klasy, dostępne dla rozłącznych klas obiektów fizycznych.

Zwróćmy teraz uwagę, jak zmieni się ten obraz, jeśli zastosujemy transformację Lorentza, czyli zmienimy zestaw założeń, stosowany w opisach. Jeśli od założeń U_A, I_A, J_A przejdziemy do założeń U_B, I_B, J_B , to stan S_B znajdzie się w środku kuli C , natomiast stan S_A znajdzie się w pewnej odległości od środka tej kuli i określony będzie przez niezerowe składowe opisy prędkości:

$$\begin{aligned}
V'_x(S_A, U_B, I_B, J_B) &= v'_{ABx}, \\
V'_y(S_A, U_B, I_B, J_B) &= v'_{ABy}, \\
V'_z(S_A, U_B, I_B, J_B) &= v'_{ABz}.
\end{aligned}
\tag{15}$$

Na skutek tego w obiektach, znajdujących się w tym stanie, uwidocznia się efekty „relatywistyczne”.

Ogólnie biorąc, w wyniku tej transformacji nastąpi przemieszczenie punktów (czyli stanów ruchu) w nowym układzie współrzędnych v'_{XBx} , v'_{XBy} , v'_{XBz} w stosunku do ich położeń w poprzednim układzie współrzędnych v_{XAx} , v_{XAy} , v_{XAz} . Jest to przemieszczenie umowne, spowodowane przez zmianę założeń, nie związane z żadną fizyczną zmianą, gdyż opisywane obiekty pozostają w tych samych co poprzednio stanach ruchu S_X .

Istotne jest to, że przemieszczenia te, będące wynikiem przeprowadzonej transformacji, nie naruszają wspomnianej rozłączności trzech klas stanów ruchu, a to dlatego, że, jak łatwo sprawdzić, powierzchnia kuli C , opisana równaniem $v_{XAx}^2 + v_{XAy}^2 + v_{XAz}^2 = c^2$, przekształca się w powierzchnię kuli C' , opisaną równaniem $v'_{XBx}^2 + v'_{XBy}^2 + v'_{XBz}^2 = c'^2$, czyli w samą siebie, gdyż $c = c'$. Żaden stan ruchu nie może więc w wyniku transformacji Lorentza opuścić powierzchni kuli C , ani też przejść przez powierzchnię tej kuli z zewnątrz do środka, ani odwrotnie. W jej wyniku następuje przemieszczenie stanów ruchu wewnątrz kuli, na kuli i na zewnątrz kuli C , jednak z zachowaniem rozłączności tych trzech klas stanów ruchu, wobec czego rozłączność ta jest niezmiennikiem lorentzowskim.

Niezależnie więc od stanu ruchu, przyjętego za podstawę zbioru założeń, obraz empiryczny rzeczywistości pozostaje taki sam. Zawsze jest jeden i tylko jeden stan ruchu, będący środkiem kuli C (z izotropowym opisem prędkości światła względem tego stanu) i zawsze ze wzrostem odległości stanu ruchu od tego środka rośnie anizotropia prędkości światła i rosną efekty „relatywistyczne”.

Wnioski co do obiektywnej rzeczywistości (czyli już nie co do opisów właściwości obiektów lecz co do samych właściwości tych obiektów), wynikające z wszystkich tych obrazów razem wziętych, wydają się oczywiste. Wszystko staje się zrozumiałe i przejrzyste, jeśli przyjąć istnienie stanu ruchu S_0 , będącego prawdziwym środkiem kuli C i istnienie prawdziwych, obiektywnych, fizycznych zmian właściwości obiektów, zależnych od ich prędkości względem tego stanu (czyli od ich prędkości absolutnej). Ze względu na postać transformacji Lorentza nie możemy wprowadzić stanu S_0 wskazać, ale wniosek o jego istnieniu sprowadza się do wniosku, że skoro istnieje kula, musi też istnieć jej środek. Jeśli by bowiem postulat Einsteina o stałej prędkości światła rozumieć dosłownie (jako mówiący o prędkościach, a nie o ich opisach), to byłby on równoznaczny stwierdzeniu, że każdy punkt leżący wewnątrz kuli C jest jej środkiem. Absurd ten znika jednak od razu, jeśli wziąć pod uwagę, że w postulacie Einsteina jest mowa nie o prędkościach, lecz o ich opisach, otrzymanych z zastosowaniem niejednakowych zbiorów założeń, co powoduje, że opisy te są z sobą nieporównywalne. Tak więc każdy punkt wewnątrz kuli C może przez odpowiedni dobór założeń stać się jej środkiem, zawsze jednak (tzn. przy każdym zbiorze założeń) będzie istnieć jeden i tylko jeden taki punkt, pozostałe zaś wypełniać będą przestrzeń między środkiem a powierzchnią kuli. A zatem jeden i tylko jeden stan ruchu cechuje izotropowość prędkości światła, natomiast względem wszystkich pozostałych prędkości światła posiada pewną anizotropię o różnej wielkości i różnym kierunku.

