

Mirostaw Zabierowski i Teresa Grabińska

O zagadnieniu testu kosmologicznego na przykładzie weryfikacji empirycznej pola λ

Wstęp

Od lat pisaliśmy o problemie brakującej (ukrytej) masy i o kłopotach z identyfikacją struktur galaktycznych¹, a także o ciekawej i mało w Polsce znanej estońskiej koncepcji agregatów galaktyk, opracowanej w latach 70. przez J. Einasto i licznych współpracowników². W agregatach tych brakowało ok. 90% masy, tzn. morfodynamika agregatu przewidywała dziesięciokrotnie więcej masy niż na to wskazywały obserwacje. Problem ukrytej masy (materii) (*hidden matter problem*) ma wymiar kosmologiczny i dotyczy także innych (niż estońska) koncepcji struktur dynamicznych we Wszechświecie. Do dzisiaj nie został rozwiązany.

Przedstawimy i przedyskutujemy jedną z propozycji wyjaśnienia teoretycznego anomalii ukrytej masy. Wymaga ona wprowadzenia do równań ogólnej teorii względności (OTW) tzw. stałej Λ (λ). Przeprowadzimy analizę metodologiczną

¹ T. Grabińska, M. Zabierowski: *On a possibility to close the Universe*, Lettere al Nuovo Cimento **28**, 1980, 139–140; *New evidence on dark matter population in the Universe*, “The Cosmic Background Radiation and Fundamental Physics”, vol. 1, F. Melchiorri (ed), Bologna 1985, 89–101; *The hypothesis of the Fornax system at perigalacticon. Are the stars and the Universe older?*, Astrofizika **37**, 1994, 307–311; T. Grabińska, *O potrzebie filozoficznej analizy obrazu świata współczesnej kosmologii*, Cosmos–Logos **I**, 1994a, 83–89; M. Zabierowski: *The problem of Einasto and Ostriker team hypothesis about model of galaxies*, Memoria della Società Astronomica Italiana **51**, 1980, 233–245; *Observational paradox in extragalactic astronomy. The G_3 nonisomorphic clustering and the problem of the physical reality of the clustering*, Astrophysics and Space Science **201**, 1993a, 125–130; *Fenomenologia i metafizyka astronomii pozagalaktycznej*, [w:] T. Grabińska, *Teoria, model, rzeczywistość*, Wrocław 1993, 103–113; *Zjawiskowość i przedmiotowość obserwowanych systemów (n ciał grawitujących) fizycznie otwartych i epistemologicznie nieokreślonych*, Cosmos–Logos **IV**, 1997, 79–84; *Całość systemu galaktyk*, Cosmos–Logos **V**, 1998, 19–29.

² Np. J. Einasto et al, Nature **250**, 1974a, 309; Nature **252**, 1974b, 111; Astronomy and Astrophysics **40**, 1975, 161; Astronomy and Astrophysics **53**, 1976a, 35; *The Evolution of Stellar System*, Tartu Preprint Nr **54**; 1976b, Proc. Third Europ. Astr. Meet., Tbilisi, 1976c, 431; Tartu Preprint nr **49** 1977; J. Einasto, „Astrofizika” **5**, 1969, 137; Proc. First Europ. Astr. Meet., vol. 2, L.N. Mavridis (ed), Berlin–Heidelberg–New York 1972, 291; Tartu Preprint nr **48**, 1974; *Large Scale Structure of the Universe*, M.S. Longair, J. Einasto (eds.), Dordrecht 1978, 51.

ną tej propozycji oraz poddamy krytyce i „testowi” falsyfikującemu inną propozycję przewidywania anomalii, podaną przez F.D.A. Hartwicka³.

Punktem wyjścia naszych rozważań będzie równanie pola Einsteina

$$G_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} G' = -\kappa T_{ik}, \quad (1)$$

Zmodyfikowane przez samego autora o tzw. pole Λ :

$$G_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} G' = -\kappa T_{ik} - \Lambda g_{ik}, \quad (2)$$

gdzie $i, k = 0, 1, 2, 3$, g_{ik} i G_{ik} są odpowiednio tensorem metrycznym i tensorem krzywizny czasoprzestrzeni, tensor Ricciego $G' = G'_i$, $\kappa = 8\pi G/c^2$, $G = 6.67 \times 10^8 \text{ cm}^3/\text{g s}^2$ jest stałą grawitacji, c jest prędkością światła w próżni, T_{ik} jest tensorem energii–pędu, a Λ – dodatkowym polem, wprowadzonym przez Einsteina, aby równanie pola nie dopuszczało rozwiązania pustego (sprzecznego z zasadą Macha, założoną u podstaw OTW), tzn. bez obecności materii – $T_{ik} = 0$:

$$G_{ik} = 0. \quad (3)$$

Po modyfikacji (2), dla $T_{ik} = 0$:

