

EDMUND SKARŻYŃSKI  
Kraków

## FILOZOFICZNE ZAGADNIENIA OGÓLNEJ TEORII WZGLĘDNOŚCI (OTW)

### 1. Wstęp

Ponieważ grawitacja stanowi dziwną mieszankę „oczywistości i nieznanego”, to relatywistyczna teoria grawitacji, czyli ogólna teoria względności od czasu jej powstania, tj. od 1915 roku, od razu przyciągnęła uwagę filozofów. Ogólna teoria względności do tej pory posiada skąpą podstawę empiryczną, co stanowi dodatkowy impuls zainteresowań jej filozoficznymi problemami. Przez filozoficzne problemy OTW będziemy rozumieć wszelkie zagadnienia, które są różne od jej rzeczowych problemów, czyli obliczeń, oraz eksperymentów wykonywanych w zadanych warunkach. Są to przede wszystkim problemy takie, jak zagadnienie: 1) czy prawdziwa jest teoria Einsteina, 2) jak ta teoria realizuje zasadę fizycznego relatywizmu, czyli zasadę Macha, 3) jaki jest stosunek OTW do eksperymentu, 4) jak OTW realizuje zasadę korespondencji w stosunku do teorii Newtona, 5) czy jest to teoria indukcyjna czy też dedukcyjna tylko w swojej szacie, tzn. czy przypadkiem nie stanowi ona zbioru tautologii, 6) jakie są prognozy rozwoju OTW, 7) jaki jest jej stosunek do rzeczywistości fizycznej, 8) jak wyraża ona tezę, że czas i przestrzeń są formami istnienia materii, 9) czy odpowiada na pytanie: czym jest grawitacja, 10) jaki jest wzajemny stosunek geometrii do materii w OTW, 11) czy istnieją obiekty opisywane przez OTW np. fale grawitacyjne, 12) jakie są granice stosowalności OTW czy wreszcie 13) jaki jest podstawowy sens zasad OTW, czyli zasady kowariancji oraz zasady równoważności.

Od razu zauważmy, że niełatwo jest rozstrzygnąć powyższe problemy, zwłaszcza że istnieje około 28 różnych matematycznych sformułowań OTW, podczas gdy tylko 4 testy empiryczne potwierdzają tę teorię, chociaż projektowany jest test nowy. Otóż OTW w swojej klasycznej postaci przewidywała 3 efekty empiryczne: 1) obrót orbity Merkurego w polu grawitacji Słońca, czyli ogólnie mówiąc, przewidywała pewne dodatkowe poprawki na ruch planet w centralnym polu sił, 2) ugięcie promienia świetlnego w pobliżu dużej masy, np. Słońca, a więc ugięcie dowolnego promieniowania elektromagnetycznego w pobliżu dużej masy grawitacyjnej, 3) zmniejszanie się częstości promieniowania, gdy przechodzi ono w pobliżu dużej masy. Jednak w 1964 roku Shapiro przewidział zjawisko polegające na zmianie czasu przejścia sygnałów elektromagnetycznych w pobliżu Słońca.

Ten czwarty efekt OTW to spowodowane przez pole grawitacyjne Słońca opóźnienie radioecha odbitego od Venus do Merkurego w stosunku do czasu przejścia z dala od Słońca. Dla Merkurego ten efekt powinien wynosić 200  $\mu$ s. Użycie satelity Mariner-6