Obiektywne, fizyczne zmiany właściwości obiektów, związane z ruchem absolutnym, obserwujemy w pomiarach z zastosowaniem dowolnego zbioru założeń (w szczególności w dowolnym układzie odniesienia), z tym tylko, że na skutek dowolności tych założeń otrzymujemy różne, nieporównywalne z sobą opisy tych właściwości i ich zmian.

W szczególności to, że procesy fizyczne ulegają zwolnieniu w miarę wzrostu odległości stanu ruchu od środka kuli C , jest nie tylko znanym faktem doświadczalnym, lecz w dodatku faktem, który znajduje niebagatelne zastosowanie praktyczne. Umiemy bowiem wydłużać i wydłużamy laboratoryjnie nawet setki razy czas życia nietrwałych mionów i mezonów, umieszczając je i przetrzymując na zamkniętych orbitach, zbliżonych do powierzchni kuli C , (czyli w stanach ruchu, w których procesy fizyczne przebiegają znacznie wolniej). Byłoby to nie do pogodzenia ze stwierdzeniem, iż „czas płynie we wszystkich układach inercjalnych jednakowo”, gdyby rozumieć to stwierdzenie tak, że „chody identycznych zegarów są we wszystkich stanach ruchu jednakowe”, czyli gdyby odnosić to stwierdzenie do samych właściwości obiektów (w szczególności do chodu zegarów). Sprzeczność znika, jeśli wziąć pod uwagę, że stwierdzenie to dotyczy nie chodu zegarów, lecz opisów tego chodu, uzyskanych z zastosowaniem niejednakowych zbiorów założeń, na skutek czego opisy te są z sobą nieporównywalne.

Wypada tylko jeszcze rozwiać złudne nadzieje, że stan ruchu S_0 można byłoby wykryć, wysyłając w przestrzeni prędkości w różne strony identyczne zegary, pozostawiając je tam dostatecznie długo i potem porównując ich wskazania. Wydaje się, że ten, który trafiłby w okolicę środka kuli C , powinien okazać się po czasie „starszy” od wysłanego w kierunku przeciwnym, bliżej powierzchni tej kuli. Jest tak istotnie według przedstawionej tu interpretacji, (dokładnie tak samo zresztą, jak i według standardowej interpretacji STW), aby jednak móc zrobić porównanie, potrzeba sprowadzić zegary do tego samego punktu (w przestrzeni odległości), to zaś wymaga nadania im prędkości skierowanej przeciwnie, czyli umieszczenia ich na dostatecznie długi okres czasu w stanie ruchu przeciwległym (w przestrzeni prędkości) do pierwotnego, co prowadzi do wykompensowania różnicy wskazań, tak że pozostanie tylko mały efekt „relatywistyczny”, niezależny od kierunku i zawsze tego samego znaku (powracający obiekt jest zawsze „młodszy”).

15. Podsumowanie

Artykuł niniejszy nie jest miejscem polemiki z tradycyjną, ogólnie przyjętą interpretacją szczególnej teorii względności. Przedstawiając jednak interpretację alternatywną, wypada wspomnieć, jakie są zastrzeżenia zwolenników tej alternatywnej interpretacji pod adresem zwolenników interpretacji standardowej. Według tych pierwszych sformułowania standardowe są niedokładne i niejednoznaczne, co prowadzi do mylących wniosków, w których dochodzi do rozmycia obrazu obiektywnej rzeczywistości. Przyczyny tego stanu są w szczególności następujące:

a) Brak rozróżniania między właściwościami obiektów fizycznych a opisami tych właściwości i wynikające stąd wymieszanie w wynikach badań, a co za tym idzie także w definicjach i twierdzeniach, elementów umownych, subiektywnych z obiektywnymi;

b) Brak rozróżniania między stanami ruchu obiektów fizycznych a układami odniesienia, w których obiekty te są opisywane, co prowadzi do niedokładności i niejednoznaczności sformułowań i twierdzeń;

c) Brak rozróżniania między formalną zgodnością opisów właściwości a fizyczną zgodnością tych właściwości, prowadzący do braku rozróżniania między formalną równoważnością układów odniesienia, a fizyczną równoważnością stanów ruchu (czyli między względnością formalną, a względnością fizyczną);

d) Wymieszanie pojęć fizycznych z pojęciami geometrycznymi, w szczególności wprowadzenie zmiennej metryki, zależnej od fizycznych właściwości obiektów, co uniemożliwia porównywanie opisów właściwości obiektów w różnych stanach ruchu i sprawia, że wyciągane wnioski co do właściwości tych obiektów i ich zmian pod wpływem ruchu są niepoprawne.