$$G_{ik} = \Lambda g_{ik}. \quad (4)$$

(Na skutek rozwiązań kosmologicznych de Sittera oraz danych obserwacyjnych przedstawionych przez Sliphera, Shapleya i Hubble’a, Einstein ostatecznie odrzucił wyraz kosmologiczny ze stałą Λ , a wraz z tym – podejmowanie prób uzgodnienia zasady Macha z OTW w postaci klasycznej, tzn. z równaniem pola (1)). Niepowodzenie programu Einsteina–Macha związane było też z pojawieniem się rozwiązania Gödela, opisującego absolutną rotację materii jako całości. Wreszcie tensor metryczny g_{ik} występuje *explicite* w wyrażeniu na T_{ik} , a więc nie miałyby sensu twierdzenie, że materia (masa) określa geometrię.

Przytoczmy charakterystykę problemu pola Λ , podaną przez Roberta Bruce’a Partridge’a⁴:

We return now to the oft-debated question of the cosmological constant, Λ . In general the debate has centered on whether it should be allowed in the field equation at all. On the strictly observational side, no useful limits on Λ are available from astronomical measurements of subsystems within the Universe (such as the solar system or clusters of galaxies). That is to say, a value $|\Lambda|$ large enough to have pronounced effects on cosmology cannot be so excluded. [...] Is there any evidence for a non-zero value?

³ F.D.A. Hartwick, „The Astrophysical Journal” **219**, 1978, 345.

⁴ R.B. Partridge, Preprint 1978.

Mamy więc problem wyznaczenia wartości Λ , gdy nie istnieją bezpośrednie pomiary tej wielkości. W jaki więc sposób przekonać się o potrzebie jej utrzymania i ewentualnie oszacować jej liczbową wartość? Jest to jeden z przejawów specyfiki testu kosmologicznego.

1. Swoistość zagadnienia kosmologicznego a teoria grawitacji Einsteina. Dynamika grup galaktyk

Albert Einstein pragnął widzieć w równaniu (1) realizację *implicite* idei względności przyspieszeń, rozumianą jako względność bezwładności: bezwładność ciała miałyby być w pełni jednoznacznie określona przez łączne działanie wszystkich ciał we Wszechświecie. Pole inercjalne zdefiniowane przez g_{ik} powinno więc być całkowicie określone przez rozkład masy–energii we Wszechświecie. Bez wątplenia równanie (1) wskazuje na to, że T_{ik} (masa–energia) wpływa na g_{ik} (bezwładność). Ponieważ jednak równanie to jest równaniem różniczkowym, to T_{ik} nie jest w stanie określić g_{ik} bez podania warunków brzegowych w nieskończoności. Einstein pokazał, że nie sposób wybrać takie warunki. Wprowadził zatem wyraz ze stałą kosmologiczną (2), aby pozbyć się problemu warunków brzegowych i tym samym uniknąć rozwiązań pustych. Oba te punkty widzenia miały być zawarte w formule (która może być otrzymana z analizy wymiarowej⁵) na tzw. promień Einsteina R_E , który ma reprezentować rozmiar Wszechświata zależny od „jego masy” M :

$$R_E = \frac{\kappa M}{4\pi^2} \quad (5)$$

Formułę (5) można interpretować jako warunek istnienia świata bez „nieskończoności” oraz świata koniecznie zawierającego materię.

Wprowadzenie wyrazu kosmologicznego ze stałą Λ oznacza, że przy całkowitym braku materii (mas) krzywizna czasoprzestrzeni (4) byłaby różna od zera. Stała

⁵ Analiza wymiarowa jest niezbędna w teoriach alternatywnych wobec standardowej teorii kosmologicznej „wielkiego wybuchu”. W tych teoriach poddaje się badaniu standardową interpretację przesunięcia prążków widm galaktyk ku czerwieni (*redshift*), promieniowania relikтового 3 K i jego izotropii, paradoksu kwazarów. W związku z alternatywnymi interpretacjami „redshiftu” szacuje się skalę tłumienia promieniowania, a stąd masę zawartą w galaktykach i temperaturę 3–4 K przy przyjęciu skali tłumienia porównywalnej z R_E , wielokrotnego reemitowania promieniowania przez pył i nieregularnej sfery promieniowania o promieniu ok. R_E . Por. T. Grabińska, *Problemy interpretacji przesunięć linii widmowych galaktyk*, [w:] eadem, *Poznanie i modelowanie*, Wrocław 1994; S. Kazimir, *Modyfikacje praw fizycznych a kwestia wyjaśniania przesunięć prążków widmowych galaktyk*, „Studia Filozoficzne” 7, 1980, 105–113; M. Zabierowski, *Prawda i fałsz o gazie. Czym jest Wielki Wybuch i czym są rzeczy w kosmologii?*. *Promieniowanie reliktowe jako świadectwo ekspansji gazu*, „The Pecularity of Man” 6, 2001, 302–318; idem, *Ewolucja obiektów a ewolucja klasy*, „Cosmos–Logos” VI, 2002, 49–60.

