

Michał Heller

Kryterium falsyfikacji a ogólna teoria względności

Studia Philosophiae Christianae 6/1, 41-67

1970

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez **Muzeum Historii Polski** w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MICHAŁ HELLER

KRYTERIUM FALSYFIKACJI A OGÓLNA TEORIA WZGLĘDNOŚCI

Wprowadzenie. 1. Uwagi metodologiczne. 2. Ogólna teoria względności a doświadczenie. 3. Możliwości testowania ogólnej teorii względności na terenie kosmologii. 4. Wnioski.

Wprowadzenie

Ogólna teoria względności jest jedną z najbardziej zwartych i przejrzystych teorii współczesnej fizyki. L. Landau i E. Lifszic nazywają ją „chyba najpiękniejszą ze wszystkich istniejących teorii fizycznych”¹. Nasuwa się pytanie: czy teoria ta spełnia wysuwany przez dzisiejszą metodologię postulat empirycznej obalalności? Jest to pytanie interesujące dla einsteinowskiej teorii grawitacji — chodzi przecież o to, w jakim stopniu jest ona uzasadniona — i interesujące dla samej metodologii. Teoria Einsteina cieszy się powszechnym uznaniem fizyków, jeżeli więc nie spełnia metodologicznych postulatów weryfikowalności, tym samym stawia wspomniane postulaty pod znakiem zapytania. Cóż bowiem jest warta taka metodologia, z której regułami nie liczy się naukowa praktyka?

* Od redakcji: treść tego artykułu autor zreferował na posiedzeniu naukowym Komitetu Redakcyjnego, dnia 28 kwietnia 1969 r.

¹ Teoria pola, Warszawa 1958, 256.

1. Uwagi metodologiczne

1. Współczesna fizyka jest nauką o bardzo wysokim poziomie abstrakcji. Już dawno wyszła ona ze stadium prostego zbierania faktów empirycznych i indukcyjnego uogólniania zaobserwowanych prawidłowości do postaci praw przyrody. W nowoczesnej fizyce tworzy się bardziej abstrakcyjne konstrukcje, z których drogą dedukcji wynikałyby poszczególne prawa. Historia fizyki ostatnich dziesiątków lat jest historią fizycznych teorii. Ten bezsprzeczny fakt wywodzący się z naukowej praktyki fizyków znalazł odbicie w rozważaniach metodologów nad rolą teorii w naukach empirycznych. „Współczesne ujęcie teorii empirycznych — pisze Marian Przełęcki — różni się od tradycyjnego już choćby tym, jakie znaczenie przypisuje teorii jako pewnej strukturze metodologicznej. W logice tradycyjnej teoria stanowi jedną z wielu równorzędnych struktur metodologicznych, takich jak zdania o faktach, prawa czy hipotezy, niczym szczególnie ważnym spośród nich się nie wyróżniając. Logika współczesna natomiast widzi w teorii główny składnik nauki, jej podstawową strukturę metodologiczną. Przejawia się to może najwyraźniej w tym, iż większość pojęć metodologicznych, odnoszących się zarówno do terminów, jak i twierdzeń naukowych, logika ta relatywizuje do teorii, do których te terminy czy twierdzenia należą. Wystarczy tu przypomnieć pojęcia takie, jak: definiowalność, empiryczna sensowność czy sprawdzalność, których różne spotykane na gruncie logiki współczesnej definicje odwołują się do odpowiednich teorii. Toteż można tu z sensem pytać tylko o to, czy dany termin jest, dajmy na to, empirycznie sensowny ze względu na teorię T, a nie, czy jest empirycznie sensowny po prostu. W rezultacie logiczna metodologia nauk empirycznych utożsamia się dziś coraz bardziej z logiczną refleksją nad empirycznymi teoriami.”²

We współczesnej metodologii każdą teorię przyrodniczą roz-

² M. Przełęcki, *Teorie empiryczne w ujęciu logiki współczesnej*, w: *Fragmenty filozoficzne*, seria trzecia, (prac. zbior.), Warszawa 1967, 76.

waża się jako pewien system aksjomatyczny, sformalizowany, wyposażony w określoną interpretację.

Teoria przyrodnicza jest systemem, tzn. zbiorem zdań T , który zawiera wszystkie swoje logiczne konsekwencja $Cn(T)$:

$$T = Cn(T)$$

— jest systemem aksjomatycznym, czyli systemem identycznym ze zbiorem wszystkich logicznych konsekwencji pewnego swojego podzbioru właściwego A zwanego układem aksjomatów, tzn.:

$$T = Cn(A)$$

— jest systemem sformalizowanym, czyli systemem aksjomatycznym z określonym w sposób czysto formalny (syntaktyczny) językiem J (ściślej: zbiorem zdań sensownych języka J) oraz z również formalnie (syntaktycznie) określoną operacją logicznej konsekwencji Cn .

— wyposażonym w określoną interpretację, czyli w odpowiednią semantyczną charakterystykę języka J nadającą jego wyrażeniom określone znaczenie i odniesienie przedmiotowe. Aksjomatyczny system sformalizowany jest tworem czysto formalnym. Zdania, które do niego należą, niczego nie dotyczą, ani nic nie stwierdzają. Dopiero określona interpretacja pozwala rozważać dany aksjomatyczny system sformalizowany jako pewną teorię empiryczną³.

Dyskutuje się, czy każdą teorię przyrodniczą można „przetłumaczyć” na sformalizowany język systemu aksjomatycznego. Jest rzeczą prawdopodobną, że da się tego dokonać jedynie w wypadku szczególnie prostych teorii empirycznych lub co najwyżej dla pewnego ściśle określonego momentu historycznego rozwoju teorii⁴. To ograniczenie stanowi cenę, jaką trzeba

³ Na temat współczesnego ujęcia problemu teorii empirycznej obszerniej por. tamże, 76—84.

⁴ Por. tamże, 82.

zapłacić w zamian za możliwość stosowania precyzyjnych środków nowoczesnej logiki do badania teorii przyrodniczych. Dlatego też w dalszych rozważaniach nad ogólną teorią względności w zasadzie nie będziemy posługiwać się sformalizowanym językiem systemu dedukcyjnego lecz językiem już zinterpretowanym w codziennej praktyce naukowej. Postępowanie takie jest podyktowane tym, że interesuje nas głównie nie formalna struktura teorii lecz naukowa praktyka fizyków; nie syntaktyczne związki międzywyrażeniowe lecz raczej dziedzina rzeczywistości, do której odnosi się język teorii.

2. Teorie przyrodnicze z założenia mają zawierać wiedzę o świecie. Kontakt z rzeczywistością zapewnia im empiria. „Empiryczność nauk przyrodniczych — pisze Tadeusz Kotarbiński — polega na tym, że przyjmuje się w nich jako dostatecznie uzasadnione, tylko takie tezy, które są bądź spostrzegawcze, bądź uzasadnione przy pomocy tez, w których gronie znajdują się też tezy spostrzegawcze. Nie można tedy w naukach empirycznych nic dostatecznie uzasadnić, jeśli się ktoś powołuje wyłącznie na tezy aprioryczne: nic tu nie można wyłącznie „z głowy” wysunąć, a zawsze trzeba sięgać również i do doświadczenia.”⁵

Od czasów Karla Poppera w metodologii nauk przyrodniczych za kryterium naukowości pewnej teorii (tezy lub hipotezy) powszechnie przyjmuje się jej falsyfikowalność (obalalność, negatywna rozstrzygalność). „Wedle mojej propozycji — pisał Popper — to, co charakteryzuje metodę empiryczną jest to sposób poddawania falsyfikacji na wszelki dający się wyobrazić sposób, systemu, który ma być potwierdzony.”⁶ Logicznym uzasadnieniem tego kryterium jest pewna asymetria między weryfikowalnością a falsyfikowalnością: twierdzeń ogólnych nie można

⁵ Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk, Wrocław i in. 1961, 381.

