

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. III/IV, 7

SECTIO I

1978/1979

Międzyuczelniany Instytut Filozofii i Socjologii

Kazimierz JODKOWSKI

Koncepcja przestrzeni i czasu w kosmologii Edwarda Artura Milne'a

Концепция пространства и времени в космологии Эдуарда Артура Мильна

The Concepts of Space and Time in the Cosmology of Edward Arthur Milne

E. A. Milne¹ był twórcą oryginalnego systemu kosmologicznego, zawierającego nie tylko kosmologię, lecz także dużą część fizyki teoretycznej: szczególną teorię względności i mechanikę klasyczną. System ten prowadził też do nowych teorii pól fotonowych i elektromagnetycznych oraz dawał podstawy teorii atomów i jąder atomowych. Po raz pierwszy Milne swoje idee głosił w „Nature” w 1932 r.², a rok później w serii wykładów pt. *Struktura świata: problemy czasu i przestrzeni oraz rozkładu materii i ruchu we Wszechświecie* wygłoszonych w University College of Wales w Aberystwyth. Z upływem czasu Milne nieco modyfikował swoje poglądy, aby w 1935 r. wydać swoje najważniejsze dzieło *Relativity, Gravitation and World-Structure*. Praca ta wywołała ożywioną dyskusję wśród fizyków i kosmologów. Kinematyczna teoria względności, bo tak nazywał ją autor, spotkała się z surową krytyką, często niesłuszną. Nic więc dziwnego, że w wydanej w 1948 r. książce *Kinematic Relativity* Milne nie uwzględnił wielu krytycznych głosów, niestety także i słusznych.

¹ Edward Artur Milne, astronom i matematyk angielski, urodził się w Hull w 1896 r. W latach 1920—1924 był asystentem obserwatorium w Cambridge (Trinity College), a przez następne cztery lata profesorem matematyki stosowanej uniwersytetu w Manchester. Od 1928 r. stanowisko to zajmował w Oxfordzie (Wadham College). Zajmował się głównie astrofizyką teoretyczną i kosmologią. Był współtwórcą, wraz z W. H. McCrea, kosmologii newtonowskiej (1934). Zmarł w 1950 r. w 1950 r.

² E. A. Milne: *World structure and the expansion of the universe*, „Nature”, vol. 130, 1932, s. 9—10. Por. także J. Jeans: *Wszechświat. Gwiazdy. Mgławice. Atomy*, b.m.w., 1947, s. 101 oraz M. Johnson: *Time, Knowledge and the Nebulae*, London, b.r.w., s. 11.

„WGLĄD W ZJAWISKA” JAKO NACZELNY POSTULAT KOSMOLOGII
E. A. MILNE’A

Metoda, jaką Milne stosował przy konstrukcji kinematycznej teorii względności, była rezultatem zarówno jego celów badawczych, jak też poglądów metodologicznych, teoriopoznawczych i ontologicznych. Celem Milne’a, co deklaruje on już w pierwszym zdaniu *Relativity...*, było zdobycie wglądu w zjawisko ekspandującego Wszechświata.³ Możliwość dania wglądu w zjawiska (insight into phenomena) odgrywa olbrzymią rolę w kosmologii Milne’a, który czynił to pod wpływem lorda E. Rutherforda. To właśnie Rutherford żądał fizykalnego wglądu w fizykalne zjawiska, a Milne to żądanie zaakceptował z całą mocą twierdząc, że jest przychylnie nastawiony do tego stanowiska, gdyż odznacza się ono jasnością wywodów.

Czym jest wgląd w zjawiska? Pojęcie to przejawia się niemal przez wszystkie strony *Relativity...* Niestety, nigdzie nie jest bliżej określone. Tylko z kontekstu można się domyślać, jaka treść wiąże się z tym pojęciem. Milne ostro krytykował nieadekwatny, jego zdaniem, aparat matematyczny stosowany w fizyce i kosmologii.⁴ Krytyka ta jest szczególnie wyraźna przy przedstawianiu poglądów na czas i przestrzeń. Był on zdania, że prawdziwa natura zjawisk nie jest tak niejasna, aby musiały one być opisywane przy pomocy nieokreślonych pojęć (indefinable concepts), tzn. takich, których przeciętny człowiek, nie matematyk, nie może nigdy zrozumieć.

O jakie pojęcia może tu chodzić? Milne krytykuje np. posługiwanie się w ogólnej teorii względności sztywną skalą długości. Jego zdaniem, jest niemożliwe powiedzenie bez dogłębnej analizy, co się rozumie przez stwierdzenie, że dwa pręty pomiarowe oddalone od siebie są równe. Podobnie rzecz ma się z dwoma oddalonymi od siebie lub znajdującymi się w ruchu zegarami: nie wiemy, czy wskazują one ten sam czas, czy nie. Konsekwencją odrzucenia obu wyżej wymienionych pojęć „nieokreślonych” jest też odrzucenie aksjomatu (jak go nazywa Milne) stałości prędkości światła. Prędkość jest stosunkiem długości do różnicy czasu, a obie te wielkości są „nieokreślone”.⁵ Stałość liczby c , charakteryzującej prędkość światła, Milne wprowadza w konwencjonalny sposób.

Wszechświat, być może, jest tajemniczy i nie daje się w pełni zrozu-

³ „The investigation here to be described originated in an attempt to gain insight into the phenomena” (E. A. Milne: *Relativity, Gravitation and World-Structure*, Oxford 1935, s. 1).

⁴ „It is in fact almost always true that the complicated mathematical machinery of general relativity obscures by its very the inner nature of phenomena it attempts to explore [...] far more insight is gained by elementary considerations” (Milne: *Relativity...*, s. 77; por. też *ibid.*, s. 91).

⁵ Por. *Ibid.*, s. 17 oraz s. 22—23.

mieć, albo jest dostępny poznaniu tylko garstce uczonych. Jednakże, według Milne'a, nie można tego nigdy zakładać. Trzeba zawsze próbować uczynić wgląd w zjawiska. Trudno jest bliżej zdefiniować „wgląd w zjawiska”, gdyż sam Milne uważał, że jest to pojęcie nieokreślone, a więc takie, jakie rugował ze swego systemu. Bez wątpienia, był on zwolennikiem jasnego formułowania myśli i opisywania zjawisk. Nie jest to oczywiście pogląd nowy, gdyż wyznawało go już wielu filozofów.⁶ To jasne opisywanie zjawisk było jednak przez niego w pewien specyficzny sposób rozumiane, chociaż nie występuje *explicite* w pismach Milne'a.

Autor, jak się wydaje, dążył do maksymalnej naoczności w fizyce. Zjawisko było dlań zrozumiałe, gdy mógł spostrzec bądź wyobrazić sobie mechanizm jego powstawania i rozwijania się. Chyba ma rację W. Sztoff, gdy twierdzi, że „naoczność [...] jest charakterystyczną cechą, własnością zmysłowej domeny poznania, że właściwa jest ona wszystkim formom zmysłowego odbicia rzeczywistości — wrażeniom, spostrzeżeniom i wyobrażeniom”.⁷ Praca Milne'a — operowanie wyobrażeniami — odpowiada powyższemu określeniu naoczności. Metoda stosowana przy konstruowaniu kinematycznej teorii względności polegała na dokonywaniu eksperymentów myślowych na modelach myślowych.⁸ Środkami budowania takich modeli są wyobrażenia⁹, a więc te formy poznania zmysłowego, które, obok wrażeń i spostrzeżeń, charakteryzują się naocznością. Sztoff wyraża pogląd, że aby istotę rzeczy uczynić naoczną, trzeba koniecznie posługiwać się modelami idealnymi. Oczywiście nie znaczy to, że tę istotę rzeczy można bezpośrednio spostrzec — znaczy to tylko, że można skonstruować zmysłowy obraz zjawiska lub zespołu zjawisk jakiegoś fragmentu rzeczywistości. Przy odtwarzaniu myślowym zjawiska oczyszcza się je z tego, co nieistotne i drugorzędne. „W takim myślowo przekształconym zjawisku, które występuje już w postaci modelu, istota jak gdyby zeń «prześwieca» i w tym znaczeniu wolno mówić, że za pomocą modelu można zbliżyć się do naocznego uchwycenia istoty”.¹⁰

⁶ Na przykład 4.116 teza *Traktatu* Wittgensteina formułuje myśl, pod którą Milne z pewnością by się podpisał: „Cokolwiek da się w ogóle pomyśleć, da się jasno pomyśleć. Cokolwiek da się wypowiedzieć, da się jasno wypowiedzieć” (L. Wittgenstein: *Tractatus logico-philosophicus*, tłum. B. Wolniewicz, Warszawa 1970, s. 29). Pogląd ten mógł wpłynąć na Milne'a, gdyż znał on to dzieło Wittgensteina. (Por. Milne: *Relativity...*, s. 83).

⁷ W. Sztoff: *Modelowanie i filozofia*, tłum. S. Jędrzejewski, Warszawa 1971, s. 295.

⁸ Model to „system przedmiotów różniący się głównie rozmiarem od przedmiotów przynajmniej w przybliżeniu dostępnych zwykłemu doświadczeniu. W związku z tym model tak pojęty można przedstawić obrazowo lub w wyobraźni”, (E. Nagel: *Struktura nauki*, przekład zbiorowy z j. ang., Warszawa 1970, s. 105).

⁹ Sztoff: *Modelowanie...*, s. 302.

¹⁰ *Ibid.*, s. 310.

We wglądzie w zjawiska niebagatelną rolę odgrywała jeszcze prostota wszelkich obliczeń. Procedura badawcza powinna być jasna, zrozumiała (nie może prowadzić do paradoksów) i posługiwać się najprostszymi środkami. Zdaniem Milne'a, kinematyczna teoria względności cechuje się dużo większą prostotą obliczeniową, niż ogólna teoria względności¹¹, gdyż nie dokonuje obliczeń przy pomocy rachunku tensorowego, lecz używa matematyki elementarnej, a w dalszym okresie swego istnienia — teorii grup.¹² Także pod względem wymaganej aparatury pomiarowej kinematyczna teoria względności jest prostsza od ogólnej teorii względności, wymaga bowiem tylko zegarów i teodolitów. Był to wynik postulatu Milne'a, że liczbę urządzeń pomiarowych należy zredukować do minimum.¹³ Całą kinematyczną teorię względności autor starał się wyprowadzić jedynie z pomiarów czasu i kątów przestrzennych. Doświadczenia czasowe w jego koncepcji odgrywały fundamentalną rolę. Miały być tak pewne i nie do obalenia, że powinny wystarczyć do zbudowania fizyki zajmującej się ekspansją Wszechświata i dostarczyć dostatecznej bazy do jej konstrukcji. A więc i punkt wyjścia (doświadczenia temporalne) był mocno zredukowany w porównaniu z ogólną teorią względności Einsteina.¹⁴

Alternatywne rozwiązania, pojawiające się często przy rozważaniu określonych problemów, Milne niejednokrotnie odrzucał, gdyż prowadziły one do niemożliwych do zaakceptowania konsekwencji, czy wręcz do sprzeczności. Tak np. odrzucał koncepcję Wszechświata — wyspy (skończonej ilości galaktyk w nieskończonej przestrzeni), gdyż taki Wszechświat był dla niego „niezrozumiały”; nie wiadomo, dlaczego część przestrzeni miałaby być wypełniona materią, a reszta nie.¹⁵ Poza tym dla skończonej liczby obserwowanych obiektów można obliczyć ich średnią prędkość i posłużyć się nią w zdefiniowaniu „spoczynku”, a to z kolei jest również „niezrozumiałe”.¹⁶ Supozycja, że Wszechświat posiada skończoną ilość świecących obiektów w nieskończonej przestrzeni, prowadzi do konsekwencji nie do przyjęcia. Konsekwencji tych unika kosmologia relatywistyczna operująca zamkniętą zakrzywioną przestrzenią. Zdaniem Milne'a, kosmologia relatywistyczna unikając jednych sprzeczności wpada w inne. Przyjmując mianowicie, choć nie jest to powszechnie znane, ciągłą krea-

¹¹ Por. Milne: *Relativity...*, s. 10.