Λ [=] $1/\text{cm}^2$ byłyby więc interpretowana jako pole proporcjonalne do odległości, przyciągające dla $\Lambda < 0$ i odpychające dla $\Lambda > 0$. Można pokazać, że

$$\Lambda c^2 = 3 H_0^2 [(\rho_0/2\rho_c) - q_0], \quad (6)$$

gdzie ρ_c jest gęstością krytyczną materii, ρ_0 – obecną gęstością materii (masy), q_0 jest parametrem deceleracji, bardzo słabo określonym empirycznie. Dla $q_0 < 0$ wyraz Λc^2 jest dodatni. Wyraz ten modyfikuje przyspieszenia i prędkości ciał, zgodnie z równaniem Friedmana, uwzględniającym wyraz Λc^2 :

$$3 (dR/dt)^2 = -4\pi G \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) R + \Lambda c^2 R \quad (7)$$

$$3 (dR/dt)^2 - 8\pi G \rho R^2 = -3 k c^2 + \Lambda c^2 R^2, \quad (8)$$

gdzie R jest czynnikiem skali (wymiarom liniowym struktury kulistosymetrycznej, zwanym promieniem Wszechświata), ρ – gęstością, p – ciśnieniem, k – stałą krzywizny. Dla znikającego wyrazu Λc^2 pozostaje tylko przyciąganie newtonowskie; ujemnej wartości tego wyrazu Einstein nie brał pod uwagę.

Z równań (7) i (8) wynika, że pole Λ wywołuje tym większy efekt, im większy jest czynnik skali, czyli w miarę ekspansji Wszechświata wszystkie rozwiązania równań Einsteina, jeśli są tylko niepuste (lub puste, lecz nie ze znikającym polem Λ), implikują wielkoskalowe ruchy materii, wbrew intencjom Einsteina, który preferował Wszechświat statyczny. Układ cząstek próbnych może być statyczny pod warunkiem, że $T_{ik} = 0 = \Lambda = k$, tzn. gdy cząstki nie podlegają siłom kosmicznym.

Gdyby była znana wartość pola Λ i q_0 , można by wyznaczyć ρ_0 tzw. gęstość Oorta, która byłaby dużo mniejsza niż gęstość krytyczna ρ_c , podczas gdy Einasto et al⁶ pokazali, że możliwa jest wartość $\rho_0 \geq \rho_c$.

Wartość pola Λ , faworyzowana przez Einsteina wynosiła

$$\Lambda_E = (\kappa/2) (\rho + 3 p/c^2). \quad (9)$$

Wartości tej odpowiadał promień Wszechświata, zadany przez formułę (5). Dla $\Lambda < 0$ możliwe jest wyłącznie takie rozwiązanie równań kosmologicznych, które przedstawiają Wszechświat oscylujący, dla którego $R < R_E$; wiek Wszechświata jest wtedy mniejszy (Wszechświat jest młodszy) aniżeli dla $\Lambda = 0$ i przy tych samych wartościach pozostałych parametrów. Przeciwnie, w kwestii wieku Wszechświata, jest dla niektórych modeli z $\Lambda > 0$.

Przyjęcie $\Lambda < 0$ powoduje zmniejszenie się wartości wieku Wszechświata, co może być symulowane wprowadzeniem równania stanu $p = \rho c^2/3$. Zmniejszenie się wartości globalnej skali czasu w przypadku wprowadzenia tego promienistego rów-

⁶ Por. Einasto et al, 1974a.

nania stanu było w przeszłości wysuwane jako argument przeciwko zaakceptowaniu możliwości występowania we Wszechświecie dużej liczby neutrin. W związku z tym p ma być równe zero.

Jeśli natomiast stosuje się równanie pola z wyrazem kosmologicznym (2), to czyni się to albo ze względu na pewne przesłanki metafizyczne (zasada Macha, statyczność Wszechświata) lub z powodów czysto matematycznych – argumentu, że równanie (2) jest najogólniejszym typem relatywistycznego równania pola grawitacyjnego, które nie zawiera pochodnych tensora metrycznego wyższego rzędu niż drugi. Względy matematyczne nie rozstrzygają oczywiście o znaku przy stałej kosmologicznej Λ .