Alternatywna interpretacja względności, zawierająca pojęcie wyróżnionego stanu ruchu, której elementy przedstawiono tu w zarysie, jest zdaniem tych, którzy ją przemyśleli i zrozumieli, bogatsza w treść fizyczną od interpretacji standardowej na skutek tego, że sięga głębiej w istotę opisywanych zjawisk, nie zadowala się samą tylko logiczną spójnością sformułowań i zgodnością przewidywań z doświadczeniem, lecz poszukuje także wniosków, dotyczących głębszej fizycznej istoty badanych zjawisk. W szczególności można wymienić następujące jej zalety:

a) Zachowanie klasycznych pojęć przestrzeni i czasu; obserwowane efekty „relatywistyczne” wyjaśnia się nie jako wynik innej od dawniej przyjmowanej budowy czasoprzestrzeni, lecz jako wynik innego od dawniej przyjmowanego zachowania się obiektów fizycznych: zmiany właściwości tych obiektów pod wpływem ruchu absolutnego;

b) Zachowanie klasycznego, pogładowego charakteru rozchodzenia się światła; domniemana niezależność jego prędkości od układu odniesienia wyjaśnia się jako zjawisko pozorne, będące skutkiem wprowadzanych założeń, czyli skutkiem sposobu wprowadzania elementów umownych (w szczególności przepisu synchronizacji odległych zegarów, u którego podstaw leży już założenie o izotropii prędkości światła);

c) Zachowanie klasycznych przekształceń przestrzennych (w postaci transformacji Galileusza) pod warunkiem zachowania we wszystkich opisach (układach odniesienia) tego samego zbioru założeń; transformację Lorentza wyjaśnia się jako jednoczesną zmianę układu odniesienia i zmianę zbioru założeń (dostosowanie metryki do aktualnych, zmienionych właściwości obiektów);

d) Zachowanie klasycznego, pogładowego sposobu składania prędkości pod warunkiem porównywalności wszystkich składanych opisów prędkości, czyli pod warunkiem zachowania we wszystkich pomiarach i opisach tego samego zbioru założeń; nieaddytywny wzór na „składanie prędkości” wyjaśnia się jako przepis na składanie nieporównywalnych z sobą opisów prędkości, otrzymanych przy zastosowaniu niejednakowych założeń;

e) Zachowanie pełnej jednoznaczności wyników pomiarów, przeprowadzanych na obiektach w dowolnych stanach ruchu, przy użyciu narzędzi pomiarowych znajdujących się w dowolnych stanach ruchu, pod warunkiem zachowania we wszystkich pomiarach i opisach tego samego zbioru założeń; „względność” wyników pomiarów wyjaśnia się jako wynik otrzymywania nieporównywalnych z sobą opisów na skutek stosowania niejednakowych założeń.

f) Poglądowe wyjaśnienie zjawisk „relatywistycznych” (skracania długości, czyli tzw. kontrakcji i zwalniania procesów fizycznych, czyli tzw. dylatacji czasu) jako wyniku rzeczywistych zmian właściwości obiektów, związanych z ruchem absolutnym;

g) Fizyczne wyjaśnienie przyczyny zjawisk „relatywistycznych” jako wyniku dopasowywania się właściwości obiektów do aktualnej anizotropii oddziaływań siłowych;

h) Wyjaśnienie zasady względności, czyli równoważności układów odniesienia, jako względności formalnej, pozornej, opartej na formalnej zgodności nieporównywalnych z sobą opisów, z której na skutek tego nie wynika względność fizyczna.

i) Możliwość wyprowadzenia tej interpretacji z danych doświadczalnych na podstawie elementarnych założeń (w szczególności zasady zgodności pomiarów), będących podstawowym, intuicyjnym uzbrojeniem każdego eksperymentatora; w interpretacji standardowej wyprowadzenia takiego brak: bazuje ona jak wiadomo na przyjętych ad hoc postulatach, których utrzymanie wymaga odrzucenia takich podstawowych, intuicyjnych założeń (w szczególności zasady zgodności pomiarów) i wynikających z nich wniosków empirycznych.

W sumie szczególna teoria względności w ujęciu lorentzowskim daje bardzo przejrzysty, piękny obraz faktów, pozbawiony wszelkiej zagadkowości czy paradoksalności, całkowicie zgodny z powszechnym, intuicyjnym postrzeganiem świata. Należy przy tym podkreślić, że osiąga się to bez utraty czegokolwiek wartościowego i bez wszelkich zagrożeń, czego tak bardzo zdają się obawiać zwolennicy interpretacji standardowej. Ponieważ formalizm zasady względności pozostaje nienaruszony, nie trzeba niczego zmieniać w samej STW, ani też nie zachodzi obawa konieczności rewizji czegokolwiek w innych teoriach fizycznych, zbudowanych na podłożu STW. Różnica dotyczy niejako tylko języka, którym opisywane są znane fakty, co jednak nie jest bez znaczenia, jeśli opis alternatywny cechuje większa przejrzystość i łatwiejsza przyswajalność, pozwalająca lepiej zrozumieć fakty i dostrzec nowe szczegóły.