¹² Por. Johnson: *Time...*, s. 88—89

¹³ Por. Milne: *Relativity...*, s. 25.

¹⁴ Por. Milne: j.w., s. 14—15.

¹⁵ Por. „[...] it is not intelligible universe, for by the nature of things the question why one part of this void should be populated by matter and the rest be empty is for ever incapable of answer.” (*Ibid.*, s. 116).

¹⁶ Por. „[...] the meaning of this selection of a preferential frame by the material objects in a featureless space is for ever unintelligible.” (*Ibid.*, s. 117).

cję materii w czasie.¹⁷ Milne szczegółowo udowadniał, że we Wszechświecie Einsteina — de Sittera ze wzrostem czasu do nieskończoności obserwować się powinno nieskończony wzrost masy.¹⁸

Pozytywistyczne stanowisko autora nie pozwalało mu przyjąć ciągłej kreacji materii w doświadczeniu obserwatora, jak również wielu innych tez (np. co było przed rozpoczęciem ekspansji Wszechświata?, co jest na zewnątrz ekspandującego Wszechświata? itp.). Zdania nieweryfikowalne nie mają żadnej treści, są bezsensowne. Milne był skłonny zmodyfikować aforyzm L. Wittgensteina: „Świat jest wszystkim, co jest faktem” (The world is everything that is a case) na: „Świat jest wszystkim, co może być obserwowane jako fakt” (The world is everything that can be observed to be the case). Wgląd w zjawiska musiał mieć więc obserwacyjny charakter.¹⁹ Tzw. prosty kinematyczny model Wszechświata miał spełniać wszystkie wymagania, jakie stawiał Milne właściwemu wyjaśnieniu ekspansji Wszechświata. Oceniając ten model autor pisał, że chociaż system ten przejawia dziwne własności, to jednak nie wprowadza żadnych paradoksów, jest wolny od sprzeczności. Wszystkie te własności są racjonalnie wyjaśnione, a rachunki mają najprostszы charakter. System dzięki temu może być łatwo zilustrowany przez wykres czy diagram.²⁰ Powyższą charakterystykę wspomnianego modelu Milne przedstawił oczywiście w opozycji do modeli ogólnej teorii względności.

Wydaje się więc, że postulowanie „wglądu w zjawiska” jest niczym innym jak żądaniem w fizyce naoczności połączonej z prostotą (procedur badawczych, aparatury językowej i pomiarowej oraz punktu wyjścia) i z jasnością myśli, tj. wykluczeniem nieokreślonych pojęć i paradoksalnych konsekwencji, czyli takich, które eliminowane były przez jego ostrą definicję sensowności. Trzeba jednak dodać, że nie wszyscy cenią tak wysoko, jak Milne, naoczność. Tak np. Ph. Frank twierdzi, że dążenie do niej jest cechą słabych i konserwatywnych umysłów, dla których rozumiałe jest tylko to, co zgodne ze zdrowym rozsądkiem.²¹ Podobne zdanie

¹⁷ Por. *ibid.*, s. 117—118.

¹⁸ Por. *ibid.*, s. 324—325. Naturalnie, nie ma to nic wspólnego z ciągłą kreacją materii w teoriach stanu trwałego.

¹⁹ Por. *ibid.*, s. 83 oraz 131.

²⁰ „Strange though the properties of the system may appear, they involve no mystifying paradoxes. They are all rationally explicable, and the calculations relating them are throughout of the simplest character. They are all capable of being described in terms of the measures of customary physics, and the system can readily be illustrated by a diagram. It is completely free from self contradiction.” (*Ibid.*, s. 111). Por. też: „The system we have described is free from all internal contradictions and free from unacceptable paradoxical consequences. It is easily pictured and represented in diagram.” (*Ibid.*, s. 128).

²¹ Ph. Frank: *Modern Science and Its Philosophy*, Cambridge 1950. (Zob. Sztoff: *Modelowanie...*, s. 274).

o modelach myślowych wyrażał P. Duhem i jego zwolennicy.²² Z drugiej strony jednak niektórzy badacze, bynajmniej nie o słabych umysłach, nie potrafili obyć się bez modelu. Przykładem może być Kelvin i jego zamiłowanie do modeli mechanicznych.²³ Wydaje się słuszne twierdzenie, że modele naoczne odgrywały i odgrywają znaczną rolę w nauce, nie tylko heurystyczną, lecz i wyjaśniającą.

W świetle współczesnych osiągnięć kosmologii należy wątpić, czy Milne'owi rzeczywiście udało się dać nowy wgląd w zjawisko ekspandującego Wszechświata. Tzw. prosty model Milne'a, gdzie tzw. promień Wszechświata jest proporcjonalny do czasu, $R(t) \sim t$, różni się od modelu szczególnej teorii względności, $R(t) = \text{const.}$, tylko odmiennym sposobem wprowadzenia wiązki geodetyk.²⁴ Niewątpliwie jednak podejście Milne'a było bardzo proste i dające niemalże intuicyjne wyjaśnienie wielu związków fizycznych i astronomicznych.²⁵

KONCEPCJA PRZESTRZENI

Kinematyczna teoria względności zbudowana została w opozycji do Einsteinowskiej ogólnej teorii względności. Aby zrozumieć w pełni Milne'a koncepcję przestrzeni (a później i czasu), wydaje się więc wskazane poświęcić nieco uwagi koncepcji przestrzeni i czasu u Einsteina.

A. Einstein przyjął relacyjną teorię czasu i przestrzeni, której twórcą był Leibniz. Ten ostatni pisał: „Uważam przestrzeń za porządek współistnień, tak jak czas jest porządkiem następstw. Przestrzeń bowiem oznacza porządek rzeczy istniejących w tym samym czasie i uważanych za istniejące razem [...]. Ja nie twierdzę, że materia i przestrzeń są tą samą rzeczą, mówię jedynie, że jeśli nie ma materii, to nie ma przestrzeni; przestrzeń sama przez siebie nie jest absolutną realnością. Przestrzeń i materia różnią się tak jak czas i ruch. Jednak te rzeczy, chociaż się różnią, są nierozdzielne”.²⁶ Podobnie jak Leibniz, również E. Mach traktował

²² Por. P. Duhem: *La théorie physique. Son objet — sa structure*, Paris 1914, s. 86—88 oraz 100—101. Por. także Z. Hajduk: *Pojęcie i funkcja modelu*, „Roczniki Filozoficzne”, s. 1972, t. XX, z. 3, s. 110.

²³ Por. Nagel: *Struktura...*, s. 109.

²⁴ Dowód tego twierdzenia znajduje się w: H. P. Robertson and T. W. Noonan: *Relativity and Cosmology*, 1968 (wg M. Heller: *Kosmologia Robertsona-Walkera a kosmologia Friedmanna*, „Postępy Astronomii”, 1972, t. XX, z. 3, s. 246).

²⁵ Por. „[...] E. A. Milne suggested an interesting kinematical model of the universe which offers an almost intuitive explanation (podkreślenie moje — K. J.) of the approximately linear 'velocity-distance' relationship [...]”. (H. P. Robertson: *On E. A. Milne's Theory of World Structure*, „Zeitschrift für Astrophysik”, 1933, Bd VII, s. 153.)

²⁶ A. Trautman: *Lectures on general relativity*, vol. 1, 1964, s. 236. (Cyt. za E. Skarżyński: *Współczesne teorie przestrzeni, czasu i grawitacji*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego”, nr 294, „Prace Filozoficzne”, 1972, z. 2, s. 88.

przestrzeń jako zespół relacji między ciałami, a nie jako coś samoistnie realnego. Przyjmując powyższą koncepcję Leibniza—Macha, Einstein tym samym odrzucił newtonowskie pojęcie przestrzeni absolutnej związanej z klasą układów inercjalnych. Ogólna zasada względności głosiła, że równania czyli prawa fizyki są słuszne w każdym układzie odniesienia. Będzie to spełnione tylko pod warunkiem, że równania będą miały postać tensorową. Einstein zmodyfikował nieco koncepcję Leibniza—Macha mówiącą, że niejednorodność rozkładu mas wywołuje niejednorodność przestrzeni, przyjmując, iż pole grawitacyjne (rozkład mas) wpływa na czasoprzestrzeń, a nie na samą przestrzeń. Pojęcie czasoprzestrzeni, wprowadzone do fizyki przez Minkowskiego, wykorzystał Einstein już w szczególnej teorii względności. W jaki sposób pole grawitacyjne oddziałuje na czasoprzestrzeń? Do opisu tej ostatniej Einstein wybrał geometrię Riemanna. Tzw. doświadczenie Eötvösa wykazało, że zachodzi równość, w granicach błędów pomiarowych, masy ciężkiej, definiowanej na podstawie prawa ciążenia powszechnego, i masy bezwładnej, definiowanej na podstawie drugiego prawa Newtona. Opierając się na doświadczeniu Eötvösa oraz korzystając z faktu, że nie istnieje lokalne kryterium odróżniające siły bezwładności od sił grawitacji, Einstein przyjął, że nieinercyjny układ odniesienia jest równoważny pewnemu polu grawitacyjnemu. Innymi słowy, Einstein zidentyfikował tensor metryczny, odpowiedzialny za związki czasoprzestrzenne, z potencjałami pola grawitacyjnego. A więc rozkład przestrzenny mas determinuje w ogólnej teorii względności nie-euklidesową strukturę geometryczną czasoprzestrzeni. Odchylenia tej struktury od euklidesowej (a ściślej — pseudoeuklidesowej) przejawiają się właśnie jako pole grawitacyjne. Z formalnego punktu widzenia pole grawitacyjne jest „pokrzywieniem” pseudoeuklidesowej czasoprzestrzeni. Istnieje również i zależność odwrotna: odchylenie geometrii czasoprzestrzeni od pseudoeuklidesowej określa z kolei ruch mas w polu grawitacyjnym. Można zatem powiedzieć, że masy kształtują geometrię czasoprzestrzeni, a geometria ta określa ich ruch. To, że zależność ta nie jest absolutna, czyli że ogólna teoria względności nie spełnia zasady Macha²⁷, nie jest ważne dla omawianego tu problemu.