⁶ The logic of scientific discovery, New York 1959, 42 (cyt. za: M. Gordon, O usprawiedliwieniu indukcji, Warszawa 1964, 295).

w sposób niezawodny wyprowadzić z twierdzeń jednostkowych, natomiast twierdzenia ogólne można niezawodnie obalić przez wskazanie jednostkowych kontrprzykładów (modus tollendo tollens logiki klasycznej: z prawdziwości twierdzeń jednostkowych wnioskuje się o fałszywości twierdzeń ogólnych)⁷. Według Poppera dana teoria przyrodnicza jest falsyfikowalna, jeżeli „dzieli ona jednoznacznie klasę wszystkich możliwych twierdzeń bazowych na dwie następujące podklasy niepuste. Po pierwsze, na klasę tych wszystkich twierdzeń bazowych, z którymi jest sprzeczna (lub które wyklucza lub zakazuje) — nazwijmy ją klasą potencjalnych falsyfikatorów tej teorii; po wtóre, na klasę tych twierdzeń bazowych, z którymi nie jest w sprzeczności (lub na które „zezwała”)⁸.

Dla celów przejrzystości dalszych rozważań kryterium falsyfikowalności (falsyfikacji) teorii sformułujemy w następujący sposób.

Definicja 1. Zdanie *h* jest negatywnie rozstrzygalne, jeżeli istnieje co najmniej jeden zbiór niepusty, skończony niesprzecznych zdań obserwacyjnych, z którego wynika negacja *h*.

Df. 2. Zdanie *h* jest w z a s a d z i e negatywnie rozstrzygalne, jeżeli jest negatywnie rozstrzygalne pod warunkiem zaistnienia możliwych do zrealizowania okoliczności (warunków) *C*, które to okoliczności (warunki) *C* w momencie sformułowania zdania *h* i potem nie muszą być zrealizowane ani nawet technicznie realizowalne.⁹ Jeżeli zdanie *h* nie jest w zasadzie negatywnie rozstrzygalne, to nie jest potwierdzalne. Znaczy to, że nie wolno uznać eksperymentów zgodnych ze zdaniem *h* za jego potwierdzenie.

Df. 3. Teoria empiryczna (przyrodnicza) jest falsyfikowalna (obalana, negatywnie rozstrzygalna) wtedy i tylko wtedy, gdy

⁷ Por. M. Gordon, dz. cyt., 295.

⁸ The logic of scientific discovery, 86.

⁹ Por. C. G. Hempel, Philosophy of natural science, Englewood Cliff 1966, 30.

wynika z niej niepusty zbiór zdań w zasadzie negatywnie rozstrzygalnych.¹⁰

W myśl kryterium Poppera teoria empiryczna T ma prawo obywatelstwa na terenie nauk przyrodniczych, jeżeli: 1° jest falsyfikowalna; 2° dotychczas nie została sfalsyfikowana. W wypadku niespełnienia warunku (2°) (teoria już po jej sformułowaniu została doświadczalnie obalona) teoria T odegrała twórczą rolę w procesie postępu wiedzy i przechodzi do historii nauki.

Przeciwno kryterium negatywnej rozstrzygalności wysuwa się dziś szereg zastrzeżeń. Zauważono między innymi (Duhem), że eksperymentalne obalenie konsekwencji wynikających z danej teorii z reguły nie oznacza fałszywości całej teorii. Do metodologicznej struktury teorii wchodzi wiele założeń, praw i hipotez i w wypadku eksperymentalnego sfalsyfikowania teorii nigdy nie wiadomo które z nich jest odpowiedzialne za niezgodność z doświadczeniem. Jednakże mimo tych (i innych) zastrzeżeń metodologowie na ogół uznają rolę kryterium negatywnej rozstrzygalności w procesie uprawomocniania wiedzy.¹¹ Fizycy zaś, nie wdając się w metodologiczne rozróżnienia, postulują, by z naukowej teorii wynikały zdania nadające się do porównania z doświadczeniem¹². Praktyka naukowa dużą wagę przypisuje

¹⁰ Na temat kryterium negatywnej rozstrzygalności obszerniej por. J. Giedymin, Uogólnienie postulatu rozstrzygalności hipotez, *Studia Filozoficzne*, 5 (1959) 140—141.

¹¹ Oprócz autorów cytowanych por. np.: E. Nagel, *The structure of science*, New York 1961; N. R. Campbell, *What is science*, New York 1952; J. Shefler, *The anatomy of inquiry*, New York 1963; N. R. Hanson, *Patterns of discovery*, Cambridge 1958, i inni.

¹² Por. np. V. L. Ginzburg, *Experimental verifications of the General Theory of Relativity*, w: *Recent Developments in General Relativity* (prac. zbior.), Warszawa 1962 (w dalszym ciągu pracę tę będziemy cytować skrótem: RDGR), s. 67. — „Teoria czerpie swe soki żywotne z doświadczeń, które wnioski jej potwierdzają. Obalają ją i niszczą doświadczenia sprzeczne z jej konsekwencjami. Eksperyment jest i pozostanie zawsze najwyższą instancją decydującą o losie teorii.” L. Infeld, *Nowe drogi nauki*, Warszawa 1957, 12. — „Możemy pytać o konsekwen-

tw. przewidywaniom. Jeżeli teoria zdołała z góry przewidzieć pewne fakty eksperymentalne nieznanne w chwili jej powstawania, stanowi to mocny atut na korzyść nowej teorii¹³.

Porównanie z empirią stanowi główny test naukowości teorii. Można jednak wymienić jeszcze kilka, niejako wtórnych, kryteriów pozwalających dokonać wyboru pomiędzy teoriami konkurencyjnymi. Ta z dwu teorii jest (*ceteris paribus*) „lepsza”, która: (1) jest prostsza, (2) opiera się na mniejszej ilości założeń, (3) jest ogólniejsza (obejmuje większy zakres zjawisk). Chcąc podkreślić, że jakaś teoria odznacza się cechami (1) — (3) w dużym stopniu, przyjęło się mówić o jej elegancji. „Reguły elegancji” nie są sztywnymi normami. W naukowej praktyce uwzględnia się je w sposób dość plastyczny, z dużym marginesem pozostawionym dla twórczej intuicji. „Badacz — pisał Einstein — wychodząc ze stwierdzonych faktów stara się skonstruować taki system pojęć, który, mówiąc ogólnie, logicznie bazowałby na niewielkiej liczbie zasadniczych założeń, zwanych aksjomatami. Taki system pojęć nazywamy teorią. Teoria czerpie potwierdzenie z tego, że wiąże dużą ilość różnych empirycznie faktów i na tym polega jej «prawdziwość» ”¹⁴.

