

TOMASZ MICHNIEWSKI
Lublin

KWANTOWE I RELATYWISTYCZNE ELEMENTY KOSMOLOGICZNEGO MODELU WSZECHŚWIATA

WPROWADZENIE

Gdy odkrycia z przełomu XIX i XX stulecia dowodnie okazały nauce nieadekwatność obowiązującego paradygmatu mechaniki klasycznej, niewielu zapewne fizyków zdawało sobie sprawę ze zbliżania się przełomu, dziś zwanego relatywistyczno-kwantowym. Historyczne zestawienia nie informują o emocjach wśród badaczy tamtego okresu, jednak ze zdarzeń zachowanych w ludzkiej pamięci, z fragmentów wypowiedzi, prywatnej korespondencji wielkich tamtego czasu, z komentarzy prasowych, zestawień liczby publikacji oraz wglądu w ówczesną hierarchię istotności zagadnień naukowych odczytać można bardzo wiele. Legendarna już dziś rada, dana ponoć Schrödingerowi (by nie zajmował się zawodowo fizyką, gdyż ta zbliża się w swym rozwoju do rychłego końca), stanowi bardzo znamieny przykład zamieszania w nauce tamtego okresu.

Dziś, po około stu latach, nikt nie mówi o końcu fizyki czy nauki w ogóle. Wręcz przeciwnie – tryumfalizm naukowy (w znacznej mierze indukowany osiągnięciami inżynierii i „kosmicznymi” technologiami) osiąga coraz wyższe poziomy, nauka ma się dobrze, a jej poszczególne dziedziny rozwijają się szybciej niż kiedykolwiek. Niemniej jednak zarówno niektóre z potwierdzonych wyników obserwacji, jak i rezultaty prac teoretycznych wskazują, że model relatywistyczno-kwantowy, z tak dobrym skutkiem eksploatowany w fizyce przez niemal cały wiek XX, staje się równie nieadekwatny naukowo, jak jego klasyczny poprzednik przed stuleciem. Dzisiaj potrzebny jest fizyce jednolity model, ogólniejszy i bardziej subtelny od obecnego, a zarazem z nim zgodny (zawierający go). Równania mechaniki kwantowej i równania pola muszą w nowym modelu zajmować podobne miejsce, jakie równania mechaniki newtonowskiej zajmują w modelu relatywistycznym.

Wydaje się, że nadchodzi odpowiednia pora na refleksję nad obecną sytuacją w fizyce. Rzetelne zestawienie stanu posiadania może ułatwić postęp naukowy i skrócić okres chaosu związany z konstruowaniem nowego modelu. Przed stuleciem zestawienie takie, choć merytorycznie prostsze, nie było możliwe ze względu na brak doświadczeń natury metodologicznej. Poważny rozwój filozofii nauki, jaki ma obecnie miejsce, umożliwia takie przedsięwzięcie. Należy zatem skorzystać z okazji¹.

I. ASPEKT METODOLOGICZNY

Poznanie rzeczywistości w fizyce polega na konstruowaniu, a następnie badaniu jej modeli matematycznych [i, ii, iv]. Uważa się, że pomiędzy fizyczną rzeczywistością a jej matematyczną reprezentacją istnieje jedno-jednoznaczna odpowiedniość (tzw. własność matematyczności przyrody²), a lokalne rozwiązania uzyskane w obrębie globalnego modelu odpowiadają rzeczywistym faktom fizycznym [2]. Weryfikacja poprawności modelu (jego zgodności z rzeczywistością, którą opisuje) dokonuje się na drodze eksperymentalnej. Wyniki doświadczeń sprzeczne z przewidywaniami teorii dyskwalifikują tę ostatnią.

Konstruowanie konkretnych modeli matematycznych możliwe jest ponadto dzięki innej fundamentalnej własności świata fizycznego, mianowicie idealizowalności. Mówiąc najkrócej, modele nie reprezentują badanej rzeczywistości w całym jej bogactwie, lecz jedynie „zgrubnie”, oddając jedynie najważniejsze z jej własności. Mimo to całkiem dobrze „naśladują” tę rzeczywistość na odpowiednim poziomie istotności [1, 4]. Dzięki temu możliwe jest wstępne konstruowanie modeli prostych, których badanie i weryfikacja umożliwiają zdobycie wiedzy niezbędnej do budowy modelu reprezentującego świat fizyczny w sposób bardziej subtelny, na wyższym poziomie istotności. W przypadku modeli globalnych (kosmologicznych) schemat ten realizowany był w historii nauki kilkakrotnie [iii, iv].