Einsteinowska koncepcja czasoprzestrzeni znalazła zastosowanie w kosmologii. Dzięki badaniom V. M. Sliphera (1912) oraz innych, zwłaszcza

²⁷ Wskazuje na to istnienie w kosmologii modelu Gödla (1949 r.), de Sittera (1917 r.) oraz Tauba (1951 r.). Model Gödla, mimo iż zgodny z ogólną teorią względności, pozwala na absolutny obrót materii względem lokalnego układu inercjalnego, co świadczy, że ogólna teoria względności dopuszcza istnienie ruchu absolutnego. Modele de Sittera i Tauba natomiast pozwalają na istnienie czasoprzestrzeni zakrzywionej bez obecności materii. A więc niektóre własności przestrzeni są indukowane przez masy zawarte w tej przestrzeni, a inne mają charakter absolutny.

M. Humasona i E. Hubble'a, wiadomo, że linie widmowe galaktyk są przesunięte ku czerwieni. Zinterpretowano to zgodnie z efektem Dopplera jako skutek ekspansji Wszechświata. Einstein był przekonany, że zjawiska oddalania się galaktyk nie sposób wyjaśnić w ramach mechaniki newtonowskiej.²⁸ Zastosował więc do tych rozważań swą ogólną teorię względności. Milne uważał, że wraz z tą teorią niepotrzebnie wprowadzono do fizyki pojęcie „zakrzywionej przestrzeni”, które poprzednio funkcjonowało jedynie w geometrii.²⁹ Zło wynikające z tego faktu miało — według Milne'a — polegać na tym, że „zakrzywionej przestrzeni” przypisuje się obiektywną rzeczywistość. Do czego doprowadziła ta ostatnia interpretacja? Posługując się ogólną teorią względności skonstruowano wiele możliwych modeli Wszechświata. Modele te można opisać w przestrzeni o dodatniej krzywiznie, ujemnej albo zerowej; są one ekspandujące, kurczące się albo oscylujące; mają dodatnią, ujemną albo zerową wartość stałej kosmicznej. Nie wysunięto jednak, zdaniem Milne'a, żadnego kryterium mogącego zdecydować, który z modeli mógłby stosować się do Wszechświata odkrywanego przez astronomię. To, że tych modeli jest tak wiele, świadczy przeciwko stosowaniu ogólnej teorii względności do całego Wszechświata.

Autor wspomina, że zaczął się zastanawiać nad tym problemem nie z wrogości do tych modeli albo do ogólnej teorii względności Einsteina, gdyż matematycznie stoją one na najwyższym poziomie. Nie odpowiadało mu wyjaśnianie grawitacji jako zakrzywienia przestrzeni. Nie rozumiał

²⁸ Przekonanie to okazało się błędne, gdy powstała neonewtonowska kosmologia. Po odrzuceniu pewnych założeń milcząco przyjmowanych przez osiemnasto- i dziewiętnastowiecznych fizyków (Milne i McCrea odrzucili statyczność Wszechświata i przyjęli stałą prędkość światła) zastosowano do Wszechświata newtonowską teorię grawitacji. Kosmologia neonewtonowska jest matematycznie dużo prostsza od kosmologii opartej na ogólnej teorii względności, pozwala więc w sposób mało skomplikowany prześledzić wiele istotnych cech kosmologii relatywistycznej. Powstanie kosmologii newtonowskiej obaliło pogląd, jakoby tylko rozmiary układu decydowały o tym, czy może być on rozpatrywany przez teorię Newtona. Okazało się bowiem, że tę ostatnią można stosować nie tylko wewnątrz Układu Słonecznego, ale nawet do całego Wszechświata. Warunkiem jest tylko, aby lokalne prędkości były małe w porównaniu z prędkością światła i aby lokalna grawitacyjna energia potencjalna materii była mała w porównaniu z jej masą spoczynkową. Gdy warunki te są spełnione, wyniki kosmologii newtonowskiej różnią się bardzo nieznacznie od wyników kosmologii relatywistycznej.

²⁹ Wydaje się, że jest to błędny pogląd. W 1900 r. K. Schwarzschild na osiemnastym zjeździe Niemieckiego Towarzystwa Astronomicznego w Heidelbergu przedstawił pracę pt. *O możliwej mierze krzywizny przestrzeni* („Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft”, Bd 35, 1900, s. 337), w której poważnie przedstawił możliwość istnienia przestrzeni nieeuklidesowej w naszym Wszechświecie, próbując nawet obliczyć jego promień krzywizny. (Por. O. Struve i V. Zebergs: *Astronomia XX wieku*, Warszawa 1967, s. 37—38).

natury ani pochodzenia tak pojętej grawitacji.³⁰ Fizycy, którzy twierdzą, że materia wpływa na przestrzeń i wyznacza strukturę przestrzeni, jego zdaniem, ponownie wprowadzają do fizyki pojęcie eteru.³¹

Łączenie w równaniach ogólnej teorii względności pola grawitacyjnego z materią trzeba uznać także za nielogiczne. W ogólnej teorii względności pole (jak też i metryka) jest rozważane zupełnie kinematycznie bez wyszczególnienia obecności materii, która je wywołuje — materia ta jest później określana z równań pola.³² Mimo to ogólna teoria względności odnosiła sukcesy w badaniu przyrody i Milne dobrze je znał. Uważał jednak, że einsteinowskie prawo grawitacji nie było nieuchronną konsekwencją bazy pojęciowej dostarczonej przy pomocy metryki Riemanna.

Innym zarzutem, jaki stawiał ogólnej teorii względności, była niejasność interpretacji jej równań. Kosmologia relatywistyczna stała się domeną fizyków teoretycznych, a właściwie matematyków. Próby opisanie zmatematyzowanych teorii fizykalnych w języku zjawisk (in term of phenomena) prawie zawsze przynosiły opłakane rezultaty. Jako przykład Milne podaje twierdzenie o ekspansji Wszechświata: jedni rozumieli to jako ekspansję samych galaktyk, a inni jako ekspansję przestrzeni między galaktykami. Pojęcie ekspandującej przestrzeni nie ma żadnego znaczenia.³³ A jeżeli twierdzi się, że przestrzeń jest zakrzywiona, to nie wiadomo, czym jest to, co się zakrzywia. W popularnych ujęciach terminy teoretyczne kosmologii relatywistycznej przedstawia się najczęściej przy pomocy metafor, porównań, analogii. Matematycy zaprzeczają jednak, aby na tej drodze można było przybliżyć zrozumienie niejasnych pojęć. Milne zgadzał się z tym stanowiskiem ale, jak wcześniej wspomniano, nie zgadzał się z tezą, że tylko przy pomocy takich nieokreślonych pojęć (indefinable concepts) da się opisać prawdziwą naturę zjawisk.

Do próby zrozumienia ekspansji Wszechświata skłoniło Milne'a oświadczenie J. Jeansa, iż nie wiemy i prawdopodobnie nigdy nie będziemy wiedzieli, dlaczego przestrzeń ekspanduje. Było to zbyt pesymistyczne stanowisko i dlatego Milne postanowił zbudować system kosmologiczny do-

³⁰ „Gravitation as a warping of space [...] gave not the least hint as to the nature or origin of gravitation; why the presence of matter should affect 'space' was left entirely unexplained”. (Milne: *Relativity...*, s. 2).

³¹ *Ibid.*, s. 2. Por. także „[...] the phrase 'expanding space' only has a meaning if we invent a something possessing a density or linear dimensions which can change in time, for example an ether.” (*Ibid.*, s. 120).

³² Por. „[...] it is really illogical to associate a gravitational field with the presence of matter, but at the same time to begin investigation of an abstract field or metric, defining a set of geodesics without first saying how much matter is present and what it is doing.” (*Ibid.*, s. 96).

³³ „To speak of the itself as in a state of expansion is meaningless, for no meaning can be given to expanding space or expanding emptiness.” (*Ibid.*, s. 110).

statecznie jasno tłumaczący ekspansję Wszechświata bez posługiwania się nieokreślonymi pojęciami, tak, by był zrozumiały w zasadzie dla każdego człowieka. Kinematyczna teoria względności używała wyłącznie niezakrzywionej statycznej przestrzeni ze zwykłej fizyki, czyli geometrii euklidesowej. Dla Milne'a wyrażenie „przestrzeń fizyczna” nie miało żadnego znaczenia, a do opisania zjawisk przyrody można — według niego — wybrać dowolną geometrię. Zmieniając geometrię, zmieniamy tylko sposób opisywania tych samych zjawisk. Prawa przyrody i geometria są komplementarne: zmiana geometrii modyfikuje prawa i odwrotnie. Można upraszczać prawa przyrody, komplikując geometrię, albo upraszczać geometrię kosztem komplikowania praw przyrody.³⁴ Można używać więc każdej geometrii, a o wyborze jednej z nich decyduje dogodność. Zawsze jest możliwe, aby obserwator przeprowadzający eksperymenty wybrał niezakrzywioną statyczną przestrzeń Euklidesa. Milne uważał, że to podejście jest prostsze niż podejście Einsteina, które wymaga nieraz bardzo skomplikowanych obliczeń, aby przejść do obserwacji.

Twierdził, że z powodu sukcesów ogólnej teorii względności uczeni zaczęli utrzymywać, że przestrzeń jest naprawdę zakrzywiona, że obecność materii wpływa na przestrzeń. Zdaniem Milne'a, metoda ogólnej teorii względności jest odpowiednia dla jednych zjawisk, a niedogodna dla innych, np. w dziedzinie zjawisk optycznych. Nie krytykował on używania pojęcia zakrzywionej przestrzeni do pewnych szczególnych celów. Uważał bowiem, że geometria riemannowska jest jednym z doskonałych narzędzi stojących do dyspozycji matematyka. Ponieważ do opisu Wszechświata można użyć każdej geometrii, więc i stosowanie do tego celu geometrii Riemanna jest bez zarzutu. Sprzeciwiał się on tylko temu, że Wszechświat zajmuje skończoną zakrzywioną przestrzeń jednorodnie wypełnioną materią. Jego sprzeciw pochodził stąd, że nie mógł przyjąć konsekwencji, jakie wypływają z takiego opisu, zwłaszcza tej, która dotyczyła ciągłej kreacji materii w czasie.³⁵ Milne sprawdził, że we wszystkich przypadkach proponowane wyjaśnienia, operujące pojęciem zakrzywionej przestrzeni, w którymś momencie załamują się.³⁶

„Czasoprzestrzeń” była dlań jedynie umysłowym konstruktem, nie mającym realnego odpowiednika. W związku z tym uważał, że zawsze można było posłużyć się przestrzenią euklidesową. Metoda ogólnej teorii względności jest pod tym względem logicznie równoważna metodzie kinematycznej teorii względności. „Czasoprzestrzeń” mogła mieć jedynie wartość instrumentalną, tzn. być dogodnym narzędziem przeprowadzania pewnych matematycznych rachunków. Jednakże autor bardzo rzadko odwoływał

³⁴ *Ibid.*, s. 13.