2. Ogólna teoria względności a doświadczenie

3. Wśród założeń ogólnej teorii względności znajdują się pewne postulaty, które można poddać konfrontacji z doświadczeniem. Chodzi tu głównie o tzw. zasadę równoważności i o lokalną słuszność szczególnej teorii względności.

cje tych czy innych praw przyrody, ale nie ma sensu pytanie o same prawa. Jedyna odpowiedź brzmi bowiem, że prawa fizyki są takie a nie inne, gdyż właśnie takie są zgodne z doświadczeniem. Prawa fizyki służą do przewidywania zjawisk i jeżeli przewidywania zgadzają się z obserwacjami, to twierdzimy, że prawa są słuszne.” F. Hoyle, *Granice astronomii*, Warszawa 1967, 420.

¹³ Por. C. G. Hempel, dz. cyt., 76—77.

¹⁴ Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, Braunschweig 1960, 77—78.

a) W nowoczesnych opracowaniach rozróżnia się słabe i mocne sformułowanie zasady równoważności¹⁵. Słabe sformułowanie tej zasady stwierdza, że w spadającym swobodnie i bezobrotowo laboratorium wszystkie ciała spadają z tym samym przyspieszeniem, a co za tym idzie efekty grawitacyjne lokalnie znikają. W mocnym sformułowaniu zasady równoważności przyjmuje się ponadto, że prawa fizyki są słuszne niezależnie od umieszczenia laboratorium w czasie i przestrzeni. Według R. II. Dicke'go u podstaw einsteinowskiej teorii grawitacji leży mocne sformułowanie zasady równoważności¹⁶. Równość między masą ciężką m_G i masą bezwładną m_B jest konsekwencją¹⁷ słabego sformułowania zasady równoważności. W eksperymentalnym sprawdzeniu tej równości Einstein dopatrywał się istotnego potwierdzenia swojej teorii¹⁸. Słynne doświadczenie Eötvösa¹⁹ potwierdziło równość obu mas z dokładnością $2 \cdot 10^{-7}$. W nowszych doświadczeniach²⁰ osiągnięto dokładność docho-

¹⁵ Por. R. H. Dicke, Mach's principle and Equivalence, w: Evidence for gravitational theories, (prac. zbior.), New York — London 1962 w dalszym ciągu pracę tę będziemy cytować skrótem: EGT), 16—17.

¹⁶ Por. tamże.

¹⁷ Dla Einsteina równość masy ciężkiej i bezwładnej nie była konsekwencją lecz punktem wyjścia do sformułowania zasady równoważności, por. A. Einstein, Istota teorii względności. Warszawa 1958, 68—71. Z logicznego punktu widzenia słuszniejsze jednak wydaje się potraktowanie równości $m_G = m_B$ jako wniosku wynikającego z zasady równoważności, por. V. L. Ginzburg, Kosmiczeskie issledowania i teorija odnositelnosti, w: Einsteinowski Sbornik, Moskwa 1967, 85—86, przyp. 6.

¹⁸ „Możliwość wytłumaczenia równości liczbowej bezwładności i grawitacji daje, moim zdaniem, taką wyższość ogólnej teorii względności nad mechaniką klasyczną, że wszystkie napotykanne tu trudności należy uważać za nieznaczne wobec osiągniętego postępu.” A. Einstein, Istota teorii względności, 70.

¹⁹ Por. np. W. Rubinowicz, W. Królikowski, Mechanika teoretyczna, Warszawa 1955, 40.

²⁰ Por. V. L. Ginzburg, Kosmiczeskije issledowania..., 86; na temat nowoczesnej techniki doświadczeń por. R. H. Dicke, Experimental rela-

dzącą do $3 \cdot 10^{-11}$. A Thomas, Morgan i Asher Peres²¹ (zapropowowali eksperyment mający potwierdzić (lub obalić) zasadę równoważności w jej mocnym sformułowaniu. Doświadczenie to (o ile wywody jego autorów są słuszne) wraz z eksperymentalnym sprawdzeniem równości: $m_G = m_B$ zapewnia zasadzie równoważności (zarówno w jej słabym, jak i mocnym sformułowaniu) empiryczną obalalność²². Nie można jednak twierdzić, że tym samym obalalną jest również ogólna teoria względności. Wprawdzie niesłuszność zasady równoważności pociąga za sobą niesłuszność einsteinowskiej teorii grawitacji, ale nie odwrotnie — można uznawać zasadę równoważności nie godząc się np. na relatywistyczne równania pola.

b) Szczególna teoria względności ma dobre uzasadnienie empiryczne zarówno od strony swoich założeń (zasada względności, stałość prędkości światła), jak i konsekwencji. Jej pozycja we współczesnej fizyce jest trwale ugruntowana. Lokalna słuszność szczególnej teorii względności może służyć jako dobrze uzasadniony punkt wyjścia dla konstruowania teorii ogólnej, nie może jednak, rzecz jasna, odgrywać roli jej empirycznego sprawdzianu.

Tak więc dane doświadczalne przedstawione krótko w punktach (a) i (b) są jedynie dobrze umotywowaną „bazą wyjściową” ogólnej teorii względności, ale nie jej testami falsyfikującymi.

4. W podręcznikach mówi się zazwyczaj o trzech obserwacyjnych efektach wynikających z ogólnej teorii względności. Wskazał je już sam Einstein²³. Są to: peryhelionowy ruch planet, za-

tivity, w: *Relativity, groups and topology*, (prac. zbior.), New York i in. 1963 (w dalszym ciągu będziemy cytować RGT), 172—177.

²¹ Direct test for the strong equivalence principle, *Physical Review Letters*, 9 (1962) 79—80.

²² Jeżeli nie brać pod uwagę domysłów o istnieniu pewnego pola odpowiadającego cząstkom z zerową masą spoczynkową, por. V. L. Ginzburg, *Kosmiceskije issledowania...*, 86.

²³ W pracach: Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes, *Ann.Phys.*, 35 (1911) 898—908; Erklärung der Perihel-

krzywienie promieni świetlnych w pobliżu dużych mas, grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni w widmach masywnych gwiazd. Te trzy efekty będziemy skrótowo nazywać klasycznymi testami ogólnej teorii względności. Dokonamy ich szkicowego przeglądu. Nie będzie nam jednak chodziło o przepisywanie danych z prac poświęconych odnośnym obserwacjom, lecz raczej o analizę „mocy dowodowej” poszczególnych testów.

a) Relatywistyczny ruch planet wokół ciała centralnego różni się od ruchu klasycznego tym, że w przypadku relatywistycznym występuje precesja punktu peryhelionowego. Precesja ta, jak wynika z teorii, wynosi (w sekundach kątowych na stulecie):

$$\psi = \frac{5\pi a^2 Y}{24 c^2 T^3 (1 - e^2)} = \frac{3,34 \cdot 10^{33}}{a^{5/2} (1 - e^2)} \quad (1)$$

gdzie: $Y = 365,25$ — ilość dni w roku, T — okres obrotu planety wokół słońca (w dniach), a — duża półoś orbity (w cm), e — mimośród orbity. Ruch peryhelionowy czasem charakteryzuje się przez podanie iloczynu $e\psi$. Dla planety Merkurego z teorii wynika: $\psi_{\text{teor}} = 43''03$, dane obserwacyjne z r 1956 wskazują: $\psi_{\text{dosw.}} = 43''11 \pm 0,45$. Wielkość $\psi_{\text{dosw.}}$ jest tą częścią całkowitego efektu ruchu peryhelium, która nie da się wyjaśnić perturbacyjnym oddziaływaniem innych planet (całkowity efekt jest równy ok $12,5 \psi_{\text{dosw.}}$). Obserwacje dają więc 1% zgodności z teorią.

b) Według teorii względności promienie świetlne przechodzące w odległości R od słońca ulegają odchyleniu o kąt:

$$\alpha = \frac{4\kappa M_{\odot}}{c^2 R} = 1''75 \frac{r_{\odot}}{R} \quad (2)$$

Stwierdzenie tego efektu podczas zaćmienia słońca w 1919 r. było pierwszym obserwacyjnym sukcesem ogólnej teorii

bewegung der Merkur aus der Allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.*, 47 (1915) 831—839; Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie, *Ann. Phys.*, 49 (1916) 769—822.

względności²⁴. Od tego czasu dokonano 11-stu obserwacji. Ważniejsze wyniki można znaleźć w pracy V. L. Ginzburga²⁵. Dają one 10—20% zgodności z teorią.