dało około 5% różnicy w stosunku do wartości teoretycznej. Nowy test OTW stanowi obserwację precesji żyroskopu w polu grawitacyjnym obracającej się Ziemi. W teorii Newtona żyroskop powinien zachowywać swą orientację w stosunku do gwiazd stałych. Jednak w OTW taki żyroskop podlega precesji tzw. geodezyjnej oraz precesji Lensa-Thirringa, a także precesji wynikającej ze szczególnej teorii względności (STW). Nie wyjaśniając tych efektów dokładnie, nadmienimy, że prace nad nimi są w toku, zaś wyniki będą znane za kilka lat. Jeśli chodzi o obrót peryhelium orbity, to analiza olbrzymiej ilości danych astronomicznych dla Merkurego w latach 1970–1971 z dokładnością 3% potwierdza wnioski OTW w tym zakresie. Drugi efekt OTW, czyli ugięcie fal elektromagnetycznych pochodzących od kwazara 3 C 279 w polu grawitacyjnym Słońca mierzono za pomocą radio interferometrów z bazą 1 do 4000 km (w latach 1969–1972) z dużą (bo 3%) dokładnością potwierdza przewidywania teoretyczne OTW. Trzeci efekt OTW, czyli grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni zostało w 1960 roku potwierdzone w warunkach ziemskich (efekt Mössbauera) przez Paunda i Rebkę z dokładnością ok 1%. Na razie tylko powyższe zdania obserwacyjne uzyskane z OTW są dość dobrze potwierdzane. Odmienne przedstawia się sytuacja z innymi zdaniami. Otóż po 10 latach pracy w maju 1969 roku Weber doniósł, że obserwuje fale grawitacyjne, których istnienie Einstein przewidział jeszcze w 1918 roku. Jednak w 1972 roku zespół Bragińskiego z Moskwy nie potwierdził tej wiadomości. Badania w tej dziedzinie prowadzone są w różnych ośrodkach na świecie, m. in. w AGH w Krakowie przez A. Kulaka. Wkracza do tych badań ontologicznych nie tylko zagadnienie energii pola grawitacyjnego, które jak wiemy nie zostało ostatecznie rozwiązane, ale zagadnienia związane z teorią pomiaru. Nie pomnażając listy problemów filozoficznych OTW zauważmy, że obecnie zarówno w tej teorii, jak i innych teoriach grawitacji używa się formalizmu wiązek włóknistych oraz różniczkowych form zewnętrznych<sup>1</sup>. Filozoficznie doniosłe zagadnienie korespondencji relatywistycznych i newtonowskich teorii grawitacji zostało dokonane w pracach A. Trautmana<sup>2</sup>. Wymieniona wcześniej lista problemów filozoficznych OTW analizowana była w pracach A. Z. Pietrowa,<sup>3</sup> wybitnego teoretyka OTW. A. Z. Pietrow był też autorem szeregu artykułów przeglądowych poświęconych analizie OTW. W przedmowie do książki W. D. Zacharowa „Grawitacyjnyje wołny w teorii tjadotienia Einsteina” wydanej w Moskwie w 1972 roku Pietrow wyraził nadzieję, że prace J. Webera, Schiffa, Bragińskiego poświęcone detekcji fal grawitacyjnych w przyszłości pozwolą eksperymentalnie sprawdzić OTW. Zatem mielibyśmy szósty istotny test OTW. W związku z ustawicznymi próbami kwantowania pola grawitacyjnego wylania się wzmiankowane już wcześniej podstawowe pytanie: czym jest grawitacja. Specjalista z tej dziedziny Władimirow<sup>4</sup> rozpatrując epistemologiczne problemy związane z kwantową teorią grawitacji, wyróżnia trzy punkty widzenia na naturę grawitacji:

- 1) grawitacja jest tylko własnością czasoprzestrzeni, zaś czasoprzestrzeń to zbiór relacji, w jakich znajdują się części materii,
  - 2) grawitacja to rodzaj materii, stąd wynika teza, że materia jest opisywana za pomocą czasoprzestrzennych charakterystyk,
  - 3) grawitacja to częściowo materia, zaś częściowo to własność czasoprzestrzeni.
- Ten ostatni punkt widzenia w kwantowej teorii grawitacji prowadzi do pojęcia grawito-

nu, czyli kwanta pola grawitacyjnego. Trzeci punkt widzenia zbliżony jest do stanowiska filozoficznego A. Einsteina. Sam Einstein utożsamiał zakrzywioną czasoprzestrzeń z polem grawitacyjnym. Takie ujęcie prowadzi do odrzucenia zasady korespondencji OTW z teorią Newtona, ponieważ ta ostatnia nie zawiera kowariantnego odpowiednika drugiego prawa Newtona. Einsteinowi nie powiodła się próba kwantowania pola grawitacyjnego i to z niewiadomych powodów. Niniejszy wstęp, w którym przedstawiono obecną sytuację w OTW oraz krótko zasygnalizowano jej problemy filozoficzne, już częściowo objaśnia, co będzie tematem pracy. Nie będę dociekać istoty grawitacji, bo i tak tej sprawy nie rozwiążemy ani też próbować przedstawiać 29 sformułowań OTW. Celem tego artykułu nie jest też analiza innych współczesnych teorii grawitacji. Jeśli chodzi o zmianę stałej grawitacyjnej w czasie i przestrzeni oraz o modną obecnie teorię Bransa-Dickego, to omawiam ją w oddzielnym artykule<sup>5</sup>. Nie będę też analizować kolejno każdego problemu filozoficznego z listy problemowej OTW, gdyż to przekracza ramy niniejszego artykułu. Sytuację ułatwia fakt, że Einstein był też filozofem i OTW powstała w wyniku rozwiązywania filozoficznych problemów przez tego twórcę najlepszej polowej teorii grawitacji. Dlatego mój sposób podejścia będzie historyczny, bowiem będę omawiać poszczególne etapy rozwoju teorii grawitacji od teorii Newtona poprzez OTW do teorii unitarnych i dzięki temu podam częściowe odpowiedzi na postawione na początku pytania. Zacznę od historii powstania OTW.