¹ W niniejszym artykule znajdują się liczne odwołania do wątków poruszonych przez autora w innych miejscach. Odpowiednie stwierdzenia są podawane w postaci końcowej, bez powtórnego ich omawiania, zostają jedynie zaopatrzone w odsyłacze literaturowe. To samo dotyczy pozostałych stwierdzeń i faktów, autorstwa wielu osób, przywoływanych w artykule.

² [1, 7, iv], także twierdzenie Noether, np. w [3].

Modele matematyczne mają określoną strukturę geometryczną, dziedzinę (zasięg opisowy) i topologię. Własności te są konsekwencją odpowiednich założeń poczynionych podczas ich konstruowania. Ponieważ operacje matematyczne dozwolone w obrębie modelu bardzo mocno zależą od tych własności, zatem i poszczególne wyniki produkowane przez model (i reprezentujące konkretne fakty fizyczne) są funkcją założeń brzegowych. Konkretne założenia wynikają z kolei z bieżącego stanu wiedzy, co oznacza, że model ma charakter temporalny. Brak świadomości w tym względzie stanowił niejednokrotnie źródło naukowych nieporozumień [5, 6].

Procedura konstruowania modelu przebiega zgodnie z pewnym bardzo ogólnym, lecz charakterystycznym schematem badawczym [v]. W jego obrębie dokonywana jest synteza natury przedmiotowej, związana z wyborem określonych faktów fizycznych, reprezentatywnych dla badanej rzeczywistości, wyznaczająca docelowo zbiór warunków brzegowych modelu. Wobec tej procedury konieczne jest dokonanie (równoległe) adekwatnej refleksji o charakterze metodologicznym, weryfikującej prawomocność zbioru zaakceptowanych warunków brzegowych. Ma to zasadnicze znaczenie dla ostatecznej postaci modelu i jego potencjalnych predykcji. Omyłka na tym etapie jest wprawdzie weryfikowana ostatecznie w momencie odniesienia przewidywań modelu do doświadczenia, lecz oznacza znaczącą stratę czasu na badania związane z konstrukcyjnie niepoprawnym lub źle zdefiniowanym modelem³.

Poszczególne modele wynikają zatem z aktualnej wiedzy. Badanie konkretnego modelu prowadzi do odkrywania nowych faktów, które stan tej wiedzy poszerzają. W konsekwencji tych działań udaje się prędzej czy później odkryć fakty, których źródła znajdują się częściowo lub w całości poza dziedziną modelu. Oznacza to ich niewyjaśnialność na gruncie posiadanych teorii. Robocze hipotezy, montowane doraźnie dla usprawiedliwienia takich faktów, mogą – po wstępnym zweryfikowaniu – stanowić element zbioru założeń kolejnego, szerszego opisowo i bardziej subtelnego modelu⁴.

Odkrywanie zjawisk niewyjaśnialnych na gruncie określonego modelu stanowi zatem znak, iż możliwości jego naukowej eksploatacji dobiegają końca. Z taką sytuacją mieliśmy do czynienia około stu lat temu, gdy uzyska-

³ Sytuacja taka miała miejsce np. w odniesieniu do licznych modeli inflacyjnych. Zob. np. komentarze Hawkinga w [8].

⁴ Warto prześledzić konsekwencje odkryć w fizyce na początku obecnego stulecia i ocenić rolę hipotez stawianych przez Plancka, Bohra, Einsteina, Thompsona i de Broglie'a. Zob. też ponownie [iv].

no rozkład energii promieniowania ciała czarnego oraz stwierdzono niezależność prędkości światła od układu odniesienia. Wydaje się, że po odkryciu Wielkiego Atraktora i kłopotach z unifikacją oddziaływań elementarnych znajdujemy się dziś w podobnym miejscu.

II. ASPEKT MATEMATYCZNO-FIZYCZNY

Konstruowanie modeli globalnych wymaga [4, 9] w kolejności: zdefiniowania właściwej geometrii, przyjęcia dynamiki oraz dokonania wstępnych założeń w odniesieniu do odpowiednich parametrów. W obowiązującym obecnie w nauce kosmologicznym modelu Wielkiego Wybuchu (Big-Bangu) zakładaną geometrią jest tzw. geometria FLRW⁵, a dynamiką – wzory Einsteinowskiej teorii pola grawitacyjnego (OTW). Postać wzorów oraz zakres założeń dotyczących geometrii decydują o globalnych własnościach czasoprzestrzeni, rozumianej geometrycznie jako „tworzywo” modelu, fizycznie zaś – jako swoista arena dla zjawisk.