Należy zwrócić uwagę na okoliczność, że efekty (a) i (b) nie wynikają z równań pola w ich ogólnej postaci. Są one jedynie konsekwencją tzw. zewnętrznego rozwiązania Schwarzschilda równań pola dla przestrzeni pustej $R = 0$.

c) Za jeden z klasycznych testów ogólnej teorii względności powszechnie uważa się zmianę częstości $\Delta\nu$ przy przejściu promienia świetlnego z punktu A do punktu B (potencjały grawitacyjne w tych punktach są równe odpowiednio φ_A , φ_B). Formuła relatywistyczna daje:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\nu_B - \nu_A}{\nu_A} = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{c^2} \quad (3)$$

Na grawitacyjną zmianę częstości z reguły nakłada się zmiana częstości pochodząca od zjawiska Dopplera związanego z ruchem własnym gwiazdy. Rozdzielenie tych dwóch efektów bywa zwykle trudnym zadaniem²⁶. Przegląd sytuacji do r. 1954 por. w pracy E. Finlay-Freundlich²⁷. Nowszymi metodami badań posługiwali się J. E. Blamont i F. Roddler²⁸. Stwierdzili

²⁴ A. Einstein, Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie, *Naturwiss.*, 7 (1919) 776.

²⁵ Experimental verifications..., 63.

²⁶ Wyniki obserwacyjne dla 18 gwiazd podaje R. J. Trumpler, Observational results on the light deflection and on red-shift in star spectra, *Helvetica Physica Acta*, Supplementum IV, (1965) 106—108.

²⁷ Red shifts in the spectra of celestial bodies, *Philos. Magaz.*, 45 (1954) 303—319.

²⁸ Precise observation of the profile of the strontium resonance line: evidence for gravitational red shift on the sun, *Phys. Rev. Letters*, 7 (1961) 437—439.

oni zgodność obserwacji z teorią z marginesem niepewności rzędu 20%. Wielki stopień dokładności w tej dziedzinie badań osiągnięto dzięki wykorzystaniu efektu Mössbauera. R. V. Pound i G. A. Rebka²⁹ posługując się metodą rezonansu jądrowego wyznaczyli zmianę częstości promieniowania gamma w ziemskim polu grawitacyjnym (różnica poziomów 12,5 m). W wyniku doświadczenia otrzymano:

$$\left(\frac{\Delta\nu}{\nu}\right)_{\text{dośw}} = (5,13 \pm 0,51) \cdot 10^{-15}$$

podczas gdy z teorii wynikło:

$$\left(\frac{\Delta\nu}{\nu}\right)_{\text{teor}} = 4,92 \cdot 10^{-15}$$

A więc zgodność zadowalająca.

Efekt zmiany częstości w polu grawitacyjnym można wyprowadzić bez konieczności odwoływania się do równań pola dwoma różnymi sposobami. Efekt ten wynika (a) ze szczególnej teorii względności i zasady równoważności³⁰; (b) daje się go również wydedukować (nie posługując się zasadą równoważności) w oparciu o związek $E = mc^2$ i interpretację światła jako strumienia kwantów o masie m ³¹. Omawiany efekt należy więc uznać (w najlepszym razie) za sprawdzian założeń ogólnej teorii względności, a nie test weryfikujący teorię.

5. Dalszy postęp w dziedzinie obserwacyjnych aspektów ogólnej teorii względności jest możliwy na drodze osiągnięcia co-

²⁹ Gravitational red shift in nuclear resonance *Phys. Rev. Letters*, 3 (1959) 439—441 oraz Apparent weight of photons, tamże, 4 (1960) 337—341.

³⁰ Por. np. R. Adler, M. Bazin, M. Schiffer, *Introduction to General Relativity*, New York... 1965, 125—128.

³¹ tamże, 128—129.

raz większych dokładności już znanych eksperymentów i projektowaniu nowych. Istnieją plany wykorzystania obserwacji małych planet (szczególnie obiecujący pod tym względem jest asteroid Ikar) i sztucznych satelitów zarówno Słońca, jak i Ziemi (jednakże w tym ostatnim wypadku trudności są bardzo duże) do dokładnego wyznaczenia ruchu peryhelium (względnie perygeum)³². Istnieją ponadto nadzieje, że obserwacje zakrzywienia promieni świetlnych w polu grawitacyjnym słońca dokonywane z pokładów sztucznych satelitów i sond kosmicznych zwiększą dokładność tych eksperymentów do ok. 1%³³. Rozważa się również możliwość wykorzystania nowych efektów relatywistycznych w charakterze testów obserwacyjnych³⁴:

a) tzw. „efekt obrotowy” — w teorii Newtona pole grawitacyjne wytwarzane przez spoczywającą kulę nie różni się od pola grawitacyjnego wytwarzanego przez kulę obracającą się dookoła swojej osi symetrii. W teorii relatywistycznej w obydwu wypadkach pole jest różne. Związane z tym efekty powinny ujawnić się w ruchu planet i sztucznych satelitów.

b) różnym od efektu obrotowego jest tzw. „relatywistyczny efekt żyroskopowy” — w einsteinowskiej teorii grawitacji dobowy ruch obrotowy Ziemi powoduje procesję osi żyroskopu umieszczonego bądź na powierzchni Ziemi, bądź na sztucznym satelicie naszej planety. Wyliczony z teorii kąt obrotu osi żyroskopu znajdującego się na biegunie ziemskim wynosi 0''25 na rok.

Efekty (a) i (b) V. L. Ginzburg nazywa trzecim i czwartym (po ruchu peryhelionowym i zakrzywieniu światła w polu grawitacyjnym) testem ogólnej teorii względności.

³² Obszerniej por. V. L. Ginzburg, Kosmiczeskie issledowania..., 92—94.

³³ Por. tamże, 91—92.

³⁴ Obszerniej por. tamże, 95—99.

c) tzw. „efekt opóźnienia” — przy radiolokacji (metodą odbicia radarowego) z Ziemi planety lub sztucznego satelity winno wystąpić, jako efekt czysto relatywistyczny, opóźnienie δt w czasie powrotu na Ziemię odbitego sygnału. Efekt ten jest niezwykle trudno „wydzielić” od wszystkich innych relatywistycznych poprawek w ruchu planety czy sztucznego satelity.

d) empiryczne wykrycie fal grawitacyjnych byłoby również efektem przewidzianym przez ogólną teorię względności³⁵.