## 2. Geneza OTW

Ponieważ ukazała się interesująca pozycja poświęcona logicznej analizie teorii, które doprowadziły do powstania OTW<sup>6</sup> powtórzmy niektóre tezy tej pracy, dzięki czemu uzyskamy natychmiastowe wprowadzenie w filozoficzną problematykę OTW. Okazuje się bowiem, że A. Einstein rozróżniał już w 1913 roku silną zasadę równoważności od stałej zasady, zaś później posługiwał się w swoich rozważaniach tylko silną zasadą równoważności. Nazwy te pochodzą jednak z 1961 roku i zostały – o ile nam wiadomo – użyte po raz pierwszy przez Dickiego. W latach 1968–1969 Rindler wprowadził też pojęcie „pół-silnej” zasady równoważności, z czego wynika, że zasada równoważności jest z filozoficznego punktu widzenia pojęciem, które można stopniować. Zaslugą Gutha jest wskazanie, że Einstein już w 1913 roku zdawał sobie sprawę z istoty tego zagadnienia. Zdaniem Gutha, Einstein prowadził jakościowe rozważania, bazując na globalnej zasadzie Macha, która głosi, że lokalny układ inercjalny jest całkowicie wyznaczony przez odległe masy Wszechświata; chociaż ilościowe jego rozważania były oparte na lokalnej zasadzie Macha, która stwierdza jedynie, że bezwładność zależy od wzajemnego oddziaływania ciał, czyli mówi o „względności bezwładności”. Naszym zdaniem sprawy te rzutują na ocenę modelu Gödla przez Einsteina<sup>7</sup> i wymagają oddzielnego rozpatrzenia. Oryginalny wkład O. Gutha w metodologię teorii grawitacyjnych (jeśli pominiemy jego rozróżnienie między Nordströna – Einsteina – Fokkera skalarną teorią i tensorową teorią, jakie należy czynić w aksjonatycznej budowie OTW zaznacza się przede wszystkim w odróżnieniu silnej i słabej zasady korespondencji dla teorii grawitacyjnych w stosunku do teorii Newtona. Chodzi tu o zwykłą teorię Newtona, a nie o teorię Newtona – Cartana, bowiem zagadnienie korespondencji OTW z teorią Newtona – Cartana było badane przez A. Trautmana i tą

kwestią nie będziemy się zajmować.

Spróbujemy przedstawić poglądy Gutha. Otóż podstawowe prawo grawitacji uzyskał Newton w 1786 roku z trzeciego prawa Keplera oraz formuły Hugensa określającej przyspieszenie w ruchu jednostajnym po okręgu. Sam Hugen, podobnie jak Bernoulli, Leibniz czy Cassini, nie przyjmował tego prawa, gdyż wierzył w kartezjańską teorię wirów. Inny powód nie przyjmowania tego prawa to istnienie wiekowych nieregularności w ruchu planet. Te sprawy jednak nie całkowicie wyjaśniono 100 lat później, czyli w epoce Eulera i Lagrange'a.

Rozróżnia się teorie oddziaływania „na odległość” oraz teorie polowe, czyli teorie oddziaływań z bliska. Newtonowska teoria grawitacji była teorią cząstek z oddziaływaniami typu „action – at – distance” i Lagrange formalnie tylko uczynił z niej teorię polową w 1773 roku, wprowadzając potencjał grawitacyjny, którego gradient daje siłę ciężenia Newtona. Te problemy były badane przez Eulera oraz Laplace'a i ostatecznie Poisson w 1813 roku otrzymał nie zawierające explicite czasu równanie wiążące średnią gęstość materii „ $\rho$ ” z potencjałem „ $V$ ” w postaci

$$\nabla^2 V = 4\pi G \rho \quad (2.1)$$

gdzie „ $G$ ” jest stałą grawitacji,  $\nabla^2$  – operatorem Laplace'a. Równanie (2.1) wskazuje, że oddziaływania grawitacyjne rozchodzą się natychmiastowo, czyli bez żadnego opóźnienia. Jednak wcześniej, bo w 1801 roku, Soldner przyjmując Newtona korpuskularną teorię światła i zakładając, że masa grawitacyjna jest równa masie bezwładnej, wprowadził wzór na ugięcie toru korpuskuł światła o masie i prędkości „ $c$ ” w pobliżu dużej masy „ $M$ ” o promieniu „ $R$ ”. Ten wzór na nowo odkryty przez Einsteina w 1911 roku ma postać

$$Q = 2GM/Rc^2 \quad (2.2)$$

co oznacza, że analiza klasyczna daje ugięcie „ $Q$ ” dwa razy mniejsze niż przewiduje OTW.