Matematyczną strukturą stanowiącą taką arenę obiektów reprezentujących fizyczne fakty makroskopowe jest w modelu Big-Bangu tak zwana rozmaitość Riemanna. Jest ona zmetryzowaną przestrzenią funkcyjną, związaną z czterowymiarową, rzeczywistą przestrzenią Banacha (czyli przestrzenią topologiczną, wektorową, unormowaną i zupełną) [11]. Rozmaitość taka z definicji (ciągłość i liniowość) stanowi naturalne środowisko funkcji regularnych, co dobrze oddaje wspomnianą już „niezłśliwość” (matematyczność) wszechświata fizycznego. Zarazem rozmaitość, zachowując wszystkie własności powierzchni zanurzonej w przestrzeni euklidesowej, jest tworem samoistnym (nie musi być rozważana w odniesieniu do jakiegokolwiek przestrzeni otaczającej), co również stanowi o jej przydatności w charakterze makroskopowego modelu fizycznej czasoprzestrzeni.

Wspomniane na początku rozdziału globalne założenia, dotyczące geometrii i dynamiki tak pojmowanego „tworzywa” reprezentującego fizyczny wszechświat modelu, stanowią o jego globalnych i lokalnych własnościach w odniesieniu do obiektów makroskopowych. Ze względu na fakt, iż dynamika modelu zadana jest poprzez wzory ogólnej teorii względności, ujęcie takie nazywamy relatywistycznym.

⁵ Friedmana-Lemaitre’a-Robertsona-Walkera, zob. [10].

Podejście relatywistyczne, mimo wszelkich zalet, nie jest wystarczające do opisu zjawisk mikroskopowych. „Tworzywo” modelu widziane „z bliska” musi mieć bardziej subtelną strukturę. Matematycznie wystarczającym konstruktem jest w tym wypadku tzw. przestrzeń Hilberta, czyli zespolona przestrzeń Banacha z iloczynem skalarnym. Stanowi ona naturalne środowisko tzw. wektorów stanu (będących oczywiście liczbami zespolonymi), które reprezentują określone stany danego układu fizycznego. Subtelna struktura przestrzeni Hilberta (z definicji: liniowej i topologicznej), wykorzystanej w podejściu kwantowym, umożliwia modelowanie superpozycji stanów fizycznych mikroukładów. Operacja ta nie jest możliwa w podejściu relatywistycznym.

Różnice pomiędzy obu prezentowanymi podejściami na tym się nie kończą. Jak wspomniano, dynamika modelu relatywistycznego zadana jest poprzez grawitacyjne równania Einsteina. Stanowią one układ dziesięciu nieliniowych równań spełniających tak zwane zwięzienie Bianchiego. Tymczasem równanie opisujące ewolucję stanu układów kwantowych, tzw. równanie Schrödingera, jest liniowe. Oznacza to, że dokonywanie tak zwanych „operacji wygładzania”⁶ pociąga, w ogólnym przypadku, zmianę postaci równań dynamicznych w odniesieniu do zjawisk badanych z wykorzystaniem formalizmu relatywistycznego [12]. Nie ma to miejsca w odniesieniu do podejścia kwantowego.

Powyższa uwaga wiąże się z wrażliwością modeli na wartości parametrów w równaniach. Ich przyjęcie stanowi ostatni etap konstruowania modelu. Dokonuje się ono w drodze konfrontacji zakresu wartości parametrów akceptowalnych (dziedziny) z wynikami doświadczalnymi. Te ostatnie są jednak ze swej natury ograniczone i na ogół mało precyzyjne⁷, co wielokrotnie zmusza do przyjęcia wartości odpowiednich parametrów w sposób przybliżony lub arbitralny, bez możliwości ich weryfikacji. Stanowi to zagrożenie, iż skonstruowany w ten sposób model nie reprezentuje rzeczywistości, o którą nam chodzi. Ponadto dokonywanie założeń odnośnie do konkretnych parametrów, osobno dla ujęć relatywistycznego i kwantowego, separuje je tym wyraźniej.

⁶ Czyli przejścia z opisem do innej skali wielkości (od ang. *smoothing procedures*).

⁷ Ograniczenia mają rozmaite przyczyny, od niepewności pomiarowej po trudności (np. technologiczne lub finansowe) z jego wykonaniem. Obecnie stałą Hubble’a szacuje się z dokładnością nie lepszą niż 50%. Istnieją też ograniczenia formalne (por. „świat wysp” Ellisa [4]).