Ujemna wartość stałej kosmologicznej ma swój precedens w teorii, podobnie jak jej einsteinowska wartość dodatnia. Mianowicie dla wspomnianych modeli Gödela absolutna rotacja dokonuje się z prędkością kątową ω

$$\begin{aligned}\omega &\sim 1/T \sim c(-\Lambda)^{1/2} \\ \omega &= 0 \text{ dla } \Lambda = 0.\end{aligned}\tag{10}$$

Ewidencja empiryczna na rzecz dodatniej wartości stałej Λ pochodziła od odkrycia i właściwości kwazarów⁷, podczas gdy jej wartość ujemna wiązana była z paradoksem „ukrytej masy (materii)”⁸, sformułowanym ponad pół wieku temu przez F. Zwicky’ego. F.D.A.Hartwick zasugerował w 1978 r., że galaktyki w gromadach galaktyk poddane są działaniu siły $\Lambda < 0$.

Ponieważ $\omega \geq 10^{-18} \text{ s}^{-1}$, to wzór (10) dostarcza grubego oszacowania Λ w jednostkach, w których $c = 1$:

$$\Lambda \leq 10^{-36} \text{ s}^{-2},\tag{11}$$

w przybliżeniu – zgodne w wynikiem Hartwicka:

$$\Lambda = 10^{-35} \text{ s}^{-2}.\tag{12}$$

Ponieważ zaś dyspersja prędkości zadana jest (por. wzór (17)) przez

$$v_{\text{obs}}^2 \cong (\Lambda/3) R_1^2,\tag{13}$$

gdzie $R_1 = (\int_0^R r^2 dM_r)/M$ – promień inercji, to zgodnie z analogicznym wzorem dla $\Lambda = 0$

$$v_{\text{obs}}^2 = H_0^2 R_1^2,\tag{14}$$

gdzie H_0 – obecna stała Hubble’a, zamiast czasu ekspansji $1/H_0$ otrzymuje się wyrażenie $(3/\Lambda)^{1/2}$, a z (12), (13), (14) – następujące porównanie wielkości:

⁷ Por. Einasto et al., 1974b.

⁸ Por. Einasto et al., 1975; 1976a,b,c; 1977; Einasto, 1969; 1972; 1974; 1978.

$$(3/\Lambda)^{1/2} < 1/H_0. \quad (15)$$

Dla $k = -1$ wszystkie modele, dla których $\Lambda < 0$ są modelami z następującą po ekspansji fazą kontrakcji, w całkowitym przeciwieństwie do modeli z $\Lambda \geq 0$. Wszechświat z ujemnymi stałymi k i Λ dopuszcza możliwość występowania znanych, wysokich wartości M_{VT}/M (wskaźnika masy ukrytej, M_{VT} – masa wirialna). Rzeczywiście, z równania Friedmana (8), dla geometrii Łobaczewskiego wynika, że

$$-\Lambda \geq 8\pi G \rho. \quad (16)$$

Uwzględniając, że⁹

$$v_{\text{obs}}^2 = GM/R_U - \Lambda/(3 R_1^2), \quad (17)$$

gdzie w przybliżeniu jednorodnego rozkładu masy $R_U = M^2 / \int_0^R (M_r / r) dr$, można podać (w jednostkach CGS) następujący związek łączący wielkość *mass discrepancy* M_{VT}/M ze stałą kosmologiczną Λ :

$$M_{VT}/M = [1 + (-\Lambda) / 4\pi G \rho^*]^{1/2}, \quad (18)$$

gdzie

$$\rho^* = 3 M / 4\pi R_U R_1^2. \quad (19)$$

Równanie (18) implikuje ujemną wartość Λ dla $M_{VT}/M > 1$.

W przypadku galaktyk eliptycznych (jasnych!) M_{VT}/M przewyższa 3 i można zaniedbać wyraz równy 1 w formule (18). Natomiast w gromadach galaktyk M_{VT}/M jest rzędu 10^2 i obowiązuje następująca zależność:

$$(M_{VT}/M)^2 = -\Lambda / 4\pi G \rho^*. \quad (20)$$

Na podstawie (16) i (18) otrzymuje się nierówność dla Wszechświata z ujemnymi Λ i k :

$$\begin{aligned} \infty > M_{VT}/M > (1+2)^{1/2} & \quad \text{dla } \rho^* = \rho \\ > (1 + 10^{-3})^{1/2} & \quad \text{dla } \rho = 10^{-31} \text{ g cm}^{-3} \\ & \quad \rho^* = 10^{-28} \text{ g cm}^{-3}. \end{aligned} \quad (21)$$

⁹ J. Jackson, „The Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” **148**, 1970, 249.

Nierówność $M_{VT}/M \gg 1$ jest tym silniejsza, im bardziej ciężenie kosmiczne przeważa nad ciężeniem newtonowskim, tzn. gdy $-\Lambda \gg 8\pi G \rho$. Ponieważ $\rho > 2 \times 10^{-31} \text{ g cm}^{-3}$ ($H = 55 \text{ km/s Mpc}$, $T = 1/H = 1,7 \times 10^{18} \text{ s}$) z równania Friedmana (8), w jednostkach $c = 1$, wynika, że:

$$-\Lambda < \rho / \rho_c \quad H^2 = 1 \times 10^{-38} \text{ s}^{-2}. \quad (22)$$

Dla ostatniej wartości Λ spełnione jest równanie (15).