³⁵ Por. *ibid.*, s. 119—120.

³⁶ Por. *ibid.*, s. 63.

się do koncepcji czasoprzestrzeni. Nie chciał sprawiać wrażenia, że jest przeświadczony o istnieniu wyższej rzeczywistości ponad czasem i przestrzenią.³⁷ Nie zaprzeczał temu, że jego systemy kinematyczne można przedstawić z uwzględnieniem czasoprzestrzeni. Zagadnienie to badał A. G. Walker, rozważając drogi swobodnych cząstek jako geodetyki w czterowymiarowej przestrzeni. Okazało się jednak, że nie jest to przestrzeń Riemanna. Jest to przestrzeń znana w matematyce jako przestrzeń Finslera.³⁸

Milne oczywiście orientował się, że większość uczonych jest przekonana o tym, iż przestrzeń Wszechświata jest pewnego specyficznego rodzaju.³⁹ Mimo iż zdawał sobie sprawę, że lista zwolenników krzywizny przestrzeni jest duża, to jednak uparcie obstawał przy tezie, że do opisu zjawisk można wybrać dowolną geometrię. Tezy tej nie zamierzał bronić w żadnej dyskusji akademickiej. Fakt, że można ją stosować, że jest efektywna, dostatecznie ją broni. Milne chciał w praktyce udowodnić jej słuszność, opisując przy pomocy niezakrzywionej przestrzeni te układy (systemy) materii o niezerowej gęstości, do których opisania ogólna teoria względności stosowała przestrzeń zakrzywioną. Oba modele kinematycznej teorii względności posługują się geometrią euklidesową. Na przykład przestrzeń zajmowana przez tzw. prosty system kinematyczny, chociaż ma skończoną objętość, posiada wszystkie własności nieskończonej przestrzeni, ponieważ krawędź tego systemu jest na zawsze niedostępna dla każdego hipotetycznego obserwatora poruszającego się z prędkością nie osiągającą prędkości światła.⁴⁰ Rozwiązany jest tym samym problem, czy przestrzeń Wszechświata jest skończona, czy nie. W geometrii jest nieskończona, ale jest to przestrzeń czystej matematyki, a nie fizyki. W fizyce można pytać o to, czy jest możliwa obserwacja materialnych obiektów w dowolnie wielkich odległościach. W prostym modelu kinematycznym Milne'a mierzona odległość każdego materialnego obiektu w danej epoce t obserwacji jest nie tylko skończona, ale i mniejsza niż ct .⁴¹

Byłoby dziwne, sądził Milne, gdyby przestrzeń, którą stosuje się w codziennym doświadczeniu⁴² i w całej fizyce, wyłączając grawitację, była

³⁷ Por. *ibid.*, s. 17–18.

³⁸ Por. *ibid.*, s. 167.

³⁹ Cytowani przez niego autorzy to G. C. McVittie, W. de Sitter (*Kosmos*) i B. Russell (*Mysticism and Logic*).

⁴⁰ Por. Milne: *Relativity...*, s. 106.

⁴¹ Por. *ibid.*, s. 132.

⁴² Konwencjonalistyczne poglądy Milne'a różnią się w tym punkcie od poglądów Poincaré'go, na którym się wzorował. Ten ostatni tak pisze: „[...] przestrzeń wyobrażeniowa [...] jest zasadniczo różna od przestrzeni geometrycznej.” (H. Poincaré: *Nauka i hipoteza*, tłum. M. H. Horwitz, Warszawa 1908, s. 52).

nieadekwatna do opisu zjawisk grawitacyjnych.⁴³ Widział on słabość ogólnej teorii względności w tym, że nie może sobie pozwolić na wybór geometrii euklidesowej i musi posługiwać się geometrią riemannowską.

W kinematycznej teorii względności przestrzeń i czas nie zajmują tego samego miejsca w hierarchii ważności. Czas jest czymś fundamentalnym, natomiast pomiary przestrzenne redukują się do pomiarów czasowych.

WZGLĘDNY CHARAKTER GEOMETRII

Przedstawiając swoje poglądy na geometrię, Milne powołuje się na H. Poincarégo. Poglądy francuskiego matematyka na geometrię i jej rolę w nauce pokrywają się zupełnie z poglądami Milne'a. Dlatego też, aby w pełni ocenić poglądy Milne'a w tej sprawie, słuszne wydaje się przedstawienie najważniejszych idei geometrycznych Poincarégo.

Dla tego ostatniego każda geometria to tylko zbiór konwencji (umów) i nie ma sensu pytanie, czy któraś geometria, np. euklidesowa, jest prawdziwa. Może ona być tylko dogodniejsza od drugiej.⁴⁴ Wszystkie geometrie — i na tym polega teza o względności geometrii — są równie prawdziwe, o ile nie prowadzą do wewnętrznych sprzeczności. Przy wyborze geometrii liczą się jedynie względy pragmatyczne i estetyczne.⁴⁵ Zarówno Poincaré, jak i Milne za najdogodniejszą uważali geometrię euklidesową. Znaczący to, że jej stosowanie sprawia najmniej kłopotów. Gdyby jednak ktoś nie obawiał się nadmiernych komplikacji, może stosować którąś z geometrii nieeuklidesowych.

Dla Poincarégo pojęcie przestrzeni geometrycznej nie miało realnego odpowiednika w rzeczywistości, było tylko wygodnym instrumentem ujmowania zjawisk. Milne przejął ten pogląd w niezmienionej postaci. Nie widzieli oni obaj żadnych powodów, aby sądzić, że przestrzeń jest samodzielnym bytem istniejącym niezależnie od fizycznych związków między ciałami. Pojęcie przestrzeni ma genezę empiryczną, ale jednorodna trójwymiarowa przestrzeń geometrii euklidesowej jest już rezultatem upraszczających konwencji w stosunku do danych doświadczenia. Zastanawiając się nad tym, czy przestrzeń geometryczna jest tożsama z przestrzenią wyobrażeniową⁴⁶, Poincaré zaznacza: „Nie wyobrażamy [...] sobie

⁴³ „It would be indeed remarkable [...] if the space which suffices for everyday experience and for the whole of physics excluding gravitation, were also inadequate for describing gravitational phenomena”. (Milne: *Relativity...*, s. 13).

⁴⁴ Poincaré: *Nauka...*, s. 46—47.

⁴⁵ Poincaré: *Nauka...*, s. 78. Por. również I. Szumilewicz: *Pojęcie prawa w koncepcji filozoficznej Henri Poincarégo [w:] Pojęcie prawa nauki a konsekwencjonalizm początku XX wieku*, Wrocław—Warszawa—Kraków—Gdańsk 1972, s. 61—62.

⁴⁶ Por. Poincaré: *Nauka...*, s. 47—52 oraz L. Kołakowski: *Filozofia politywistyczna*, Warszawa 1966, s. 152.

ciał zewnętrznych w przestrzeni geometrycznej, lecz rozumiemy nad tymi ciałami, tak, jak gdyby znajdowały się w przestrzeni geometrycznej”⁴⁷ (podkreślenia H. Poincarégo). Jeżeli taka jest natura systemów geometrycznych — instrumentu ujmowania zjawisk — to nie można sobie wyobrazić jakiegokolwiek doświadczenia, które mieściłoby się w geometrii euklidesowej na przykład, a nie pasowałoby jednocześnie do geometrii Łobaczewskiego, i odwrotnie. Dlatego też „żadne doświadczenie nie będzie nigdy w sprzeczności z postulatem Euklidesa; ale zarazem też żadne doświadczenie nie będzie w sprzeczności z postulatem Łobaczewskiego”⁴⁸, bowiem doświadczenia nie dotyczą przestrzeni, lecz ciał.⁴⁹

Aby ocenić pogląd Milne'a na możliwość stosowania różnych geometrii do opisu świata, należy, jak się wydaje, dokonać dwu rzeczy: po pierwsze, rozróżnić dwa rozumienia geometrii (jako geometrii czystej i stosowanej), oraz po drugie, omówić wzajemne relacje geometrii euklidesowej i geometrii nieeuklidesowych. Rozróżnienie geometrii na czystą i stosowaną zostało przedstawione m. in. przez E. Nagla.⁵⁰

Rozważając dowolną geometrię można nie brać pod uwagę znaczeń terminów geometrycznych, a same terminy zastąpić znakami. Otrzymamy w ten sposób zbiór schematów zdaniowych. Schematy te można uporządkować w dedukcyjny system formalny tak, aby było możliwe wyprowadzenie wszystkich schematów z grupy aksjomatów, biorąc pod uwagę tylko logiczne stosunki między nimi. Jedynym zadaniem tak pojętej geometrii czystej jest wykrywanie logicznych konsekwencji aksjomatów. Uczni uprawiający tę dyscyplinę mogą badać stosunki logiczne między zdaniami po uprzednim podstawieniu w schematach zdaniowych za zmienne pozalogiczne określonych terminów. Nieistotne jest przy tym znaczenie terminów pozalogicznych. Uprawiając geometrię czystą odpowiada się więc na pytanie: czy zdania uważane za twierdzenia systemu logicznie wynikają z aksjomatów?⁵¹

⁴⁷ Poincaré: *Nauka...*, s. 53.

⁴⁸ *Ibid.*, s. 67.

⁴⁹ Por. *ibid.*, s. 74.

⁵⁰ Nagel: *Struktura...*, s. 193—208. Por. także K. Ajdukiewicz: *Pojęcie dowodu w znaczeniu logicznym* [w:] K. Ajdukiewicz: *Język i poznanie*, t. 1, Warszawa 1960, s. 9—10 oraz C. G. Hempel: *Geometry and Empirical Science* [w:] H. Feigl and W. Sellars (eds.): *Readings in Philosophical Analysis*, New York 1949.

⁵¹ Ajdukiewicz twierdzi, że to, co się uważa za najbardziej oderwaną formę geometrii, jest już poniekąd geometrią stosowaną, gdyż przypisuje się pewien sens intuicyjny symbolom logicznym. (Por. Ajdukiewicz: *Pojęcie...*, s. 9). Zaś L. Nowak słusznie stwierdza, że geometria jako dyscyplina matematyczna nie jest geometrią czystą (w sensie Nagla czy Hempla), gdyż jest zinterpretowana semantycznie w abstrakcyjnych dziedzinach matematycznych, oraz że proces stosowania danej geometrii do świata jest bardziej złożony, niż przedstawia to ujęcie klasyczne (por.