Okolo 1845 roku Leverrier zauważył, że ruch Merkurego nie może być całkowicie wyjaśniony w ramach teorii Newtona. Analiza dziesiątków tysięcy obserwacji od 1750 do 1892 roku doprowadziła S. Newcomba do wniosku, że między teorią a obserwacjami istnieje jedynie rozbieżność w wiekowym ruchu peryhelium Merkurego i Marsa oraz węzła Venus. Newcomb dla usunięcia tych rozbieżności zaproponował, aby prawo Newtona:  $F = Gm_1 m_2/r^2$  zamienić na prawo:  $F = Gm_1 m_2/r^{2-E}$ , gdzie „ $E$ ” jest małą dodatnią liczbą<sup>8</sup>. Tymczasem w 1905 roku powstaje STW, która mimo że nie była teorią grawitacji, sugerowała konieczność rozchodzenia się oddziaływań grawitacyjnych z prędkością światła. STW wyróżniała klasę układów uprzywilejowanych, którymi są układy inercjalne. STW nie daje jednak kategorycznej odpowiedzi w kwestii istnienia cząstek poruszających się z prędkościami większymi od „ $c$ ”, czyli tachionów. Zdaniem A. Trautmana istnienie tachionów naruszyłoby zasadę przyczynowości w fizyce. STW jest zgodna z elektrodynamiką Maxwella z 1876 roku, nic też dziwnego, że w 1906 roku H. A. Lorentz próbował zbudować wektorową teorię grawitacji

podobną do teorii Maxwella. Za Guthem podajemy jednak informację, że zdaniem Dickiego Lorentz w 1906 roku dyskutował już skalarną teorię grawitacji. Zgodną z STW teorię grawitacji rozwinął w 1906 roku H. Poincaré, zaś H. Minkowski w 1908 roku zajmował się szczególnym przypadkiem tej teorii, używając jednak czterowektorów. W 1910 roku Lorentz również dyskutował podobną teorię. Okazuje się, że teoria E. P. Wignera i van Dama z 1965 roku jest podobna do teorii Poincareg'o. Tymczasem Einstein już w 1907 roku próbował rozciągnąć zasadę względności STW na układy nieinercjalne. Postulował on, że prawa fizyki powinny być te same we wszystkich układach nieinercjalnych i wprowadził w ten sposób pojęcie zasady równoważności. Dokładniej mówiąc, Einstein postulował, że układ umieszczony w jednorodnym polu grawitacyjnym i układ jednostajnie przyspieszony są wzajemnie równoważne. Używając tej zasady, Einstein mógł obliczyć wpływ jednorodnego pola grawitacyjnego na zachowanie się ciał próbnych, co też doprowadziło go do obliczenia „przesunięcia ku czerwieni” dla fotonu o masie  $m = Ec^{-2}$ . Einstein przyjmował też, że prędkość światła nie musi być stała w polu grawitacyjnym. W 1911 roku Einstein – jak już wspominaliśmy – wyprowadził formułę Soldnera określającą ugięcie światła w pobliżu masy „M” o promieniu „R”. Wyprowadzenie to – zdaniem Gutha – implikuje, że element liniowy w newtonowskim przybliżeniu OTW ma postać

$$ds^2 = c_1^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (2.3)$$

gdzie efektywna prędkość światła wyraża się wzorem:

$$c_1 = c(1 - GM/c^2 R) \quad (2.4)$$

Otóż klasyczna zasada korespondencji – tak jak się ją najczęściej formułuje – stwierdza, że każda teoria grawitacji powinna się redukować do teorii Newtona dla powolnych ruchów, tj.  $v \ll c$ , oraz dla słabych pól grawitacyjnych. Słaba zasada korespondencji – według Gutha – żąda, aby dla  $v \ll c$  równania pola przechodziły w równanie Poissona. Silna zasada korespondencji zawiera w sobie słabą zasadę oraz warunek aby element liniowy dowolnej teorii grawitacji redukował się do elementu liniowego opisywanego formułą (2.3). Interesujące byłoby zbadanie, która z tych zasad jest spełniona w różnych teoriach grawitacji i odpowiadających im modelach kosmologicznych. Przechodząc do historii zauważmy, że Einstein w 1912 roku podjął próbę konstrukcji skalarnej teorii grawitacji, w której  $c(x,y,z,t)$ , czyli prędkość światła odgrywała rolę potencjału grawitacyjnego. Uzasadnienie dla tej teorii jest takie, że w polu statycznym  $c = \text{const}$ , zaś w polu stacjonarnym „c” nie zależy od czasu.

W 1913 roku G. Mie także próbował rozwijać skalarną teorię grawitacji, opierając się na STW i wykorzystując jeszcze słabszą zasadę równoważności niż zasada podana wcześniej. Mie podał jednak ideę, zgodnie z którą prawa fizyki powinny wynikać z zasady wiaracyjnej ustalonej dla jednej funkcji „światowej”. Owa idea stanowiła myśl przewodnią dla późniejszych konstrukcji nieliniowej elektrodynamiki.