Model Wszechświata ze stałą $k = 0, +1$ daje dla gromad galaktyk nierówność:

$$1 \leq M_{VT}/M < 3^{1/2} \quad \text{dla } \rho^* = \rho \\ < (1 + 10^{-3})^{1/2} \quad \text{dla } \rho = 10^{-31} \text{ g cm}^{-3} \text{ (Oort)} \\ \rho^* = 10^{-28} \text{ g cm}^{-3} \text{ (Einasto)}. \quad (23)$$

Nierówność (23) nie ma nic wspólnego z typową wartością M_{VT}/M dla gromad i systemów galaktyk. Wprowadzenie ujemnej stałej kosmologicznej dla takiego Wszechświata nie wyjaśniłoby paradoksu wirialnego, a ponadto znacznie skróciłoby wiek Wszechświata¹⁰.

2. O tezie Hartwicka

Hartwick¹¹, badając grupy klasyczne galaktyk (takie jak grupy de Vaucouleursa), stwierdził, że hipoteza ujemnego pola kosmicznego Λ bardzo dobrze tłumaczy paradoks ukrytej masy, zgodnie ze wzorem (17). Poddamy tezę Hartwicka krytyce. Można by ją prowadzić w poniższy sposób.

Z prac A. Oemlera¹² wiadomo było, że stosunek „masa/jasność” = m/L nie przekraczał 400 (w jednostkach słonecznych (m/L_\odot)) dla wielkich (w sensie dużej liczby galaktyk, a nie – rozmiarów przestrzennych) gromad galaktyk. (Dla indywidualnych galaktyk spiralnych stosunek m/L nie przekraczał 20). Dla grup galaktyk J. Gotta i E. Turnera¹³ wartość m/L była w dwóch przypadkach większa od 1000. Także wśród

¹⁰ Na temat wartości parametrów stałych Λ i k por. np. M. Heller, Z. Klimek, L. Suszycki, „Astrophysics and Space Science” **20**, 1973, 205.

¹¹ Por. F.D.A. Hartwick, 1978.

¹² A. Oemler, Preprint 1973.

¹³ J.R. Gott, E.L. Turner, „The Astrophysical Journal” **213**, 1977, 309.

innych klasycznych grup de Vaucouleursa¹⁴, Sandage'a i Tammanna¹⁵ występowało wiele przypadków gromad, gdzie wartość m/L była większa nie tylko od 400, ale od wielu tysięcy jednostek (m/L_{\odot}). Ten fenomen wymagał wyjaśnienia.

Od razu trzeba zastrzec, że astronomia pozagalaktyczna wymaga nadal przeformułowania, szczególnie ze względu na brak rozpoznania efektów nakładania się błędów i niedookreśleń i efektów stosowania statystyki na różnych etapach opracowywania danych obserwacyjnych. W związku z tym realność istnienia grup klasycznych może być w dalszym ciągu podważana. Np. klasyczne kryteria konstruowania grup przez de Vaucouleursa opierały się na zgodności prędkości radialnych i wzroście gęstości powierzchniowej galaktyk oraz na pewnych, nie do końca arbitralnych decyzjach autora katalogu. Arbitralność kryteriów wyodrębniania grup klasycznych ujawniła się np. w tym, że część galaktyk grupy Turnera i Gotta konstituowała według de Vaucouleursa inny system galaktyk.

Na ogół dwa przeglądy różnych grup badawczych dają różne charakterystyki (np. wirialne) grup. Badania Einasto et al zwracały szczególną uwagę na zrozumienie roli i funkcji galaktyk o słabszych jasnościach. Katalogi klasycznych grup galaktyk uwzględniały tylko jaśniejsze galaktyki, a te nie pozwalały dojść do głosu wielu właściwościom zespołów „galaktyka supermasywna–*envelope*, składająca się z galaktyk karłowatych”. Galaktyki wchodzące w skład grup klasycznych nie tworzyły układów o wyraźnych koncentracjach materii w centrach, nie wykazywały segregacji morfologicznej itd. W grupach klasycznych galaktyk, masy – począwszy od galaktyk typu S, a skończywszy na galaktykach typu E – zwykło się uważać za bardzo się różniące: masywniejsze byłyby galaktyki typu E. W obrazie Chernina et al¹⁶, będącym teoretyczną interpretacją odkrytej przez Einasto et al¹⁷ segregacji morfologicznej galaktyk, stosunek m/L nie zmieniał się tak bardzo – jak to przed pracami Einasto przyjmowano – w zależności od typu morfologicznego.