6. Czy omówione powyżej eksperymentalne konsekwencje ogólnej teorii względności zapewniają jej obalalność zgodnie z wymaganiami współczesnej metodologii? W odpowiedzi należy zauważyć:

1) Na miano testów ogólnej teorii względności zasługują jedynie następujące efekty obserwacyjne:

- a) ruch peryhelionowy,
- b) zakrzywienie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym,
- c) efekt obrotowy,
- d) efekt żyroskopowy,
- e) efekt opóźnienia,

przy czym ostatnie trzy efekty, choć teoretycznie możliwe do zaobserwowania, nie zostały jeszcze z wystarczającą dokładnością stwierdzone. Natomiast na miano testów ogólnej teorii względności nie zasługują;

f) wszystkie eksperymenty potwierdzające zasadę równoważności i lokalną słuszność szczególnej teorii względności; są one bowiem empiryczną bazą wyjściową a nie konsekwencją teorii.

g) zmiana częstości drgań w polu grawitacyjnym; efekt ten można bowiem wyjaśnić nie odwołując się do ogólnej teorii względności. (h) wydaje się, że i ewentualnego wykrycia fal

³⁵ Doniesienie na temat eksperymentalnych prac związanych z próbami wykrycia fal grawitacyjnych por. H. L. D., Gravity waves detected for the first time, Scientific Research, October 1967, 41—53. Por. również: J. Weber, General Relativity and gravitational waves, New York 1961; F. A. E. Pirani, Survey of gravitational radiation theory, RDGR, 89—105.

grawitacyjnych nie można by uważać za test ogólnej teorii względności. V. L. Ginzburg pisze na ten temat: „... fale grawitacyjne pochodzące od jakichkolwiek hipotecznych, jednakże w jakiś sposób realnych, źródeł dla ziemskiego obserwatora okazują się bardzo słabymi falami. To ostatnie oznacza, że w rozwiązaniach równań ogólnej teorii względności można ograniczyć się tylko do przybliżenia liniowego, a co za tym idzie nie ma możliwości, aby odróżnić ogólną teorię względności od nieeinsteińskich teorii grawitacji. Innymi słowy: nie widzimy (prawda, że zagadnienie to nie było dokładniej analizowane) w jaki sposób zaobserwowanie grawitacyjnych fal mogłoby posłużyć do obalenia (lub potwierdzenia) nieeinsteińskich teorii grawitacji.”³⁶

2) Wszystkie testy einsteińskiej teorii grawitacji (a) — (e) wynikają nie z równań pola w ich ogólnej postaci, lecz z równań pola dla przestrzeni pustej. Ścisłej mówiąc są one następstwem zewnętrznego rozwiązania Schwarzschilda. Równania pola w ich ogólnej postaci nie mają dotychczas obserwacyjnych konsekwencji (w niekosmologicznej dziedzinie zjawisk). Można je uznać za obalalne (pośrednio) jedynie w następującym sensie:

a) Jeżeli równania pola grawitacyjnego dla przestrzeni pustej są fałszywe, to fałszywe są również równania pola w postaci ogólnej. Ale nie odwrotnie:

b) Z prawdziwości równań pola dla przestrzeni pustej nie wynika ich prawdziwość w postaci ogólnej.

Ponieważ poprzednik okresu warunkowego (a) może zostać empirycznie zweryfikowany, dlatego równania pola w postaci ogólnej można uznać za pośrednio obalalne.

3) Dotychczasowa astronomia ma do czynienia wyłącznie ze słabymi polami grawitacyjnymi. (Silne pola grawitacyjne pojawiają się — poza kosmologią — w problemach związanych z gwiazdami neutronowymi i kolapsem). Wynika stąd, że w wy-

³⁶ Kosmiczeskije issledowania..., 95.

padku wszystkich znanych dotychczas obserwacji dają się mierzyć jedynie efekty rzędu φ/c^2 . A tego rodzaju pomiary, ściśle rzecz biorąc, nie mogą być uważane za testy równań pola (dla przestrzeni pustej), lecz jedynie są testy przybliżonych rozwiązań tych równań. Mianowicie rozwiązań, w których ograniczamy się do pierwszych wyrazów rozwinięcia w szereg według parametru φ/c^2 ³⁷.

4) Obserwacyjne testy ogólnej teorii względności wynikają również z innych teorii grawitacji, konkurencyjnych w stosunku do teorii Einsteina. Można tu wymienić m. in. teorie: G. D. Birkhoffa ³⁸, A. N. Whiteheada ³⁹, A. N. Whiteheada uzupełnioną przez J. L. Synge'a ⁴⁰, R. H. Dicke'go i C. Bransa ⁴¹, F. Hoyle'a i J. V. Narlikara ⁴² i inne. Wspomniane teorie przewidują obserwacyjne efekty bądź identyczne z einsteinowskimi, bądź ilościowo nieco od nich różne, ale mieszczące się jeszcze w granicach dokładności obecnych pomiarów.

Z uwag (1) — (4) wynika, że 1° Einsteinowska teoria grawitacji w swoim ogólnym, ale niekosmologicznym sformułowaniu nie jest wprost empirycznie obalalna. Jest obalalna tylko pośrednio w sensie określonym powyżej.

2° Einsteinowska teoria grawitacji w swoim węższym sformułowaniu (= równania pola dla przestrzeni pustej) jest empirycznie obalalna (i to z zastrzeżeniami wynikającymi z (3), ale:

³⁷ Tamże, 81—84.

³⁸ Por. J. D. North, *The measure of the Universe*, Oxford 1965, 186—190, tam też odnośniki do oryginalnych prac.

³⁹ *The principle of relativity*, Cambridge 1922, por. również J. D. North, dz. cyt., 190.

⁴⁰ Por. J. D. North, dz. cyt., 192—193, tam też odnośniki do oryginalnych prac.

⁴¹ Mach's Principle and relativistic theory of gravitation, RGT, 241—260.

⁴² A new theory of gravitation, w: *International Conference on Relativistic theories of gravitation*, vol. II, London 1965. Teoria ta, ściśle rzecz biorąc, nie jest konkurencyjna w stosunku do ogólnej teorii względności lecz stanowi jej uogólnienie.

3° jest nierozstrzygalna w zestawieniu z innymi teoriami grawitacji. Na obecnym etapie rozwoju nauki obserwacje nie są w stanie wyeliminować teorii niewłaściwych.

Wydaje się, że tylko pośrednia obalalność teorii (por. 1°) nie wystarcza, aby — w myśl kryteriów przyjmowanych we współczesnej metodologii — zapewnić teorii prawo obywatelstwa w nauce. W przeciwnym bowiem razie dowolne uogólnienia obalalnych teorii, jako obalalne pośrednio, automatycznie miałyby zagwarantowaną pozycję naukową. Na to nie może się zgodzić żadna rozsądna metodologia.

3. Możliwości testowania ogólnej teorii względności na terenie kosmologii.

7. Niejako dalszym ciągiem i naturalnym uzupełnieniem ogólnej teorii względności jest tzw. kosmologia relatywistyczna. Jej zadanie sprowadza się do szukania odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób rozkład materii wpływa na czasoprzestrzenną strukturę wszechświata jako całości? Odpowiedź na to pytanie stanowią poszczególne modele kosmologiczne.