W 1912 i 1913 roku powstały dwie skalarne teorie grawitacji, których autorem był G. Nordström. Obie te teorie były zgodne z zasadami STW i nie występował w nich

efekt ugięcia światła w polu grawitacyjnym, bowiem równania elektrodynamiczne są niezmiennie względem transformacji Lorentza. Pierwsza teoria spełniała ścisłą zasadę równoważności, podczas gdy druga oparta była na silnym sformułowaniu tej zasady. A. Einstein nie był jednak zadowolony ze skalarnej teorii grawitacji i aby zrealizować swój ideał, czyli zasadę niezmienności praw fizycznych względem dowolnych układów współrzędnych, czyli zasadę kowariancji, pilnie uczył się rachunku tensorowego. W 1913 roku wyszła praca Einsteina i Grassmana, w której znajdują się błędne równania pola grawitacyjnego. Jednak 21 września 1913 roku Einstein wygłosił odczyt na temat przyszłej teorii grawitacji, która spełniałaby 4 warunki:

- 1) powinno być słuszne prawo zachowania pędu i energii;
- 2) powinna być zachowana równość masy ciężkiej i bezwładnej;
- 3) przynajmniej lokalnie powinna być słuszna STW;
- 4) relacje między wielkościami obserwowalnymi powinny być niezmiennie w czasie i przestrzeni.

Warunek 4. oznacza, że powinna być słuszna silna zasada równoważności. Einstein napisał w 1914 i 1915 roku jeszcze dwie nieudane prace poświęcone konstrukcji równań pola grawitacyjnego. Właściwe 10 równań typu hiperbolicznego wiążące geometrię  $g_{uv}$  z tensorem energii – pędu  $T_{uv}$  Einstein dopiero pod koniec 1915 roku. W tym czasie OTW jedynie wyjaśniała efekt wiekowego ruchu peryhelium Merkurego wynoszący 43" na stulecie. Efekt ugięcia promienia świetlnego wynoszący 1,75" został potwierdzony w 1919 roku podczas obserwacji zaćmienia Słońca w Afryce przez grupę A. S. Eddingtona. Z powyższego jest widoczne, że OTW powstała również w związku z rozstrzygnięciem filozoficznych problemów przez Einsteina. OTW powstała na bazie geometrii Riemanna i była wynikiem geometryzacji pola grawitacyjnego. W tej teorii geometria, za którą odpowiedzialny jest tensor metryczny, została utożsamiana z grawitacją, czyli składowe tensora metrycznego są jednocześnie potencjałami pola. Sukces OTW od razu nasunął uczonym ideę całkowitej geometryzacji fizyki. Jednak tak rozszerzony program, jak zauważył w 1961 roku J. Weysenhoff, poniósł porażkę. Istnieje obecnie około 20 teorii unitarnych czy też „jednolitych”, chociaż żadna z nich nie wyszła poza ramy geometrii. Mimo to – zdaniem A. Z. Pietrowa – tego rodzaju usiłowania są potrzebne i są zgodne z ogólnymi tendencjami poznania praw przyrody. Dlatego opisując dalszy rozwój OTW, nieco uwagi poświęcimy teoriom unitarnym.

### 3. Od OTW do teorii unitarnych

W 1918 roku H. Weyl stosując uogólnioną geometrię rozwinął unitarną teorię pola, która miała stanowić geometryzację zjawisk grawitacyjnych i elektromagnetycznych. Einstein w tym czasie już teoretycznie uzasadnił, stosując przybliżone liniowe równania pola, że istnieje promieniowanie grawitacyjne. Podczas gdy teoria Weyla okazała się sprzeczna z eksperymentem, to teoria fal grawitacyjnych nie została do tej pory potwierdzona doświadczalnie. W 1925 roku Rainich próbował zgeometryzować grawitację i elektromagnetyzm za pomocą jednego tensora  $P_{uv}$ . Podstawowe wyniki w tej dziedzinie osiągnął jednak w 1921 roku Th. Kaluza. Zostały one udoskonalone w 1926 roku przez O. Kleina.

Weźmy pięciowymiarową przestrzeń z metryką<sup>9</sup>

$$ds^2 = \gamma_{uv} dx^u dx^v \quad (3.1)$$

dla której  $\gamma_{uv}$  nie zależą od  $x_5$  i  $\gamma_{55} = 1$ . Oznacza to, że piąty wymiar jest przestrzenno-podobny. Oprócz transformacji dopuszczalnych przez OTW mamy jeszcze transformację

$$x'_5 = x_5 + f(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad (3.2)$$

co prowadzi do utożsamienia  $\gamma_{15}$  z potencjałem elektromagnetycznym (z dokładnością do pewnego współczynnika). Linie geodezyjne metryki (3.1) określają ruch cząsteczek naładowanych w polu grawitacyjnym i elektromagnetycznym. O. Klein w 1926 roku rozważał teorię unitarną, w której wszystkie funkcje były periodyczne względem  $x_5$ , co w zasadzie mieściło się w poprzednich ramach teorii. Tymczasem w 1927 roku Einstein i Grommer podali dowód, że z równań pola OTW wypływają równania ruchu. Teza ta wynika z nieliniowości równań OTW oraz z istnienia 4 tożsamości Bianchi dla tensora krzywizny Riemanna. Przybliżoną metodę określania ruchu cząstek materialnych polegającą na rozwijaniu wszelkich funkcji występujących w OTW względem ujemnych potęg prędkości „c” podali Einstein, Infeld i Hoffmann w 1938 roku (stąd nazwa metody EIH). Zupełnie niezależną metodę podał w 1939 roku W. A. Fock. Metodę EIH znacznie uprościli w 1959 roku J. Plebański i S. Bażański. Aby rozwiązać konkretne problemy OTW, największe uproszczenia ukazują się przez wprowadzenie współrzędnych harmonicznych zadanych za pomocą warunku