W przeciwieństwie do grup klasycznych, zupełnie inaczej przedstawiały się wartości stosunku m/L dla agregatów galaktyk (termin „agregat” podkreśla różnicę względem grup klasycznych) wyodrębnionych przez Einasto et al¹⁸. Nie przewyższały one wartości 300, a więc i wartości podanej przez Oemlera. Z tego powodu wszelkie konkluzje na podstawie grup klasycznych pozostawiają niepewność odnośnie do tego, czy faktycznie poddawane są interpretacji fenomeny niefizyczne grup galaktyk, wydzielone za pomocą arbitralnych kryteriów. Identyfikacja grup klasycznych zmienia się wszak w zależności od katalogu. Zaostrzenie kryteriów empirycznych (np. wysokości kontrastu gęstości, dyspersji prędkości) zawsze się będzie wiązało

¹⁴ G. de Vaucouleurs, „Stars and Stellar Systems”, vol. 9, A. Sandage, M. Sandage and J. Kristian (eds.), Chicago 1975.

¹⁵ A. Sandage, G.A. Tamman, „The Astrophysical Journal” **196**, 1975, 313; A. Sandage, „The Astrophysical Journal” **202**, 1975, 563.

¹⁶ A. Chernin et al, „Astrophysics and Space Science” **39**, 1976, 53.

¹⁷ Por. Einasto et al, 1974b.

¹⁸ Por. Einasto et al, 1975.

z decyzją arbitralną i „produkcją” jakichś нефизycznych parametrów „grup” galaktyk, np. bardzo małych promieni grup.

Grupy klasyczne charakteryzowały się nie tylko ogromną rozpiętością wartości m/L , ale także i wartości promienia. O ile dla gromady w Comie Chernin et al¹⁹ przyjmowały wartość 3,5 Mpc, o tyle grupa de Vaucouleursa nr 45 scharakteryzowana byłaby przez wielkość 23 Mpc, co tym bardziej podważa wiarę w realność grup klasycznych. Aby tak rozległe układy miały być grawitacyjnie związane, należałoby wprowadzić ujemne pole Λ .

W sprawie systemów galaktyk nazbyt rozległych, tak rozległych jak supergalaktyki, oraz w sprawie niepewności związanych z rozkładem galaktyk konstytuujących domniemane grupy, warto przytoczyć pogląd F. Fesenkova²⁰ o fikcyjności supergalaktyk. Z kolei wiadomo, że galaktyki wchodzące w skład Supergalaktyki de Vaucouleursa koekspandowały z Wszechświatem: w kategoriach dyspersji prędkości, można by nawet dowodzić istnienia pola Λ (patrz: wzory (13), (14)).

Empiryczne właściwości grup klasycznych galaktyk nie nadają się do weryfikacji praw fizycznych, np. OTW, czy modeli kosmologicznych, do momentu przeprowadzenia szczegółowej analizy błędów instrumentalnych, interpretacyjnych, teoretycznych i statystycznych niepewności, które mogą zniekształcać korelacje – dyspersja prędkości v vs promień inercjalny R_p , symulując tym samym pole Λ , zgodnie z formułą (17).

3. Test kosmologiczny na przykładzie weryfikacji pola Λ

Filozofowie zajmujący się kosmologią nazbyt często przedstawiają test kosmologiczny jako prosty odpowiednik testu laboratoryjnego, co jest całkowitym nieporozumieniem i odzwierciedla powierzchowne zaznajomienie się ze współczesną kosmologią teoretyczną i astronomią pozagalaktyczną, która dostarcza materiału obserwacyjnego dla kosmologii, ale ten materiał jest podany w przetworzonej postaci katalogu. Dlatego proste porównywanie go z wynikami laboratoryjnych doświadczeń jest niedopuszczalne. Zajmowaliśmy się tym problemem już w latach siedemdziesiątych. Świadczą o tym publikacje przytoczone w przypisie 1. Temat tego artykułu był też rozwijany przez nas wcześniej²¹, ale filozofowie zdawali się nie rozumieć, o jakie to specjalne testy chodzi.

Filozofia nauk przyrodniczych i metodologia nauk nie mają nic wspólnego z popularyzacją. Dość nagminne próby ułatwiania sobie filozoficznego i metodolo-

¹⁹ Por. Chernin et al, 1976.

²⁰ F. Fesenkov, 1978, Komunikat prywatny dr. Z. Klimka.

²¹ M. Zabierowski, T. Grabińska, *Empiryczna konfirmacja klasycznej postaci ogólnej teorii względności*, Raport serii PRE nr 17, Politechnika Wroclawska, 1–22, Wroclaw 1979, 1–29.

gicznego pisarstwa powodują całkowitą nieprzydatność prac filozofów-popularyzatorów. Dla filozofów innych specjalności są wręcz szkodliwe, ponieważ przedstawiają im nieprawdziwe, bo zmitologizowane problemy filozoficzne współczesnej wiedzy naukowej²².