Według zwolenników interpretacji standardowej tłumaczenie efektów „relatywistycznych” rzeczywistymi zmianami, zachodzącymi pod wpływem ruchu, jest „skomplikowanym wyjaśnieniem prostego zjawiska” (patrz np. [17]). Z punktu widzenia interpretacji Lorentza jest odwrotnie. To właśnie w interpretacji standardowej proste zjawisko (wpływ ruchu absolutnego na właściwości poruszających się ciał) tłumaczone jest w sposób skomplikowany (zburzeniem fundamentalnych koncepcji przestrzeni i czasu, wprowadzeniem zmiennej metryki i zrelatywizowaniem wszystkiego prócz niezmienników lorentzowskich) tylko po to, aby zabsolutyzować zasadę względności. Istnienie lorentzowskiej interpretacji alternatywnej obala przekonanie, że ta „głęboka rewolucja w sposobie myślenia” narzucona została przez fakty doświadczalne. W świetle tej alternatywy jawi się ona raczej jako twór niepotrzebny.

Na zakończenie należy jednak stwierdzić, że błędem byłoby oczekiwać, iż przeciwstawienie sobie obu interpretacji może doprowadzić do zwycięstwa jednej, a obalenia drugiej. Z uwagi na zgodność przewidywań empirycznych jest to zarówno niecelowe, jak i niemożliwe. Nie miałyby też sensu podejmowanie wysiłków celem zdobywania zwolenników dla jednej interpretacji kosztem drugiej. Natomiast potrzebne i ze wszech miar pożyteczne wydaje się wnikliwe analizowanie obu interpretacji, w szczególności zaś ich aparatu pojęciowego i przyjmowanych w nich (często milcząco lub nawet podświadomie) założeń, gdyż może to

zarówno wzbogacić naszą fundamentalną wiedzę o prawach rządzących materią, jak i wysubtelnić naszą metodologię naukową. Nie ma więc sensu toczyć sporów, warto natomiast spokojnie zająć się badaniem podłoża tego swoistego dualizmu, który tak długo pozostawał na ogół niedostrzeżony. Jeśli opracowanie niniejsze zdoła się do tego przyczynić, to spełni ono swój cel.

Literatura

- [1] H. A. Lorentz, *The Principle of Relativity for Uniform Translations*, w: *Lectures on Theoretical Physics (1910–1912)*, Vol. 3, Macmillan, London 1931.
- [2] H. E. Ives, *J. Opt. Soc. Am.* **42**, 520 (1952).
- [3] G. Builder, *Austral. J. Phys.* **10**, 226; 427 (1957).
- [4] H. Dingle, *Austral. J. Phys.* **10**, 418 (1957).
- [5] S. J. Prokhovnik, *The Logic of Special Relativity*, Cambridge University Press, 1967.
- [6] L. Jánossy, *Theory of Relativity Based on Physical Reality*, Akadémiai Kiadó, Budapest 1971.
- [7] T. Sjödin, *Nuovo Cim.* **B 51**, 229 (1979).
- [8] M. F. Podlaha, *Lett. Nuovo Cim.* **25**, 255 (1979); **28**, 216 (1980).
- [9] G. Cavalleri, Ø. Grøn, *Lett. Nuovo Cim.* **18**, 508 (1977).
- [10] W. Frejtlak, *Studia Filozoficzne* Nr 2, 139 (1966).
- [11] T. Grabińska, *Z Zagadnień Filozofii Przyrodoznawstwa i Filozofii Przyrody* t. VIII, 1986; *Physics Today* **106**, (May 1983); w: Isaac's Newton's „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”, World Scientific, Singapore 1988.
- [12] J. Czerniawski, *Zagadnienia Naukoznawstwa* zesz. 3–4, 1990; *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* zesz. 2, 1991.
- [13] J. Kajfosz, *Raporty Instytutu Fizyki Jądrowej* No. 1170/PL i 1194/PL, Kraków 1982.
- [14] G. Holton, *Am. J. Phys.* **30**, 462 (1962).
- [15] S. J. Bazański, *Postępy Fizyki* **38**, 35 (1981).
- [16] J. Czerniawski, J. Kajfosz, *Postępy Fizyki* **41**, 201 (1990).
- [17] E. F. Taylor, J. A. Wheeler, *Fizyka czasoprzestrzeni*, PWN, Warszawa 1975, s. 118.