$$\frac{\partial(\sqrt{-g} g^{\alpha\beta})}{\partial x^\beta} = 0 \quad (3.3)$$

Ale zdaniem Focka nie tylko względy pragmatyczne wyróżniają współrzędne harmoniczne. Ten wybitny fizyk uważa, że są to układy uprzywilejowane w teorii grawitacji Einsteina i to w takim samym sensie jak układy inercjalne w STW. Inaczej mówiąc Fock uważa, że nie tylko nazwa „OTW” jest niesłuszna, lecz także jest niesłuszna zasada ogólnej kowariancji Einsteina. Swoje poglądy Fock wyłożył w 1947 i 1955 roku, chociaż później często je podkreślał.

Jak widzimy, podstawowe zasady OTW były i są przedmiotem szerokiej dyskusji filozoficznej. Jeśli chodzi o teorie unitarne, to Einstein w 1945 roku przedstawił jedną z nich, zaś w 1953 roku również Głowatow podał jedną z takich teorii. W tej dziedzinie można odnotować pracę Veblena, Pauliego, Podolańskiego, Jordana oraz Kalicyna. Jednak do tej pory nie istnieje prawdziwa „jednolita” teoria pola, toteż warto jest zbadać przyczyny niepowodzeń tych teorii. Jeśli chodzi o największe osiągnięcia teoretyczne w OTW po II wojnie światowej, to jest nim klasyfikacja pól grawitacyjnych dokonana przez Pietrowa, która stanowi silny aparat matematyczny do rozwiązywania problemów teorii grawitacji. Klasyfikacji pól próżniowych dokonał A. Z. Pietrow w 1954 roku, przeprowadzając odwozowanie przestrzeni Einsteina na centroafiniczną 6-wymiarową przestrzeń biwektorów. Macierze tensora krzywizny w tej przestrzeni

mają w pewnym ortonormalnym układzie odniesienia następującą postać:

$$R_{ab} = \begin{pmatrix} M & N \\ N & -M \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

przy czym dla typu I  $M$  i  $N$  są macierzami diagonalnymi:  $M(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$  i  $N(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$  dla których

Dla typu II  $M(\alpha_1, \alpha_2 + 1, \alpha_2 - 1)$  i  $N(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$  są również diagonalne chociaż ich współczynniki spełniają związek:  $\alpha_1 + 2\alpha_2 = \beta_1 + 2\beta_2 = 0$ . Trzeci typ Pietrowa związany jest z niediagonalnymi macierzami o postaci:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad N = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Używając tensora konforemnej krzywizny Weyla, można przeprowadzić klasyfikację pól ciążenia ogólnego typu<sup>10</sup>. W tym miejscu warto dodać, że już w 1961 roku, W. S. Breżniew<sup>11</sup> pokazał, iż tylko dla dodatniej stałej kosmologicznej i dla gazu ultrarelatywistycznego nie istnieje osobliwość kosmologiczna. Szerzej temat osobliwości potraktowany jest w mej poprzedniej pracy<sup>12</sup>. Tutaj dodajemy, że człon kosmologiczny ma wpływ na klasyfikację rozwiązań. Okazuje się bowiem, że dla  $\Lambda \rightarrow 0$  niektóre przestrzenie typu II i III Pietrowa przechodzą w typ I<sup>13</sup>.

Nie dotykając w tej pracy filozoficznej problematyki kosmologii zbudowanej na OTW<sup>14</sup> zauważmy, że filozoficzne zagadnienia OTW leżą nawet blisko życia. Przecież w związku ze sprawą „trójkąta bermudzkiego” wysuwana jest kwestia antygravitacji. Okazuje się, że ani teoria Newtona ani OTW nie przeczą istnieniu ujemnych mas. Dla małej ujemnej masy i dużej dodatniej przyspieszenie będzie skierowane w kierunku dodatniej masy. W latach 1960–1961 te kwestie były rozważane przez H. Bondiego oraz L. I. Schiffa, zaś zagadnienia ekranowania grawitacji przez Majoranę oraz grupę Bragińskiego. Okazuje się że ekranowanie grawitacji, jeśli ono istnieje, to jest minimalne. Wśród filozofów wielką popularnością cieszy się geometrodynamika Wheelera, nad którą ten wybitny fizyk amerykański ciągle pracuje. Wheeler sugeruje możliwość opisanie ładunków za pomocą nieuklidesowej topologii w przestrzeni wielospójnej. Teoria Wheelera jest to program geometryzacji a właściwie topologizacji całej fizyki. Program Wheelera można uznać za jeden z wariantów unitarnej teorii pola.