Geometria stosowana jest dyscypliną starającą się wypowiadać materialnie prawdziwe twierdzenia o przedmiotach empirycznych, odpowiada więc na pytanie: czy aksjomaty i twierdzenia geometrii są faktycznie prawdziwe? Aby można było badać prawdziwość lub fałszywość różnych zdań należących do systemu, terminy pozalogiczne występujące w tych zdaniach (aksjomatach i twierdzeniach) muszą mieć określoną interpretację empiryczną, czyli być powiązane z określonymi przedmiotami empirycznymi lub ich elementami.

Geometrię stosowaną uprawiać może „właściwie tylko fizyk lub jakiś inny przedstawiciel nauki empirycznej pod warunkiem, że aksjomaty i twierdzenia mówią o przedmiotach, które można zinterpretować na drodze empirycznej”.⁵² Natomiast do uprawiania geometrii czystej „jedynym niezbędnym narzędziem jest umiejętność przeprowadzenia dowodu logicznego”.⁵³

Jak wiadomo, geometria Łobaczewskiego-Bolyai'a oraz geometria Riemanna różnią się od geometrii Euklidesa jedynie tzw. piątym postulatem mówiącym (w sformułowaniu Playfaira) o tym, ile przez punkt nie leżący na danej prostej przechodzi prostych równoległych do niej. W geometrii Riemanna — zero, w geometrii Euklidesa — jedna i tylko jedna, natomiast w geometrii Łobaczewskiego — nieskończenie wiele. W jakim stosunku pozostają do siebie te odmienne systemy geometryczne? W 1869 r. E. Beltrami zinterpretował tak system Łobaczewskiego, że postulaty tego systemu w tej interpretacji stały się prawdziwymi twierdzeniami o prostych i krzywych na powierzchniach siodłowych w geometrii Euklidesa. Udowodnił on w ten sposób, że geometria Łobaczewskiego jest równie niesprzeczna co geometria Euklidesa. Również dla geometrii Riemanna można znaleźć prawdziwą interpretację w geometrii euklidesowej. Jak się okazało, każdy system geometryczny ma, i to wiele, prawdziwych interpretacji w każdym z pozostałych systemów geometrycznych.

Jakie znaczenie ma ten fakt, jeśli chodzi o wzajemny stosunek różnych geometrii? Dowód niesprzeczności geometrii np. riemannowskiej polega, jak wspomniano, na odpowiedniej interpretacji, takiej, że tezy geometrii Riemanna są prawdziwymi tezami geometrii Euklidesa, jeśli interpretacji dokonuje się w tej ostatniej geometrii. Znaczy to, że określony termin

L. Nowak: *Popperowska koncepcja praw i sprawdzania* [w:] *Elementy marksistowskiej metodologii humanistyki*, Poznań 1973, s. 305—306 oraz L. Nowak: *Zasady marksistowskiej filozofii nauki*, Warszawa 1974, s. 112—114). Aby uzgodnić terminologię klasyczną stosowaną w niniejszym artykule z terminologią L. Nowaka, należy przez geometrię czystą rozumieć geometrię pozbawioną interpretacji semantycznej (słowo „geometria” należałoby więc ująć w cudzysłów), a za geometrię stosowaną — faktualny model przestrzeni fizycznej.

⁵² Nagel: *Struktura...*, s. 196.

⁵³ *Loc. cit.*

geometrii Riemanna został zdefiniowany przy pomocy terminów pierwotnych geometrii Euklidesa tak, że w tej ostatniej posiada te same własności formalne, co w geometrii Riemanna. Oczywiście w takiej interpretacji nie przyporządkowuje się sobie wzajemnie terminów równobrzmiących (tzw. terminów przyporządkowanych) jak np. „prosta” w geometrii Euklidesa i „prosta” w geometrii Riemanna. Jeżeli bowiem nada się jednakową interpretację empiryczną tzw. terminom przyporządkowanym (np. „prostym” w obu geometriach), to zdania co najwyżej jednego systemu przejdą w zdania prawdziwe. Nie zachodzi przecież wspomniany wyżej warunek posiadania tych samych własności formalnych przez tzw. terminy przyporządkowane. Tylko wtedy można znaleźć prawdziwą interpretację jednego systemu geometrycznego w drugim, jeśli mając dany dowolny postulat pierwszego systemu o pewnej budowie logicznej i pewnych terminach pierwotnych, można znaleźć w drugim systemie schemat zdaniowy, mający tę samą budowę logiczną co postulat pierwszego systemu, ale zawierający bądź terminy pierwotne, bądź zdefiniowane drugiego systemu. Jeżeli oba systemy są właśnie w ten sposób sobie nawzajem przyporządkowane, to interpretacja empiryczna zmieniająca postulaty jednego systemu w zdania prawdziwe empiryczne, zmienia tym samym w zdania prawdziwe postulaty drugiego systemu. A więc możliwość prawdziwej interpretacji semantycznej jednego systemu geometrycznego w drugim świadczy o ich wzajemnej przekładalności. Pamiętając o tym, że każda geometria ma prawdziwą interpretację w każdej z pozostałych geometrii, można stwierdzić, że wszystkie one są formalnie nawzajem przekładalne. Różnice pomiędzy nimi są różnicami notacji, a więc np. „prosta” w geometrii Euklidesa ma to samo znaczenie, co „łuk koła wielkiego na kuli” w geometrii Riemanna, itp.

Jak łatwo zauważyć, teza o wzajemnej przekładalności geometrii dotyczy geometrii czystych, gdzie nieistotne jest znaczenie pozalogicznych terminów, w związku z czym każdy termin jednego systemu można zdefiniować przy pomocy dowolnych terminów drugiego.

Jeśli więc tezę Milne'a o stosowaniu dowolnego systemu geometrii rozumie się jako stwierdzenie logicznej równoważności tych systemów, to teza ta wydaje się być prawdziwa w przypadku geometrii czystych. Rzeczywiście, „wybór notacji niezbędnej do sformułowania systemu geometrii czystej jest konwencjonalny”.⁵⁴ Sprawa się jednak komplikuje, gdy teza ta dotyczy będzie geometrii stosowanych, a wydaje się pewne, że tak ją rozumiał Milne. Istotne więc są tutaj znaczenia terminów pozalogicznych. Geometria stosowana wzięła swą nazwę stąd, że dzięki nadaniu określonego znaczenia terminom pozalogicznym może być zastosowana w nau-

⁵⁴ *Ibid.*, s. 232.

kach eksperymentalnych. Zdaniem Nagla⁵⁵ stosuje się ją w naukach empirycznych na dwa sposoby. Pierwszy sposób polega na tym, że pewne elementy ciał materialnych (krawędzie, powierzchnie) i układy tych ciał określa się niezależnie od danej geometrii. Następnie na drodze obserwacji wykazuje się, że przedmioty te rzeczywiście spełniają aksjomaty danej geometrii (oczywiście w granicach błędów obserwacji). Drugi sposób stosowania geometrii w naukach empirycznych polega na tym, że postulaty danej geometrii traktuje się jako definicje przez postulaty elementów ciał materialnych. A więc żadnym układom fizycznym nie przyporządkowuje się określonych terminów teoretycznych, jeżeli nie spełniają one postulatów (oczywiście znów w granicach błędów obserwacji).

Jak, przy takim rozumieniu geometrii stosowanych, przedstawia się słuszność tezy Milne'a, iż do Wszechświata stosować można dowolną geometrię? Jeżeli uczeni postępować będą według pierwszej z dwu wymienionych procedur, tzn. jeżeli pewne elementy lub układy ciał materialnych określać będą niezależnie od aksjomatów, to niewątpliwie prawdziwa może się okazać tylko jedna geometria. Jest tak dlatego, że przy stosowaniu takiej procedury wszystkie równobrzmiące zdania trzech systemów geometrii mają dokładnie to samo znaczenie, gdyż terminom występującym w tych zdaniach przyporządkowane są te same przedmioty materialne. Wszystkie zaś różnobrzmiące zdania, np. aksjomaty syntaktycznie paralelne do aksjomatu o równoległych czy też twierdzenia o sumie kątów w trójkącie, mają znaczenia różne.

Jeżeli Milne uważa, że może przyjąć każdą geometrię do opisu zjawisk, to znaczy to, że ten sam przedmiot jest różnie nazwany w różnych geometriach. Wydaje się, że przy takim postawieniu sprawy ma on rację. Wtedy bowiem pojęcia podstawowe (punkt, prosta, płaszczyzna, kąt, itp.) mogą mieć różne znaczenia w różnych geometriach. Nietrudno zauważyć, że sytuacja taka pojawia się, gdy stosuje się drugą z dwu wyżej wymienionych procedur, tzn. gdy aksjomaty poszczególnych systemów geometrycznych są traktowane jako definicje przez postulaty (danym przedmiotom nadaje się nazwę dopiero wtedy, gdy spełniają one te definicje).

Nasuwa się pytanie, czy Milne ma rację, gdy stosowana jest pierwsza procedura? Wiadomo, że w tym przypadku tylko jedna geometria może być prawdziwa. Nie znaczy to jednak (wbrew pozorom), że autor nie ma racji. To, że tylko jedna geometria może być prawdziwa, znaczy tylko, że nie mogą one być równocześnie prawdziwe. Z tezy tej tylko wtedy wynikałaby niesłuszność omawianego stanowiska Milne'a, gdyby istniał sposób rozstrzygnięcia, która geometria jest prawdziwa. Nie jest zaś to takie proste. Empiryczne sprawdzanie prawdziwości poszczególnych systemów geo-

⁵⁵ Por. *ibid.*, s. 202.

metrycznych nie zależy bowiem tylko od cech przestrzennych przedmiotów materialnych. Ze względu na to, że wszelkie dane doświadczenia otrzymuje się przy pomocy pewnych przyrządów, uwzględnić trzeba wpływ fizyczny wszystkich sił działających na te przyrządy i wprowadzić odpowiednie poprawki. Rozstrzyganie prawdziwości geometrii uzależnione jest więc od teorii fizycznej sił oddziałujących m.in. na przyrząd badawczy. Wypływa stąd wniosek, że jeżeli fakty doświadczalne przeczą prawdziwości pewnego systemu geometrii, to dla jego salwowania można wprowadzić do teorii fizycznej takie siły, których uwzględnienie spowodowałoby taką korekturę wyników pomiarów, że nie będą już one sprzeczne z danym systemem. Ze względu na to, że siły takie oddziałują tak samo na wszelkiego rodzaju przedmioty, nazywa się je siłami uniwersalnymi.⁵⁶

Podobnie w wypadku niepomysłnych doświadczeń rzecznik danego systemu geometrycznego może ratować ten system, tłumacząc odchylenia od przewidywanych wyników wpływem sił uniwersalnych już nie tylko na instrumenty badawcze, ale i na przedmioty badane. Jako przykład można podać kwestię prostoliniowości promienia świetlnego. Fakt jego odchylenia się np. przy przechodzeniu obok Słońca może być tłumaczony dwojako: albo geometria przestrzeni jest nieeuklidesowa i promień świetlny porusza się po geodetyce, albo też geometria Wszechświata jest euklidesowa, a odchylenie zostało spowodowane jakimiś fizycznymi czynnikami zniekształcającymi. Ogólnie biorąc, w wypadku niezgodnego wyniku obserwacji można bądź zmienić geometrię, bądź też system fizyki. Zdaniem Poincarégo, bardziej wskazana jest zmiana praw fizyki.