W związku z szybkim rozwojem techniki astronomicznej a zwłaszcza radioastronomicznej, kosmologia przeżywa dziś okres wzmożonych nadziei na stosunkowo rychle wyróżnienie drogą obserwacji tego modelu — lub tej klasy modeli — który (która) najwierniej opisuje strukturę i ewolucję rzeczywistego świata.

8. Dokonajmy teraz krótkiego przeglądu głównych testów kosmologicznych⁴³.

(1) Zaliczanie galaktyk w jednostce objętości. Liczba N galaktyk w objętości kuli o promieniu r zależy od: a) geo-

⁴³ Por. np. A. G. Pacholczyk, Obserwacyjny aspekt kosmologii, *Postępy Astronomii*, 1 (1962) 15—45. — Teoretyczne podstawy obserwacyjnego testowania modeli por. H. P. Robertson, *Cosmological theory*, *Helvetica Physica Acta*, Suppl. IV, (1956) 128—146.

metrii wszechświat — w przestrzeni Euklidesa N rośnie proporcjonalnie do r^3 , w przestrzeni Riemanna o krzywiznie dodatniej N rośnie wolniej niż r^3 , w przestrzeni Riemanna o krzywiznie ujemnej — szybciej niż r^3 — i od b) czasowej ewolucji modelu. W praktyce nie liczy się galaktyk w jednostce objętości, lecz wyznacza się zależność ilości galaktyk o jasności większej od m -tej wielkości gwiazdowej na określonym wycinku nieba od tejże wielkości gwiazdowej m .

(2) Zależność: jasność — czerwone przesunięcie. W wypadku jednorodnych i izotropowych modeli kosmologicznych teoria daje ścisłą proporcjonalność między odległością matryczną r a czerwonym przesunięciem z w widmie danej galaktyki w dowolnej chwili czasu kosmicznego. Zależność ta przejawia się jako proporcjonalność pomiędzy logarytmem przesunięcia ku czerwieni a widomą bolometryczną wielkością gwiazdową danej galaktyki. Jednakże skończona prędkość rozchodzenia się sygnałów świetlnych nie pozwala na jednoczesne obserwacje wszystkich części wszechświata w tym samym momencie czasu kosmicznego. Stąd, jeżeli wszechświat podlega czasowej ewolucji (tzn. $R(t) \neq \text{const}$), to tym samym zostaje naruszony liniowy charakter zależności: jasność — czerwone przesunięcie. Z odstępstw od liniowości można więc wnioskować o charakterze ewolucji świata.

(3) Średnice kątowe galaktyk i gromad galaktyk. Z różnych modeli wynikają różne zależności średnic kątowych od jasności lub średnic kątowych od czerwonego przesunięcia danej galaktyki. Pomiar komplikuje ta okoliczność, że w modelu ewolucyjnym jasność (powierzchniowa) zmienia się z odległością odwrotnie proporcjonalnie do $(1 + z)^4$

Testy (1) — (3) w zasadzie nadają się do sprawdzenia zarówno metodami astronomii, jak i radioastronomii. Technika radiowa jest bardziej obiecująca, gdyż pozwala przesunąć punkty obserwacyjne dalej wzdłuż krzywych teoretycznych. W dziedzinie radiowej realizowano dotychczas głównie test (1).

(4) „Wiek wszechświata”. W przypadku tzw. modeli źródłopunktowych przez „wiek wszechświata” należy rozumieć okres czasu, jaki upłynął od momentu, gdy $R(t) = 0$ do obecnej chwili czasu kosmicznego. Swoistym testem kosmologicznym jest postulat nakazujący odrzucić te modele, dla których „wiek wszechświata” jest mniejszy od wieku najstarszych gwiazd. Warunek $R(t) = 0$ pociąga za sobą istnienie stanu wszechświata z nieskończoną gęstością materii. Praktycznie rzecz biorąc należy więc porównywać wiek najstarszych gwiazd nie z „wiekiem wszechświata” lecz z okresem czasu, jaki upłynął od momentu, w którym — dla danego modelu — panowały tak duże gęstości, że nie mogło być jeszcze mowy o istnieniu indywidualnych gwiazd.

(5) Obserwacyjne wyznaczenie niektórych parametrów kosmologicznych. Trzy parametry: obecna wartość stałej Hubble’a H_0 , obecna średnia gęstość materii we wszechświecie ρ_0 , oraz obecna wartość tzw. „parametru zwalniania galaktyk” q_0 w kosmologii relatywistycznej są związane ze sobą równaniami:

$$\rho_0 = \frac{3 H_0^2 q_0}{4\pi\gamma}$$

$$kc^2 = H_0^2 \cdot (2q_0 - 1)$$

gdzie: γ — stała grawitacji, k — krzywizna przestrzeni. Z drugiego wzoru widać znaczenie parametru q_0 : dla $q_0 = 1/2$ wszechświat jest euklidesowy, dla $q_0 > 1/2$ — wszechświat jest sferyczny, dla $0 \leq q_0 < 1/2$ hiperboliczny. Wszystkie te parametry można obserwacyjnie wyznaczać niezależnie od siebie. Określenie któregośkolwiek z nich automatycznie zawęża klasę dopuszczalnych modeli wszechświata⁴⁴.

⁴⁴ Obszerniej por. J. P. Lasota, O pewnych zagadnieniach astrofizyki relatywistycznej i kosmologii, *Studia Filozoficzne*, 2 (1967) 231—232.

(6) Promieniowanie tła. Test ten nabrał dużego znaczenia w ostatnich latach. Amerykańskie⁴⁵ badania ponad wszelką wątpliwość wykazały, że przestrzeń wszechświata jest wypełniona izotopowym promieniowaniem radiowym odpowiadającym promieniowaniu ciała czarnego o temperaturze 3° K. Odkrycie to nakłada na kosmologię obowiązek wyjaśnienia genezy tego promieniowania. Dotychczas znane jest tylko jedno wyjaśnienie (przewidywane przez Gamow⁴⁶ jeszcze przed odkryciem samego promieniowania): promieniowanie tła pochodzi z epoki supergęstych stanów wszechświata. Wyjaśnienie to nakłada istotne ograniczenia na klasę dopuszczalnych modeli wszechświata.

Oprócz omawianych powyżej wymienia się również jako ewentualne testy kosmologiczne: badanie materii międzygalaktycznej (zwłaszcza w linii 21 cm)⁴⁷, wyznaczanie obfitości występowania poszczególnych pierwiastków chemicznych we wszechświecie⁴⁸, planowane obserwacje neutrin pochodzenia kosmicznego (tzw. astronomia neutrinowa)⁴⁹, i inne.

9. Powstaje pytanie: czy omówione w p. 8 testy kosmologiczne zapewniają ogólnej teorii względności obserwacyjną falsyfikowalność? Aby uzyskać prawidłową odpowiedź na to pytanie, należy zauważyć, że przechodząc od zwykłego sformułowania ogólnej teorii względności do jej kosmologicznych ekstrapolacji czyni się cały szereg nowych założeń. Dokładne wyróżnienie wszystkich tego rodzaju założeń nadaje się do oddzielnego

⁴⁵ Por. np. P. J. E. Peebles, D. T. Wilkinson, The primeval fireball, *Scientific American*, 6 (1967) 28—37; S. P. Maran, A. G. W. Cameron, Relativistic astrophysics, *Science*, 157 (1967) 157.