#### 4. Podsumowanie

Powszechnie uważa się, że OTW ma ograniczony zakres stosowalności, bowiem jej równania nie stosują się do gęstości większych niż  $10^{94} \text{ g cm}^{-3}$ . Owe równania pozwoliły przewidzieć istnienie tzw. czarnych dziur. Jeśli Cygnus X-1 jest rzeczywiście „czarna dziura” mielibyśmy nowy, tym razem astrofizyczny test OTW. Wszystko wskazuje, że OTW jest teorią empiryczną, gdyż można z niej wyprowadzić zdania obserwacyjne pozytywnie potwierdzone przez obserwacje. Tutaj nadmieniamy, że w latach 1962–1963 podczas zastoju w obserwacjach odzywały się głosy teoretyków, m. in. A. Białasa, że OTW stanowi zbiór tautologii logicznych i oderwana jest od doświadcze-



nia. Mimo panowania w tym czasie mody na aksjomatyzację OTW, która sugerowała powyższe oceny, to jednak dalszy rozwój OTW pokazał, że jest to teoria empiryczna, zaś szatę dedukcyjną powinna ona nosić chociażby ze względów estetycznych. Jednak obecna sytuacja w OTW wskazuje na konieczność głębokiej analizy filozoficznej tej teorii, mimo że tym problemom poświęcili wiele pracy autorzy radzieccy, organizując w tym celu specjalną konferencję filozoficzną w Kijowie w 1964 roku. Aparat wiązek włóknistych i różniczkowych form zewnętrznych, to nie tylko nowa formalna szata teorii. Aparat ten nie tylko ułatwia obliczenia, ale przede wszystkim ułatwia i ujednoznacza interpretację doświadczeń. Dla przykładu zauważmy, że badania A. Lichnerowicza, F. Gallissota i J. Kleina (które zapoczątkował E. Cartan) ujawniły opieranie się mechaniki klasycznej na geometrii różniczkowej: teorii form zewnętrznych i teorii wiązek. Obecnie aspekt hamiltonowski mechaniki interpretuje się jako układ dynamiczny na kostycznym rozwłóknieniu przestrzeni konfiguracyjnej, zaś aspekt lagranżowski to układ dynamiczny w wiązce stycznej tej przestrzeni. W OTW teorii wiązek używa się obecnie przy badaniu osobliwości<sup>15</sup>. Zauważmy, że historyczny sposób podejścia do badania problemów OTW umożliwia odkrycie założeń filozoficznych tej teorii. W tym kontekście pilną potrzebą okazuje się zbadanie, jak funkcjonuje silna i słaba zasada korespondencji w teoriach grawitacyjnych, takich jak Bransa-Dickiego, Hellingsa-Nordtvedta, Rosena, Lightmana i Lee, Whitrowa i Lee, Ylmaza, Whiteheada, a nie tylko w OTW. Jeśli chodzi o modele kosmologiczne bazujące na różnych teoriach grawitacji to zagadnienie korespondencji relatywistycznych i klasycznych modeli zostało częściowo zbadane przez Tredera. Druga sprawa to konieczność zbadania stopnia realizacji zarówno globalnej, jak i lokalnej zasady Macha w różnych teoriach grawitacji, np. Tredera z NRD, Bransa i Dickiego czy też teorii Morgansterna i innych.

W tym względzie wiele mogą pomóc analizy semantyczne, gdyż dzięki nim jedynie można ustalić stopień realizacji zadań Macha w różnych teoriach grawitacji. Wydaje się, że należy dokładnie ustalić przyczyny niepowodzeń teorii unitarnych, co pomogłoby zbudować teorię łączącą fizykę cząstek elementarnych z OTW i to taką, która by dała jakieś nowe przewidywania teoretyczne i empiryczne. Jeśli chodzi o ontologiczną analizę geometrodynamiki Wheelera, to mimo że w tej dziedzinie można odnotować ważną pracę Grünbauma<sup>16</sup> należy ją również dalej przeprowadzać. Jest faktem, że bez historycznego podejścia do badań nad filozoficznymi problemami OTW nie można osiągnąć istotnych wyników poznawczych. Jednak nie wszystkie problemy z listy wzmiankowanej na początku artykułu tu omówiliśmy, bowiem zwiększyło to by nadmiernie jego objętość. W kwestii związków zasady Macha i zasady równoważności J. F. Woodward i W. Yourgrau<sup>17</sup> sądzę, że z pierwszej powinna wynikać druga zasada (z tekstu wynika, że chodzi o globalną zasadę Macha). Ale w OTW taka sytuacja nie ma miejsca. Szerzej niektóre zagadnienia przedyskutowaliśmy w pracy<sup>18</sup>.