We Wstępie do pracy przedstawiliśmy powody najpierw wprowadzenia przez Einsteina wyrazu ze stałą kosmologiczną Λ do równania pola (1), a potem porzucenia go. Pierwszy z motywów wprowadzenia jej nazwaliśmy „metafizycznym”, bo zabezpiecza on spełnienie zasady Macha i warunku skończoności i statyczności Wszechświata. Ten motyw miał być fundamentem OTW. OTW jest jednak wyrażona w języku równań różniczkowych nieliniowych drugiego stopnia. Równania te na ogół nie mają gładkich rozwiązań ani metod ich rozwiązywania. Bez ich rozwiązania zaś, wymagającego najczęściej iteracji i różnych aproksymacji, nie sposób przewidzieć, co z sobą niosą. Historia pola Λ jest tego najlepszym przykładem: nie wszystkie rozwiązania równania (1) spełniały zasadę Macha i na ogół są to rozwiązania niestacyjne.

Status pola Λ traktuje się jako hipotezę. Jeśli tak, to ta „hipoteza Λ ” nie została wprowadzona w celu wyjaśnienia jakiegoś fenomenu, lecz w celu uzgodnienia aparatury teoretycznej OTW z założeniem metafizycznym. Mielibyśmy więc do czynienia w kosmologii z innego typu hipotezą niż w fizyce laboratoryjnej. Skoro została powołana hipoteza, to naturalną kolejną rzeczą jest jej weryfikacja. Pominiemy tu ważną skądinąd dyskusję o tym, czy zasadniczo można sprawdzać wyłącznie hipotezę, bez jednoczesnego sprawdzania teorii, wzbogaconej o nią. W przypadku pola Λ sprawa jest o tyle klarowniejsza, że można przyjąć naturalną jego interpretację jako kosmiczne „odpychanie” (Einstein brał pod uwagę tylko jeden wariant $\Lambda > 0$).

We Wstępie i na początku punktu 1. rysuje się procedura sprawdzania pola Λ .

Po pierwsze, wyraz ze stałą kosmologiczną Λ modyfikuje równania Friedmana (7) i (8), czyli te równania, które po różnego rodzaju uproszczeniach (skomplikowanych idealizacjach) otrzymuje się z równania pola (2) i które pozwalają na otrzymanie rozwiązań kosmologicznych, będących modelami Wszechświata. Wpływa więc na model Wszechświata.

Po drugie – zgodnie z (6) wartość stałej Λ można wyznaczyć na podstawie obecnej wartości: stałej Hubble’a, gęstości materii, parametru deceleracji i wartości krytycznej gęstości. Pierwsze trzy wartości są wyznaczane empirycznie, ale sposób wyznaczania tych wielkości zależy od: 1) przyjętego modelu kosmologicznego, 2) od stosowanego sposobu opracowania danych obserwacyjnych, które już jako dane w katalogach galaktyk, zostały poddane wstępnej obróbce statystycznej; a ta tylko w części jest zobiektywizowana w tym sensie, że wybór strategii opracowania zależy od decyzji grupy badawczej, 3) ustaleń o strukturze wielkoskalowej (rozkładzie przestrzennym galaktyk) i strukturach galaktycznych, 4) procedur, które nie tyle są procedurami pomiarowymi (w sensie metrologicznym), ile są procedurami szaco-

²² M. Zabierowski, *Kosmologia i humanistyka*, „Forum Akademickie” 1998, 7–8, 86.

wania²³. Wszystkie te cztery rodzaje weryfikacji stałej Λ niewiele mają wspólnego z testami laboratoryjnymi. (Zasadniczo, sądzymy, że te „proste” testy laboratoryjne są szczególnymi przypadkami testów kosmologicznych²⁴).

W punkcie 1. jest podany drugi powód uwzględnienia w (1) wyrazu (4) ze stałą Λ , który nazwaliśmy „matematycznym”. Sprowadza się on do przyjęcia najogólniejszego równania, nie zawierającego pochodnych tensora metrycznego g_{ik} , które byłyby wyższego rzędu niż drugi. W tym miejscu pojawia się jeszcze raz charakterystyczna cecha badań, które prowadzone są na podstawie zaawansowanej teorii matematycznej: sama aparatura matematyczna wyznacza pewną perspektywę świata, domagającą się interpretacji fizycznej.