Jak więc widać, teza o względności geometrii wydaje się słuszną, gdy rozpatrujemy geometrie czyste. Jest też słuszną przy określonym sposobie stosowania geometrii do nauk eksperymentalnych, mianowicie przy traktowaniu postulatów geometrii jako definicji przez postulaty. Gdy zaś terminom geometrycznym przyporządkujemy przedmioty materialne niezależnie od całego systemu geometrii, to aby tezę o względności geometrii utrzymać, trzeba wprowadzić do systemu fizyki nowe prawa dotyczące pewnych sił uniwersalnych.

Czy rzeczywiście w tym ostatnim przypadku jest zawsze korzystniej modyfikować fizykę niż znaleźć system geometryczny? Postulat wprowadzania określonych sił uniwersalnych, takich, aby zneutralizowały one niepomysłny wynik doświadczenia, jest niezgodny choćby z „brzytwą Ockhama”. Ponieważ istnienie tych sił postuluje się tylko na podstawie rozważań o geometrii, wydaje się, że mają one charakter hipotez *ad hoc*, wprowadzonych tylko po to, aby ratować daną geometrię. Nagel wyraża wątpliwość, czy zawsze jest możliwe zbudowanie teorii fizycznych, uwzględ-

⁵⁶ Por. K. Ajdukiewicz: *Konwencjonalne pierwiastki w nauce* [w:] K. Ajdukiewicz: *Język i poznanie*, t. II, Warszawa 1965, s. 40.

niających działanie takich sił uniwersalnych; a nawet jeśli jest możliwe, to czy system fizyczny w ten sposób skonstruowany jest prostszy i wygodniejszy od systemu opartego np. na geometrii Riemanna. „[...] Poincaré przeoczył coś bardzo ważnego, przypuszczając, że rzekoma większa prostota geometrii Euklidesa jest jedynym względem, jaki należy brać pod uwagę w wybrze geometrii. Rzeczywiście, późniejsze dzieje fizyki pokazują, że było to przeoczenie. Ogólna teoria względności jest oparta na geometrii typu Riemanna, przy czym odrzucono geometrię Euklidesa właśnie dlatego, że w ten sposób uzyskało się ogólniejszą i prostszą teorię mechaniki od mechaniki klasycznej opartej na geometrii Euklidesa”.⁵⁷ Natomiast K. Ajdukiewicz odrzucał wprowadzanie do nauki sił uniwersalnych, gdyż hipoteza o ich istnieniu jest nieweryfikowalna. W nauce nie twierdzi się niczego, czego nie da się ani uzasadnić, ani obalić.⁵⁸

Jak Milne rozumiał tezę o względności geometrii? Czy miał na myśli geometrie czyste, czy którąś z dwu wersji geometrii stosowanych? Niewątpliwie mówił on o geometriach stosowanych. Nie trzymał się jednak jednego sposobu stosowania geometrii. Terminy geometryczne zyskują u niego niekiedy interpretację empiryczną niezależnie od aksjomatów geometrii, innym zaś razem nadaje im taką interpretację empiryczną, aby aksjomaty geometrii były spełnione. Na przykład to, że umieszczał dwóch, trzech lub więcej obserwatorów na linii prostej i kazał im przysyłać sobie sygnały świetlne, świadczy, iż tor promieni świetlnych uważał za linię prostą⁵⁹, a więc definiował „linię prostą” bez odniesienia do aksjomatów geometrii. O takim sposobie stosowania geometrii świadczą jeszcze jego rozważania związane z regraduacją skal czasu. Przestrzeń płaska użyta przez obserwatora posługującego się tzw. czasem atomowym przekształca się w hiperboliczną po regraduacji do skali tzw. czasu dynamicznego.⁶⁰ Tezę o względności geometrii Milne rozumiałby w tym wypadku właśnie w ten sposób, który przysparza najwięcej trudności i który w miarę rozwoju nauki okazał się błędny nawet dla konwencjonalisty, tzn. prowadzący do

⁵⁷ Nagel: *Struktura...*, s. 235. Por. także R. Blanché: *Wiedza współczesna a racjonalizm*, Warszawa 1969, s. 15. Podobnie zapatruje się na tę sprawę Paul W. Hodge. Zastanawiając się, czy jakiś szczególnie hipotetyczny typ przestrzeni może być nazwany „realnym” pisze: „Modern views tend to assume that some particular geometry can be so defined as that in which physical laws and physical measurements have the simplest (podkr. Hodge'a) mathematical form”. (P. W. Hodge: *Galaxies and Cosmology*, New York—St. Louis—San Francisco—Toronto—London—Sydney 1966, s. 156).

⁵⁸ Por. Ajdukiewicz: *Konwencjonalne...*, s. 42—43.

⁵⁹ Por. Milne: *Relativity...*, s. 40.

⁶⁰ Por. E. A. Milne and G. J. Whitrow: *On the meaning of uniform time, and the kinematic equivalence of the extra-galactic nebulae*, „Zeitschrift für Astrophysik”, 1938, Bd 15, s. 293.

bardziej skomplikowanych systemów fizykalnych. Uparte trzymanie się stosowania geometrii Euklidesa w fizyce może być przeszkodą w rozwijaniu ogólniejszego i bardziej zwartego systemu teorii fizykalnych.⁶¹

Na trudności te natknął się zresztą sam Milne. Starając się wyprowadzić formuły Lorentza dla przypadku ruchu przyspieszonego dochodzi do sprzeczności. Jeśli geometria może być wybrana dowolnie, to przyczyną tej sprzeczności jest, jego zdaniem, fałszywa hipoteza prostoliniowości dróg światła. Milne wywnioskował stąd, że gdy dwaj obserwatorzy posiadają względne przyspieszenia, to muszą oni założyć zakrzywienie dróg światła, wyjąwszy może początkowe i końcowe odcinki drogi. Wierzył, że można to zakrzywienie obliczyć korzystając z warunku równoważności obserwatorów, jednak nie osiągnął sukcesu w rozwiązywaniu tego problemu.⁶²

Oprócz takiego sposobu stosowania geometrii Milne przyjmował inny, polegający na traktowaniu aksjomatów systemu geometrycznego jako zbioru definicji przez postulaty. Wiadomo, że jeżeli Wszechświat w skali t jest opisany w płaskiej przestrzeni, to po transformacji do skali τ przestrzeń staje się przestrzenią hiperboliczną. Autor twierdzi jednak, że obserwator opisujący substrat w skali τ nie musi go opisywać w przestrzeni hiperbolicznej. Zgodnie z tezą o względności geometrii obserwator może użyć płaskiej przestrzeni także i w połączeniu ze skalą τ do opisu Wszechświata. W tym ostatnim przypadku po transformacji do skali t otrzyma on przestrzeń z metryką typu logarytmicznego.⁶³

Jeżeli Milne twierdzi, że Wszechświat opisany w płaskiej przestrzeni

⁶¹ G. C. McVittie twierząc, że „[...] as in the expanding universes of general relativity, kinematical theory also predicts that the amount of the curvature of space-time can be found by observation” (G. C. McVittie: *Cosmological Theory*, London 1937, s. 87) wypacza oryginalną myśl twórcy kinematycznej teorii względności, jest jednak w zgodzie ze współczesnymi poglądami co do stosowania geometrii w naukach fizykalnych.

⁶² Por. Milne: *Relativity...*, s. 51. Wyłącza się tu pozorna sprzeczność w postawie Milne'a. Z jednej strony uznawał on za sensowne tylko to, co weryfikowalne, a z drugiej uważał, że można stosować zawsze geometrię Euklidesa. Z tym ostatnim poglądem wiąże się bowiem (jeżeli uprzednio zostały zdefiniowane terminy geometryczne) istnienie sił uniwersalnych, które z kolei są nieweryfikowalne. Jest to sprzeczność pozorna z dwu powodów. Po pierwsze, Milne tezę o względności geometrii stosuje tylko, jak się to za chwilę okaże, do przypadku traktowania aksjomatów geometrii jako zbioru definicji przez postulaty (choć samej geometrii używa czasami niezależnie od jej aksjomatów), a wówczas nie pojawia się konieczność wprowadzenia sił uniwersalnych. Po drugie, nawet gdyby tezę o względności geometrii stosował przy niezależnym od systemu definiowaniu terminów geometrycznych, to i tak nie jest to sprzeczne z jego postawą, gdyż program jego nie przewidywał wprowadzania jakichkolwiek pojęć dynamicznych, jak np. siła. (Por. Milne: *Relativity...*, s. 8). I w tym przypadku nie ma więc potrzeby wprowadzania nieweryfikowalnej hipotezy o istnieniu sił uniwersalnych.

⁶³ Por. Milne and Whitrow: *On the meaning...*, s. 267.

w skali t po przeskalowaniu do czasu τ jest opisany w przestrzeni hiperbolicznej, i jednocześnie twierdzi, że Wszechświat w skali τ można również opisać w płaskiej przestrzeni, to jest niewątpliwe, że przy obu tych zastosowaniach płaskiej przestrzeni nadał on inne znaczenia terminom geometrycznym, gdy Wszechświat opisany w przestrzeni hiperbolicznej jest tym samym Wszechświatem opisany w przestrzeni płaskiej. Musiał więc on traktować aksjomaty geometrii jako definicje przez postulaty, czyli nadać taką interpretację empiryczną terminom geometrycznym, aby aksjomaty geometrii stały się zdaniami prawdziwymi.

Przykład rodzaju geometrii stosowanej do opisu Wszechświata w której z obu uprzywilejowanych skal czasowych pozwala w dużej mierze zrozumieć stanowisko Milne'a w kwestii względności geometrii. Okazuje się więc, że zdawał on sobie sprawę z tego, że jeżeli nada się interpretację empiryczną terminom geometrycznym tak, aby prawdziwe okazały się aksjomaty Euklidesa, to ze zmianą skali czasowych trzeba będzie zmienić geometrię, jeśli interpretacja tych terminów ma pozostać identyczna. Wiedział więc o tym, że nowe fakty empiryczne mogą spowodować odrzucenie aktualnie stosowanej geometrii. Wiedział również, że aby ponownie stosować odrzucony system geometryczny, trzeba zmienić znaczenia terminów tego systemu.