⁴⁶ por. np. jego popularną książkę: The creation of the universe, New York 1957, 59—64; 134—135.

⁴⁷ Por. A. G. Pacholczyk, art. cyt. 36—37.

⁴⁸ por. np. K. S. Thorne, Primordial element formation, primordial magnetic fields and the isotropy of the universe, *The Astrophysical Journal*, 148 (1967) 51—68.

⁴⁹ Por. np. B. Kuchowicz, Laboratoryjny aspekt kosmologii, *Postępy Astronomii*, 11 (1963) 255—261.

opracowania. Wymieńmy te, które najbardziej rzucają się w oczy:

a) Tzw. zasada kosmologiczna. Mieszczą się w niej dwa odrębne założenia: założenie jednorodności i izotropowości rozkładu mas we wszechświecie ⁵⁰.

b) tzw. postulat Weyla przypisujący substratowi wypełniającemu model własności hydrodynamiczne: przez każdy punkt czasoprzestrzeni przechodzi jedna i tylko jedna geodetyka (za wyjątkiem jednego punktu w skończenie lub nieskończenie oddległej przeszłości) ⁵¹.

c) Założenie stwierdzające, że ogólna teoria względności jest stosowalna do układu zwanego wszechświatem. Przyjęcie jednorodnie i izotropowo „rozmytego” w przestrzeni substratu suponuje, że pola grawitacyjne dodają się drogą zwykłej superpozycji. Tymczasem, jak wiemy, nie jest to prawdą (równania pola są nieliniowe). Należy więc przyjąć w charakterze oddzielnego założenia — które może być słuszne lub nie — iż rozwiązania otrzymane drogą konstrukcji „rozmytego” substratu są dopuszczalnym przybliżeniem rozwiązań „prawdziwych” ⁵².

d) Założenie wyłączości oddziaływań grawitacyjnych. Ogólna teoria względności jest per se teorią grawitacji. Budując jedynie w oparciu o nią model kosmologiczny, tym samym implícite zakłada się, że za strukturę i ewolucję wszechświata jako całości jest odpowiedzialna wyłącznie grawitacja ⁵³.

Tego rodzaju założenia⁵⁴ sprawiają, że sytuacja jest następująca:

⁵⁰ Por. np. H. Bondi, *Kosmologia*, Warszawa 1965, 21—26.

⁵¹ Tamże, 130—132.

⁵² M. Heller, Definicja terminu „wszechświat” w kosmologii relatywistycznej, *Roczniki Filozoficzne*, XIV (1968) z. 3, 45—61.

⁵³ M. Heller, Seryjne modele wszechświata, *Roczniki Filozoficzne*, XV (1967) z. 3, 73—88.

⁵⁴ Rolę tych założeń uwidacznia „przepis” na tworzenie modelu relatywistycznego, por. M. Heller, „Stwarzanie” materii jako prawo fizyki, *Roczniki Filozoficzne*, XIV (1966) z. 3, 96.

1° Jeżeli testowanie modeli relatywistycznych wyróżni któryś z modeli (lub pewną klasę modeli) jako odpowiadający rzeczywistości, będzie to nowym argumentem przemawiającym na korzyść ogólnej teorii względności. Należy jednak podkreślić, że według współczesnych poglądów metodologicznych obserwacji zgodnych z daną teorią nigdy nie wolno uznać za jej ostateczne potwierdzenie ⁵⁵.

2° Jeżeli wyniki testowania relatywistycznych modeli wszechświata pokażą, że żaden z tych modeli nie odpowiada rzeczywistości, to nie wynika stąd, iż ogólna teoria względności jest fałszywa. Za niezgodność kosmologii relatywistycznej z aktualnym stanem rzeczy może bowiem ponosić odpowiedzialność nie koniecznie ogólna teoria względności, lecz któreś z wyżej wymienionych założeń, na których ta kosmologia bazuje.

Ogólny wniosek z rozważań tego paragrafu brzmi: kosmologia relatywistyczna, choć sama jest teorią w zasadzie obalalną, nie zapewnia obalalności (falsyfikowalności) einsteinowskiej teorii grawitacji.

4. Wnioski.

Zestawiając wnioski z roz. 2 i roz. 3 (p. 6 i p. 9) widzimy, że ogólna teoria względności, która — biorąc pod uwagę zgodną praktykę fizyków — niewątpliwie zasługuje na miano teorii naukowej, nie spełnia neopozytywistycznych kryteriów naukowości. Einsteinowska teoria grawitacji jest o wiele bogatsza niż by ją chciał widzieć Popper. Jej wartości poznawczej nie da się sprowadzić do kilku zdań obserwacyjnych.

Metodologia nauk musi się liczyć z praktyką naukowców. Ten właśnie motyw skłania do przypuszczenia, że kryterium falsyfikowalności jest warunkiem wystarczającym, ale nie koniecznym tego, by pewną teorię uznać za naukową. Kryterium negatywnej rozstrzygalności to w pewnym sensie kryterium idealne. Im jakaś teoria znajduje się „bliżej” jego spełnienia, tym lepiej. Jeżeli pewna teoria nie posiada żadnych związków z doświad-

⁵⁵ Por. wyżej p. 6.

zeniem, z pewnością nie zasługuje na miano naukowej. Jak „daleko” teoria może znajdować się od kryterium Poppera a jeszcze mieć prawo obywatelstwa na terenie nauk przyrodniczych — nie da się jednoznacznie określić. Oprócz względów obserwacyjnych mogą tu często decydować racje ekonomii poznania, elegancji matematycznej, związków z innymi teoriami oraz pewne poglądy natury filozoficznej, które uwidoczniają się jako tendencje w rozwoju nauki i w stylu naukowego myślenia danej epoki. Dostrzegł to już Richard C. Tolman kilkadziesiąt lat temu, gdy pisał: „Jest rzeczą godną uwagi, że rozwój einsteinowskiej teorii względności bynajmniej nie był owocem wysiłków zmierzających do wyjaśnienia znanych niewielkich różnic między orbitą Merkurego obserwowaną a przepowiedzianą przez teorię Newtona, lecz wynikiem pełnego rozkwitu skomplikowanej teoretycznej struktury, wyrastającej z fundamentalnych zasad, których główne uzasadnienie wydaje się polegać na ich wewnętrznej przejrzystości i ogólności”⁵⁶.

Jedną z zasadniczych cech współczesnej nauki jest dążność do łączenia odrębnych dotychczas praw i teorii w jedną logiczną całość, jakby „nadteorię”. Fizycy od dawna marzą o tzw. unitarnej teorii pola, która w jednym układzie równań zawarłaby całą znaną obecnie, a potencjalnie również i nieznaną, wiedzę fizykalną. Teoria, która *ceteris paribus* bardziej zbliża się do tego ideału jest „lepiej” od innych, bardziej od niego odległych. Ogólna teoria względności w dużej mierze spełnia postulat łączenia odrębnych praw. Einsteinowskie równania pola są kombinacją równań Poissona i praw zachowania klasycznej mechaniki. Okoliczność ta nie stanowi jednak ostatecznej racji, dla której fizycy powszechnie uznają teorię względności. Inne teorie grawitacji (wymienione w p. 6) także jednoczą pewne odrębne dotychczas prawa dynamiki a mimo to nie wytrzymują konkurencji z teorią Einsteina.