#### LITERATURA

- <sup>1</sup> Trautman A., *Fibre bundles associated with space-time*, Rep. Math. Phys., Toruń 1970, 1. 29–62.  
 Trautman A., *Invariance of Lagrangian Systems (w:) Studies in Relativity*, Clarendon Press, Oxford 1972.  
 Trautman A., *ibid.*, Acad. Polon. Sci., Serie Sci. Math., Astr., Phys., 20. 185 (1972).

- <sup>2</sup> Trautman A., Comparison of Newtonian and relativistic theories of space-time (w:) *Perspective in geometry and relativity* Ed. B. Hoffman, Indiana University Press, Bloomington 1966.  
Trautman A., *Teoria względności*, Ossolineum, Wrocław 1971.  
Trautman A., *Obszczała teoria odosobności*, *Uspiechy Fizycznych Nauk*, 89, 3, 1966.
- <sup>3</sup> Pietrow A. Z., *Grawitacja a czasoprzestrzeń* (w:) *Przestrzeń, czas, ruch*, PWN Warszawa 1976.  
Pietrow A. Z., *Sowremiennej sostojanie razwitia teorii grawitacjonno go polja* (w:) *Filósowskije problemy teorii tiagotienja Einsteina i relatiwistskoj kosmologii*, Naukowa dumka, Kijew 1965.
- <sup>4</sup> Władimirow Jo. S., *Kwantowaja teorja grawitacji*, (w:) *Einsteinowski Sbornik*, 1972, Nauka, Moskwa 1974.
- <sup>5</sup> Klimek Z., Skarżyński E., *Zmiana stałej grawitacji w czasie i przestrzeni*, *Postępy Astronautyki* 1977, Nr 2/29, s. 23–31.
- <sup>6</sup> Guth E., Contribution to the history of Einstein's Geometry as Branch of Physics, in book: *Relativity, Proc. Relativity Conf. Cincinnati, June 2–6, 1969*, New York-London 1970, pp. 161–207.
- <sup>7</sup> Skarżyński E., *Związki kosmologii z logiką*, *Ruch Filozoficzny* (w druku).
- <sup>8</sup> Braumberg W. A., *Relatiwistskaja niebiesnaja mechanika*, Nauka, Moskwa 1972, s. 323.
- <sup>9</sup> Pauli W., *Edinaja teoria polja* (w:) *Teoreticzkaja fizika 20 wieka* (z:) *Inostrannoj Literatury*, Moskwa 1962.
- <sup>10</sup> Pietrow A. Z., *Nowye metody w obszczej teorii odosobności*, Nauka, Moskwa 1966.
- <sup>11</sup> Breżniew W. S., *Tezisy 1-woj Sowetskoj grawitacjonnoj konferencji*, 1961, s. 14.
- <sup>12</sup> Skarżyński E., *Singularności w kosmologii i ich znaczenie dla filozofii czasu*, *Ruch Filozoficzny* (w druku).
- <sup>13</sup> Iwanienko D., *Przedmowa do rosyjskiego wydania książki J. Webera, General Relativity and Gravitational Waves* (z:) *Innostrannoj Literatury*, Moskwa 1962.
- <sup>14</sup> Skarżyński E., *Czy kosmologia posiada naukowy charakter?* *Ruch Filozoficzny* (w druku).
- <sup>15</sup> Duncan D. P., Shepley L. C., *Boundaries of spacetimes*, *Journal of Math. Phys.*, 16, 485, 1975.
- <sup>16</sup> Grünbaum A., *General relativity, Geometrodynamics and ontology*, w: *Philosophical Problems of Space and Time*, D. Reidel, Dordrecht-Holland, 1973.
- <sup>17</sup> Woodward J. F., Yourgrau W., *The Incompatibility of Mach's Principle and Principle of Equivalence in Current Gravitation Theory*, *British Journal for the Philosophy of Science*, 23, 111, 1972.
- <sup>18</sup> Skarżyński E., *Założenia kosmologii*, *Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem Z. Augustynka*, Wydział Filozoficzno-Historyczny UJ, Kraków, 1970.

## FILOZOFICZNE ZAGADNIENIA OGÓLNEJ TEORII WZGLĘDNOŚCI

### Summary

In the article present state of general theory of relativity has been presented. Genesis of general theory of relativity and its most important developmental moments have been described. Basic ideas of uniform theories of the field and philosophical problems connected with them have been presented. The article contains a review of philosophical problems occurring in relativistic theories of gravitation and methodological research program for these theories has been specified.

## FILOZOFICZNE ZAGADNIENIA OGÓLNEJ TEORII WZGLĘDNOŚCI

### Резюме

В статье представлено современное состояние теории относительности. Обсуждается в ней генезис общей теории относительности, а также важнейшие моменты её развития. Представлено основные идеи однородных теории поля и связанные с ними философские проблемы. В статье обсуждаются философские проблемы выступающие в релятивистских теориях гравитации и собрано тоже методологическую исследовательскую программу для этих теорий.