Wydaje się więc, że jego tak rozumianej tezie o względności geometrii nie można nic zarzucić, bowiem trzeba przyznać rację zarówno jemu, jak i jego duchowemu mistrzowi, Poincarému, iż w pewnym sensie geometria jest zbiorem konwencji. Jest tak, gdy geometria pełni rolę układu definicji przez postulaty, które ustalają sposób i zakres użycia terminów geometrycznych. Wszystko to, co można wyrazić np. w geometrii Euklidesa, można wyrazić także w pozostałych geometriach (gdyż wszystkie one są wzajemnie przekładalne) z tym tylko, że w innej terminologii. O tym jednak, czy system fizyczny związany z jedną geometrią jest prostszy od tegoż systemu połączonego z inną geometrią, mogą rozstrzygnąć tylko fakty doświadczalne. Wydaje się, że zbyt pochopne jest mniemanie Milne'a, że fizyka używająca prostej geometrii tworzy system prostszy od fizyki używającej bardziej skomplikowanej geometrii.

KONCEPCJA CZASU

Milne odrzucał pogląd, jakoby „przestrzeni” odpowiadała obiektywna rzeczywistość. Dotyczy to wszystkich przestrzeni używanych w fizyce. Nie znaczy to jednak, aby zaprzeczał, iż istnieją relacje przestrzenne. Za tymi ostatnimi przemawiają chociażby wrażenia dotykowe. Trudno jednak budować fizykę jedynie w oparciu o ten rodzaj wrażeń. Niektórzy, np. A. Einstein, A. Eddington, konstruowali przestrzenie, czyli przyporządkowywali przedmioty materialne terminom geometrycznym, posługując się pojęciem

szttywnej linijki pomiarowej. Pojęcie sztywnej linijki pomiarowej (rigid length-measure) o niezmienniej długości mimo jej przenoszenia, było dla Milne'a jednym z tzw. nieokreślonych pojęć⁶⁴, które tak zaciekle rugował ze swego systemu. Trzeba przyznać, że pojęcie sztywnej miary jest także niezgodne ze szczególną teorią względności, w której mówi się o skróceniu Lorentza-Fitzgeralda, nie mówiąc już o tym, że jest ono nieoperatywne.

Ponieważ ani przestrzenne doświadczenia, ani pojęcie sztywnej linijki nie może być bazą dla zbudowania fizyki, trzeba jej konstruowanie oprzeć na czymś niepodważalnym. Dla Milne'a czymś niepodważalnym było przeżycie upływu czasu. Czas wydawał mu się być oparty na zupełnie innych podstawach niż przestrzeń.⁶⁵ Stąd brało się jego krytyczne podejście do metod ogólnej teorii względności, które łączyły w nierozzerwalną całość czas i przestrzeń. Pojęcie czterowymiarowego *continuum* czasoprzestrzennego ma, jego zdaniem historycznie wielką wagę, nie podkreśla jednak tak istotnej cechy czasu, jaką jest jego jednokierunkowość. Gdy przychodzi do fizycznej interpretacji, to w teorii względności wymagane jest rozdzielenie czasu i przestrzeni.⁶⁶ Z tego powodu w swoich rozważaniach Milne unikał używania pojęcia czasoprzestrzeni.⁶⁷

⁶⁴ Milne: *Relativity...*, s. 14. Na s. 59 autor twierdzi, że zwrot „długość sztywnego pręta” nie ma żadnego sensu, dopóki nie zdefiniuje się jednoczesności. Jeśli zaś się ją zdefiniuje, to zwrot ten ma różne znaczenia zależnie od obserwatora, w którego doświadczeniu zachodzi jednoczesność.

⁶⁵ Por. *ibid.*, s. 14 oraz McVittie: *Cosmological...*, s. 73.

⁶⁶ Niesłuszne jest jednak przekonanie, że zespolenie czasoprzestrzenne dokonane przez H. Minkowskiego zacierza wszelkie różnice między czasem i przestrzenią. W unii czasoprzestrzennej zarówno czas jak i przestrzeń zachowują istotne różnice między sobą. W formule interwału czasoprzestrzennego ($ds^2=c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz^2$) czas jest formalnie wyróżniony przez inny znak (dodatni) przed kwadratem czasu niż przed kwadratami przestrzennych współrzędnych. H. Weyl stwierdził, że ma to sens także i fizyczny, a mianowicie gdyby przed kwadratami wszystkich współrzędnych z czasem włącznie znajdował się znak minus, to pociągnęłoby to za sobą niemożliwość oddziaływań fizycznych między ciałami. (Por. Z. Augustynek: *Czas i przestrzeń a materia* [w:] H. Eilstein (red.): *Jedność materialna świata*, Warszawa 1961, s. 224). Nie można uważać, że wszystkie kierunki czterowymiarowej czasoprzestrzeni są równoważne, ani że czas jest tej samej natury, co przestrzeń, na tej tylko podstawie, że zaznacza się je wzdłuż prostopadłych osi. Podobnym błędem byłoby założenie, że ciśnienie i objętość są wielkościami tego samego rodzaju, gdyż zaznacza się je na prostokątnym diagramie pokazującym wykres ich iloczynu (pv). Różnica między przestrzennymi osiami i osią czasową ujawnia się m.in. w fizycznej niemożliwości rotacji pręta mierniczego w takim kierunku, aby mierzył on interwały czasowe. Innymi słowy, niemożliwe jest wyrotowanie pręta mierniczego w zegar. Czasoprzestrzeni nie powinno się więc charakteryzować jako przestrzeni czterowymiarową, lecz (trzy+jeden)-wymiarową. (Por. R. C. Tolman: *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Oxford 1934, s. 29—30).

⁶⁷ Por. Milne: *Relativity...*, s. 50—51.

Upływ czasu jest niezaprzeczalnym składnikiem świadomości. Każdy przeżywa go w ten sposób, że dla dwu zdarzeń, które zaszły w jego bliskiej obecności, zawsze może określić relację „wcześniej—później”, wykluczając, oczywiście, zbyt bliską odległość czasową tych zjawisk. Relację tę wyznacza się wyłącznie na podstawie własnych doświadczeń, własnych danych obserwacyjnych. Powstaje problem, czy na bazie sądów opartych na bezpośrednich doświadczeniach dowolnych obserwatorów⁶⁸ można zbudować fizykę wolną od wszystkich możliwych zarzutów wysuwanych poprzednio? Milne dał pozytywną odpowiedź na to pytanie. Twierdził, że tylko przez rozważenie problemu czasu mogą być właściwie rozwiązane główne kwestie fizyki.⁶⁹ Pomiary czasowe są ważniejsze niż pomiary przestrzenne, gdyż aby mierzyć długość, trzeba mieć definicję jednoczesności. Aby zaś mierzyć czas, trzeba tylko rejestrować dwa zdarzenia w tym samym miejscu — w jednostkowej świadomości.⁷⁰

W rekonstrukcji fizyki fundamentalną rolę miały odgrywać tzw. doświadczenia temporalne. Polegały one na odczytaniu zegara w momencie zajścia zdarzenia lokalnego. Jak należy rozumieć to, co Milne nazywa „zegarem”? Pojęcie to wiąże się z charakterem występowania zdarzeń w świadomości obserwatora, następujących jedno po drugim, tworząc ciąg, sekwencję temporalną. Autor sądzi, że sekwencja doświadczeń temporalnych jest ciągła. Znaczy to, że między dwoma nierównoczesnymi zdarzeniami mogą zachodzić dla obserwatora inne, które osądzi on jako następujące po pierwszym i poprzedzające drugie. A więc doświadczenia temporalne prawdopodobnie stanowić będą *continuum*. Temu ciągowi doświadczeń odpowiada dobrze uporządkowany ciąg liczb rzeczywistych: każdemu elementowi ciągu zdarzeń można przyporządkować jakąś liczbę rzeczywistą tak, by zjawisko wcześniejsze miało przyporządkowaną mniejszą liczbę niż zjawisko późniejsze. Taką korelację zdarzeń i liczb rzeczywistych Milne nazywa zegarem.⁷¹ Każdemu zdarzeniu przyporządkowana jest więc określona liczba rzeczywista czyli epoka tego zdarzenia. Korelacja ta jest czymś arbitralnym, gdyż zdarzenia i liczby rzeczywiste można sobie przyporządkowywać na wiele różnych sposobów. A więc zegary dwu nie komunikujących się ze sobą obserwatorów są zazwyczaj odmiennie wyskalowane. Czy istnieje możliwość identycznego wyskalowania dwóch

⁶⁸ W rozważaniach Milne'a obserwator jest zawsze stowarzyszony z tzw. cząstką fundamentalną.

⁶⁹ Por. Johnson: *Time...*, s. 14 (słowo wstępne E. A. Milne'a).

⁷⁰ Por. *ibid.*, s. 116.

⁷¹ Obserwator „[...] can correlate the totality of events in his temporal experience with the real numbers. [...] Such a correlation of real numbers with the events constituting A's (tj. obserwatora — K. J.) temporal experience we call a clock” (podkr. Milne'a). Milne: *Relativity...*, s. 25.

zegarów tak, aby można było powiedzieć, że idą one zgodnie, że są kongruentne? W kinematycznej teorii względności twierdzi się, że taka możliwość istnieje. Obserwatorzy komunikują się przy pomocy sygnałów świetlnych. Wymaga się tylko pewnych praw komunikacji: 1° każdy sygnał wysłany przez obserwatora A i odbity przez obserwatora B wraca z powrotem do A w epoce późniejszej od epoki wysłania go, 2° jest jedna i tylko jedna epoka powrotu, tzn. nie ma odbicia wokół zamkniętej przestrzeni⁷², 3° obserwator B odbiera sygnały w takim porządku, w jakim je wysłano. Dwaj obserwatorzy, którzy dokonali synchronizacji swoich zegarów, są, w terminologii Milne'a, obserwatorami równoważnymi.⁷³

W kinematycznej teorii względności określa się warunki dla zbioru obserwatorów takie, aby każdą parę tego zbioru można było nazwać obserwatorami równoważnymi. Klasa obserwatorów posiadających taką własność konstryuuje tzw. równoważność (equivalence). Wykazuje się następnie, że równoważność przekształca się w inną równoważność, jeżeli dokonamy przeskalowania zegarów $T = \chi(t)$, gdzie T jest czasem wskazywanym przez zegary nowej równoważności, t — dawnej równoważności, a χ — dowolną funkcją monotoniczną. Przez odpowiednie przeskalowanie zegarów każda dana równoważność może być przekształcona w każdą inną równoważność. Wynika stąd, że jest istotnie tylko jedna równoważność. Nasuwa się pytanie, czy wśród wielu dowolnych sposobów przeskalowań zegarów różnych równoważności jest jakiś szczególny sposób posiadający wyróżniające się własności? W kinematycznej teorii względności wymienia się dwa takie sposoby. Po przeskalowaniu zegarów według pierwszego sposobu otrzymuje się tzw. równoważność jednostajnego względnego ruchu (equivalence of uniform relative motion). Każdy element tej równoważności (tzn. obserwator, cząstka fundamentalna, particle-observer) widzi pozostałe elementy jako znajdujące się w jednostajnym ruchu względem niego. Po przeskalowaniu zegarów według drugiego wyróżnionego sposobu otrzymuje się tzw. równoważność stacjonarną (stationary equivalence). Każdy obserwator należący do tej równoważności opisuje pozostałych jako stacjonarnych względem niego samego.