Filozoficzne spory, jakie sprowokowała teoria względności są

⁵⁶ Relativity, thermodynamics and cosmology, Oxford 1962, 213.

ogólnie znane⁵⁷. Zagadnienie odwrotne: w jakim stopniu przekonania typu filozoficznego przyczyniły się do ugruntowania pozycji teorii Einsteina w nauce — wymaga dopiero opracowania. Zwrócił na nie uwagę R. H. Dicke⁵⁸. A wydaje się, że w interesującym nas zespole zagadnień jest to problem istotny.

11. Na zakończenie warto wspomnieć, że we współczesnej metodologii nauk przyrodniczych coraz wyraźniej rysuje się odwrót od tradycyjnych pozycji neopozytywistycznych. Ważną cechą nowego stylu myślenia jest coś, co można by nazwać „historycyzmem” i „całościowością”⁵⁹. Neopozytywizm wykazał, że nie da się rozpatrywać eksperymentu czy twierdzenia naukowego poza konkretną teorią. Punkt widzenia historycyzyczny i całościowy idzie jeszcze dalej: nie da się rozpatrywać danej teorii naukowej poza całościowo pojętą nauką w danej epoce i poza historycznym rozwojem ludzkiej wiedzy jako całości. Stosunek naukowej teorii do eksperymentu, choć ważny, nie wysuwa się jednak na pierwszy plan. Zagadnieniem pierwszoplanowym jest to, czy dana teoria odpowiada stylowi współczesnego myślenia naukowego i czy przyczynia się do postępu wiedzy. Postęp wiedzy — to nie tylko zasób teoretycznych wiadomości, to równocześnie metoda działania. Dlatego coraz bardziej zaciera się różnica między nauką a techniką. Ludovico Geymonat kończąc analizę interesujących nas zagadnień, pisze: „Przedstawmy zatem pokrótce nasze wnioski dotyczące tej kwestii, ujmując je w cztery główne punkty: 1) W każdym stadium rozwoju nauki uczeni dysponują wystarczająco dokładnymi kry-

⁵⁷ Spośród wielu prac poświęconych temu zagadnieniu por. np. H. Reichenbach, *The philosophical significance of the theory of relativity*, w: *Albert Einstein, philosopher — scientist* (prac. zbior.), New York 1957, 287 — 311.

⁵⁸ w pracy: *Mach's Principle and equivalence*, w: *Evidence for gravitational theories* (prac. zbior.), New York — London 1962, 1—49.

⁵⁹ Por. L. Geymonat, *Filozofia a filozofia nauk*, Warszawa 1966. W podobnym duchu pisze również T. S. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*, Warszawa 1968.

teriami, by móc oddzielić to, co zasługuje na zaliczenie do podwójnego dorobku wiedzy naukowej, od tego, co w danym momencie powinno się znaleźć poza nim (chodzi o kryteria, które sprowadzają się, z jednej strony, do reguł dowodowych przyjętych przez matematyków i logików danej epoki, z drugiej zaś strony, do kanonów eksperymentu uwarunkowanych aktualnymi możliwościami technicznymi). 2) Włączenie jakiegoś wyniku badań do dorobku (teoretycznego lub techniczno eksperymentalnego) nauki nie nadaje mu nigdy charakteru prawdy ostatecznej i niezmiennej, tak że każde twierdzenie może z biegiem czasu w sposób zasadniczy zmienić swą „wagę naukową”, każde prawo fizyczne może być poddane gruntownemu, ponownemu przeformułowaniu, każdy wynik badań techniczno-empirycznych może się okazać prawomocny jedynie „w przybliżeniu”.

3) Dla nauki jako całości nie istnieje żadne ponadhistoryczne kryterium prawdy, istnieją tylko kryteria szczegółowe, kształtowane ustawicznie przez poszczególnych uczonych a zmieniające się wraz z przejściem postępu naukowego z jednej fazy w drugą. 4) Jednakże z „całościowego” punktu widzenia nauka pozwala osiągać faktyczną pewność, albowiem nagromadzony przez nią dorobek jest nierozzerwalnie związany z samą strukturą naszej kultury (tzn. jest nie do pomyślenia, nawet hipotetycznie, by różne „szkoły” naukowe mogły całkowicie odrzucić ten dorobek bez zniszczenia kultury; mogą natomiast dyskutować nad sposobami „przewyciężenia” aktualnego poziomu nauki, zgadzając się co do tego, iż każda nowa dziedzina badań naukowych powinna wchłonać zdobycze nagromadzone poprzednio, a równocześnie sprecyzować i ograniczyć ich prawomocność)”⁶⁰.

Geymonat potwierdzenia swoich wniosków dopatruje się w powszechnej praktyce, jaka obowiązuje dziś w świecie nauki. „Sprawa ma się podobnie — pisze — z wielkimi koncepcjami naukowymi naszej epoki, np. z einsteinowską teorią względności. Nikt już dziś nie pyta, czy istnieje *experimentum crucis*

⁶⁰ Dz. cyt., 172—173.

przemawiające za nią lub przeciw niej; problem polega na tym, czy teoria względności stanowi istotne ogniwo współczesnej nauki, z którym łączą się pośrednio lub bezpośrednio wszystkie późniejsze teorie dotyczące świata fizycznego”⁶¹. Analizy przeprowadzone w niniejszym artykule wydają się potwierdzać tego rodzaju poglądy.

MICHAŁ HELLER

THE CRITERION OF FALSIFICABILITY AND GENERAL RELATIVITY

1. Popper's criterion of falsificability is briefly presented. It is formulated as follows: Definition 1: The sentence h is falsifiable if there exists at least one, non empty, finite set of non-contradictory observational sentences from which results the negation of h . Def. 2: The sentence h is falsifiable in principle, if it is falsifiable provided that certain conditions C will be satisfied. If the sentence h is not falsifiable in principle, it is not verifiable. Def. 3: The empirical theory T is falsifiable (and therefore can be regarded as scientific theory), if and only if a non empty set of sentences in principle verifiable can be inferred from T .

The General Relativity is often regarded as the most elegant physical theory. Is the Einstein's theory falsifiable in the sense of Popper? The answer to this question results from the following considerations.

2. The discussion of the observational tests of General Relativity in its macroscopic formulation shows that: (a) all observational tests result from Schwarzschild's external solution only; (b) the astronomical observations permit to measure only effects of the order of v/c , therefore they can be regarded as a tests of the validity of linearized field equations (but not as a tests of validity of field equations in their general form); (c) the same tests as from General Relativity result from other theories of gravitation e. g. theory of Birkhoff, theory of Dicke and Brans, Hoyle and Narlikar, etc.). It means that General Relativity in its ordinary formulation is not falsifiable in Popper's sense.

3. The observational tests provide the falsificability of the Relativistic Cosmology. While extrapolating the General Relativity theory

⁶¹ Tamže, 217—218.

to the whole universe some postulates, such as cosmological principle, Weyl's principle, etc, have to be assumed. This is why Relativistic Cosmology may be invalid in spite of the validity of General Relativity in its ordinary formulation. Therefore the falsificability of Cosmology does not provide the falsificability of General Relativity.

In conclusion we state that Einstein's theory is not falsifiable according to Popper's definition. It seems some changes should be made rather in Popper's criterion than in Einstein's theory. At the end of the article some recent tendencies regarding the justification of scientific theory are briefly outlined.