Jedną z możliwości weryfikacji stałej Λ jest konfrontacja jej obecności w równaniach Friedmana z wyjaśnieniem problemu ukrytej masy (18). Ujemna wartość Λ (a więc przeciwna do tej, którą postulował Einstein) może symulować ukrytą masę. Za ujemną wartością przemawiać też może propozycja Hartwicka (12), nie wyprowadzona z badań kosmologicznych, lecz z badań nad gromadami galaktyk. Rysuje się więc następujący test: należałoby sprawdzić prawomocność propozycji Hartwicka. Wynik sprawdzenia będzie rzutował na moc hipotezy ujemnego pola Λ , co z kolei będzie mieć konsekwencje dla ewentualnej symulacji tym polem masy ukrytej. Warto zwrócić uwagę na to, że projektowany test nie ma prostych odniesień obserwacyjnych, bowiem: 1) realność gromady galaktyk jest zupełnie inna niż realność zjawiskowego przedmiotu z laboratorium, 2) wzmocnienie (ale nie potwierdzenie) bądź osłabienie (ale nie obalenie) wyniku Hartwicka będzie jedynie rzutować na moc hipotezy ujemnego pola, ale nie ją uzasadniać albo obalać, 3) nawet znaczne osłabienie hipotezy ujemnego pola Λ nie wpłynie jednoznacznie na możliwość symulowania ukrytej masy.

Projektowany test nie ma więc ani charakteru empirycznego, choć odwołuje się do obserwacji, ani też nie można mówić o jego konkluzywności. Tak się rzeczy mają w astronomii pozagalaktycznej i kosmologii nie tylko w omawianym przypadku. Powodem tego jest fakt, że w tych dyscyplinach występuje niedopasowanie między przedmiotem zjawiskowym (fizyczny Wszechświat i jego struktura ziarnista), przedmiotem teoretycznym (ogólnoteoriowzględnościowy model Wszechświata) i przedmiotem matematycznym (rozwiązaniem równania pola)²⁵. To niedopasowanie jest przedmiotem szczegółowych badań metodologicznych, które od lat podejmujemy. Ze względu jednak na trud wglębnienia się w rzeczywiste testowanie w kosmo-

²³ O tych sprawach wielokrotnie pisaliśmy np.: T. Grabińska, 1994a; 1994b; *Od poznania do metafizyki*, Warszawa–Wrocław 1998, rozdz. V; M. Zabierowski, 1993b; *O przyczynach i rodzajach mitologizowania wiedzy astronomicznej*, [w:] T. Grabińska, *Poznanie i modelowanie*, Wrocław 1994, Dodatek C; 1997; 2002.

²⁴ Por. np. T. Grabińska, *Teoria, model, rzeczywistość...*, rozdz. 2.

²⁵ O przedmiotach zjawiskowych, teoretycznych i matematycznych w: T. Grabińska, *Kanony estetyczne modelowania przedmiotów zjawiskowych*, [w:] *Homo experimentator*, red. D. Sobczyńska i P. Zeidler, Wydaw. Naukowe IF UAM, Poznań 2003, 237–254.

logii i astronomii, którego na ogół metodolodzy i filozofowie nauki nie podejmują, nasze wyniki nie są rozumiane.

Rozważyliśmy w punkcie 2. wynik Hartwicka o ujemnej wartości pola Λ , które miałyby kompensować ukrytą masę. Wynik pochodził z analizy klasycznych grup galaktyk. Konfrontacja odbywała się na płaszczyźnie dyskusji o tożsamości grup galaktyk, toczącej się na przełomie lat 70. i 80. W latach późniejszych rozwinęły się także inne trendy badań gromadzenia galaktyk, ale podnoszone problemy metodologiczne pozostały.

Zasadnicze ostrze naszej krytyki wyniku Hartwicka wymierzone zostało głównie w metody wyodrębniania gromad galaktyk na podstawie wskaźnika „masa/jasność”, bez uwzględniania segregacji morfologicznej, odkrytej przez grupę Einasto, w arbitralność selekcji wstępnej danych obserwacyjnych, w nawarstwianie i interferencję błędów i niepewności. Ostatecznie jest to problem identyfikacji, ale znacznie bogatszy niż to technicy są w stanie sobie wyobrazić.

Przedstawiony problem identyfikacji nie musi szczególnie interesować techników. Jest on natomiast bardzo istotny dla:

- metodologów nauk empirycznych ze względu na status testu doświadczalnego,
- filozofów nauki ze względu na rolę doświadczenia w kreowaniu wiedzy i na relację między wiedzą naukową a jej przedmiotem,
- ontologów ze względu na konieczność ustalenia tożsamości przedmiotów astronomii pozagalaktycznej i przedmiotu kosmologii.

On the problem of cosmological test – the case study of empirical verification of Λ field

Abstract

The article describes the genesis of Einsteinian field equations supplied by so called Λ term. The field equations as models of global geometrical and physical structure (the Universe) are examined by comparison with empirical data of extragalactic astronomy. The verification of Λ field hypothesis is discussed. This example shows the peculiarity of cosmological test regarding empirical tests of laboratory physics.