Dlaczego te dwa rodzaje równoważności zajmują uprzywilejowane miejsce w fizyce? Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy kolejno rozpatrzyć własności obu równoważności.

W równoważności jednostajnego względnego ruchu, jak już było wspomniane, obserwatorzy poruszają się względem siebie ruchem jednostajnym. Milne wprowadził więc transformacje pomiędzy nimi — okazało się,

⁷² Warunek 2° wyklucza przestrzenie o dodatniej krzywiznie.

⁷³ Por. Milne: *Relativity...*, s. 27—28; Milne and Whitrow: *On the meaning...*, s. 269; Johnson: *Time...*, s. 85—86.

że są to transformacje Lorentza.⁷⁴ Ponieważ transformacje te dotyczą zwłaszcza zjawisk elektromagnetycznych, twórca kinematycznej teorii względności uważał, że skala czasowa równoważności jednostajnego względnego ruchu (tzw. skala t) dotyczy zjawisk elektromagnetycznych. Ponieważ zegar atomowy, ze względu na istnienie linii spektralnych, prawdopodobnie jest tożsamy z zegarem elektromagnetycznym, Milne czas t nazwał czasem atomowym.⁷⁵

Od równoważności jednostajnego względnego ruchu do równoważności stacjonarnej przechodzi się dzięki przeskalowaniu:

$$\tau = \chi(t) = \ln k + s \ln t,$$

gdzie k i s są dowolnymi stałymi.

Aby pokazać, jakie znaczenie ma skala τ w fizyce, Milne konstruuje pojęcie substratu. Substrat jest to trójwymiarowa równoważność taka, że rozkład elementów jest ten sam w „prywatnej” przestrzeni danego obserwatora w tej samej epoce ze względu na tego obserwatora.⁷⁶ Innymi słowy: substrat to taka równoważność, w której rozkład gęstości cząstek (w przestrzeni i w czasie) ma ten sam opis u każdego obserwatora z tej równoważności. A więc w substracie obowiązuje zasada kosmologiczna.

Skoro substrat jest równoważnością, a równoważności można przekształcać jedne w drugie drogą przeskalowań zegarów, to i substrat tą samą metodą można różnie przedstawiać. Jedną z właściwości substratu przedstawionego jako równoważność w jednostajnym względnym ruchu jest to, że równanie ruchu tzw. cząstki swobodnej (free-particle) jest dokładnie określone z samej definicji substratu. Z równań tych można skonstruować dynamikę słuszną dla substratu. Okazuje się, że substrat skonstruowany jako system kinematyczny jest także systemem dynamicznym, gdyż jego elementy są posłuszne prawom ruchu cząstek swobodnych.

Równanie ruchu cząstki swobodnej wyprowadzone z definicji substratu przedstawionego jako równoważność jednostajnego względnego ruchu nie ma formy newtonowskiego pierwszego prawa ruchu. Przybierze ono tę formę wtedy, gdy wszystkie zegary obserwatorów będą przeskalowane od skali t do τ , gdzie

$$\tau = t_0 \ln \frac{t}{t_0} + t_0.$$

Jest to szczególny przypadek wspomnianego wyżej przeskalowania $\tau = \ln k + s \ln t$ powstały przez taki wybór stałych k i s , aby w epoce t_0

⁷⁴ Por. Milne: *Relativity...*, s. 40—43.

⁷⁵ Por. H. Bondi: *Kosmologia*, tłum. z j. ang. E. Białas i A. Białas, Warszawa 1965, s. 168.

⁷⁶ Por. Milne and Whitrow: *On the meaning...*, s. 290 oraz Johnson: *Time...*, s. 101.

zarówno τ było równe t oraz $d\tau/dt$ równało się jedności. Stała t_0 jest tzw. wiekiem Wszechświata. Jeśli więc obserwator chce, aby w jego opisie substratu obowiązywały prawa dynamiki Newtona, musi przeskalować swój zegar do skali τ . Czas obowiązujący więc w równoważności stacjonarnej jest tzw. czasem dynamicznym. Prawa dynamiki dla substratu w skali τ pokrywają się z empirycznymi prawami fizyki określonymi z obserwacji.

Obraz świata w obu tych skalach znacznie się różni. W skali t substrat ma początek rozszerzania — istnieje dolna wartość $t=0$. Natomiast w skali τ Wszechświat się nie rozszerza — nie istnieje więc dolna wartość τ . Momentowi $t=0$ na skali t odpowiada $\tau=-\infty$ na skali τ . W tej ostatniej skali Wszechświat nigdy nie miał początku w czasie i istnieje niekończelnie długo. W czasie atomowym Wszechświat ma punkt wyróżniony (początek rozszerzania) i istnieje skończoną ilość czasu.

W skali τ , w przeciwieństwie do skali t , różni fundamentalni obserwatorzy wyznaczają tę samą wartość dla epoki danego zdarzenia. Jest to więc czas absolutny. Zdarzenia równoczesne dla jednego obserwatora są także równoczesne dla pozostałych.⁷⁷ Gdy dwaj obserwatorzy poruszają się względem siebie, a więc gdy używają czasu atomowego, absolutny czas kosmiczny nie istnieje.⁷⁸ W skali t mgławice widoczne na bardzo wielkich odległościach posiadają bardzo wczesny czas w porównaniu z naszą epoką obserwacji, a więc są we względnie wcześniejszym etapie ewolucji.

Ogólna teoria względności w zasadzie przyjmuje istnienie wszystkich możliwych transformacji współrzędnych. Milne twierdzi jednak, że nie jest ona zupełnie „relatywistyczna”, gdyż stosuje absolutną miarę czasu dla każdego obserwatora, tzn. to, co się nazywa „zwykłym czasem” obserwatora (proper time). A więc w ogólnej teorii względności jedna szczególna miara czasu zajmuje uprzywilejowaną pozycję. Milne rozluźnił to ograniczenie, przyjmując istnienie wszystkich możliwych miar czasu dla każdego obserwatora i pokazując, jak różni obserwatorzy mogą konstruować zgodne zegary. Nie przyjął hipotezy absolutnego czasu, lecz wykazywał, że pewne miary czasu (t i τ) są bardziej dogodnie dla pewnych szczególnych celów. Dotychczasowa fizyka przyjmowała te miary nie odróżniając ich od siebie. Jak wspomniano, skala τ posiada pewną własność, która upoważnia ją do specjalnego traktowania. Polega ona na tym, że τ — wartość epoki wyznaczona dla każdego zdarzenia jest ta sama dla wszystkich obserwatorów (elementów substratu). W skali τ istnieje więc absolutna jednoczesność. Można wykazać, że tylko skala τ posiada tę własność. Dlatego też może ona być uważana za czas absolutny.

Koncepcja wielu skal czasu prowadziła niekiedy do nieporozumień. Np. H. Bondi pisał, iż Milne i Whitrow „[...] zajęli się [...] zbadaniem, czy

⁷⁷ Por. Milne and Whitrow: *On the meaning...*, s. 283.

⁷⁸ Por. Milne: *Relativity...*, s. 33.

cały zbiór obserwatorów może dopasować swoje zegary do jednego uniwersalnego czasu. Problem ten ma [...] rozwiązanie pod warunkiem, że względny ruch podlega pewnym ograniczeniom. Istnieje wtedy czas uniwersalny albo kosmiczny dla wszystkich obserwatorów. Ten czas kosmiczny nie jest jeden, lecz może podlegać przeskalowaniom".⁷⁹ Nie można się z tym zgodzić, w istocie bowiem, zdaniem Milne'a, istnieje tylko jeden czas kosmiczny.⁸⁰ Ponadto pogląd, że gdy istnieje czas kosmiczny, to względny ruch podlega pewnym ograniczeniom, jest zbyt enigmatyczny; w rzeczywistości bowiem ruchu tego wcale nie ma (cecha równoważności stacjonarnej). Gdy jakkolwiek ruch występuje, to nie istnieje czas kosmiczny.⁸¹

Milne'owska koncepcja wielu skal czasu nie przyjęła się szerzej w nauce. Na wyróżnienie zasługuje chyba tylko próba J. B. S. Haldane'a wyjaśniania bilogicznej i geologicznej ewolucji przy użyciu tych skal.⁸²

РЕЗЮМЕ

Статья посвящена философским взглядам английского космолога Э. А. Мильна на время и пространство. Здесь речь идет о реальности пространства, роли геометрии в физике, бесспорности данных темпорального опыта. Этим рассуждениям предшествует анализ постулата, требующего от каждой научной теории, чтобы она предоставляла возможность проникнуть в данное явление. Этому условию отвечает теория, характеризующаяся наглядностью, большой математической простотой и бесспорной эмпирической основой.

Пространство у Мильна никогда не было реальным бытием. Действительно существующим является не пространство, а одни тела, по отношению к которым можно применять любую геометрию. Изменение геометрии вызывает осложнение или упрощение законов.

Перцепция времени должна быть чем-то бесспорным, становящим базу для конструкции физики, отвечающей требованиям, которые ставил Мильн. Однако темпоральный опыт можно понимать по-разному и отсюда вышла концепция множества школ времени. Образы времени, конструируемые на основе разных школ времени, неодинаковые.

SUMMARY

This article discusses the philosophical views of time and space as represented by a British cosmologist E. A. Milne. We mean here the problem of the reality of space, the role of geometry in physics, and the irrefutability of the evidence coming

⁷⁹ Bondi: *Kosmologia...*, s. 167.

⁸⁰ Por. Milne and Whitrow: *On the meaning...*, s. 297.

⁸¹ Por. Milne: *Relativity...*, s. 33.

⁸² Artykuły w „Nature”: May 6, 1944; Feb. 3, Feb. 24, 1945. (wg Johnson: *Time...*, s. 112).

from temporal experience. An analysis of the postulate requiring that every scientific theory should provide an insight into phenomena precedes the discussion. The above condition is satisfied by a theory which is characterized by clarity, considerable mathematical simplicity and a firm experimental foundation.

Space was never conceived by Milne as a real being. The thing that really exists is not space but is the very objects, to which any geometry can be applied. Any change of geometry causes only complication or simplification of laws. Therefore Milne made use exclusively of the simplest, Euclidean geometry.

The perception of time was to be something unquestionable, which accordingly was viewed as a basis for the construction of a physics meeting the requirements proposed by Milne. Temporal experience may, however, be interpreted differently, and hence the concept of several time-scales emerged. Images of a world constructed on the basis of different time-scales are not identical.