Jak widać, obowiązujący obecnie w nauce relatywistyczno-kwantowy model rzeczywistości fizycznej jest wyraźnie niejednolity⁸. Jego konstrukcja oparta jest na innych założeniach w odniesieniu do faktów mikro- oraz makroskopowych. Jest to w dużej mierze konsekwencją faktu, iż dobór matematycznych konstrukcji stanowiących odpowiednio relatywistyczny i kwantowy model świata odbywa się nie poprzez systematyczną aksjomatyzację, lecz w drodze dopasowywania formalizmu matematycznego do różnych sytuacji eksperymentalnych⁹. Wskutek tego fakty fizyczne w różnych skalach wielkości modelowane są z wykorzystaniem różnych formalizmów matematycznych, a ponadto częstokroć dochodzi do sytuacji, w których opisy te się mieszają; niektóre mechanizmy odpowiedzialne za zjawiska wielkoskalowe (np. tzw. inflacje [vii]) mają naturę kwantową i opisywane są z zastosowaniem formalizmu kwantowego. W takich sytuacjach o granicy obu ujęć, mikro- i makroskalowego, trzeba decydować arbitralnie i na podstawie bardzo wątpliwych przesłanek. Jest to źródło wielu kłopotów i stanowi o ograniczonych możliwościach modelu relatywistyczno-kwantowego.

III. WŁASNOŚCI MODELU

Skonstruowanie i wprowadzenie w XX wieku modelu relatywistyczno-kwantowego do fizyki było bezspornie wielkim osiągnięciem nauki. Dzięki niemu udało się wyjaśnić wiele obserwacyjnych i teoretycznych zagadnień, wobec których wcześniejszy model mechaniki klasycznej (newtonowski) okazał się bezradny. Ponadto dzięki nowemu modelowi bardzo poważnie zmieniło się rozumienie natury świata, zarówno w makro-, jak i mikroskali. Odkryto i zbadano wiele nieznanych wcześniej faktów fizycznych, możliwy stał się ogromny postęp w rozwoju inżynierii i technologii. Zarazem, począwszy od lat sześćdziesiątych, a szczególnie w ostatniej dekadzie, lawinowo zaczęła narastać liczba faktów eksperymentalnych i teoretycznych, nie znajdujących usprawiedliwienia na gruncie modelu, co – jak zaznaczono wcześniej – stanowi sygnał, iż jego możliwości się wyczerpują.

⁸ Na dobrą sprawę można mówić niemal o separacji mechaniki kwantowej i teorii względności. Mechanizmy prawdziwie kwantowo-relatywistyczne działają tylko przy bardzo silnych i egzotycznych założeniach.

⁹ Por. np. sposoby dojścia do formalizmu kwantowego w wykonaniu Heisenberga, Schrödingera i Diraca.

W największym skrócie, rzeczywistość reprezentowana przez matematyczną strukturę modelu relatywistyczno-kwantowego przedstawia się następująco. Wszechświat jest czterowymiarową strukturą o naturze różnicowości („niezłożliwość”). Struktura ta prawdopodobnie wyłoniła się z bardziej ogólnego środowiska w procesie tak zwanego „kwantowego tunelowania z nicości” [13, 26]. Od początku swego istnienia wykazywała ona pewną symetrię¹⁰, która stanowiła o jej własnościach globalnych. Jedną z konsekwencji własności określonych daną symetrią Wszechświata było wyróżnienie – być może nawet globalne – czasu, rozumianego jako jeden z wymiarów początkowej struktury. Wskutek tego można mówić o czasowej ewolucji Wszechświata. W toku tej ewolucji co najmniej dwukrotnie powinna się była zmieniać organizacja symetrii Kosmosu (fundamentalnych praw fizycznych). Umożliwiło to realizację początkowych epok kosmologicznych, podczas których energia pierwotnej próżni uległa charakterystycznemu zróżnicowaniu i zapułapkowaniu w lokalnych minimach potencjału efektywnego [vii]. Dało to początek fizycznej materii. Będąca przyczyną tych faktów kompaktyfikacja wyższych wymiarów, wydzielenie zróżnicowanych oddziaływań elementarnych i dominacja grawitacji w skali globalnej [14] oraz towarzyszące im krótkotrwałe, lecz bardzo gwałtowne zjawiska¹¹ wyprowadziły młody Wszechświat na drogę tak zwanej ewolucji friedmanowskiej (standardowej). Z punktu widzenia obserwatora umieszczonego wewnątrz Wszechświata, Kosmos podlegał odtąd stałej ekspansji przestrzennej, a niemal nie oddziaływające na siebie próżnia, promieniowanie i materia¹² podlegały określonej ewolucji, w konsekwencji doprowadzając Uniwersum do obecnie obserwowanej postaci [19].

Takie rozumienie Wszechświata, wysoce różniące się od klasycznego (a zarazem z nim zgodne¹³), pozwoliło wyjaśnić problemy XIX-wiecznej fizyki, zarówno o charakterze globalnym (paradoks Olbersa, problem równowagi wielkoskalowej), jak i lokalnym (budowa atomów, oddziaływanie materii z energią etc.). Zarazem jednak dostarczyło nowych pytań i wątpliwości. Do najważniejszych z nich należą [20]:

¹⁰ Grupy symetrii są w modelu reprezentantami najbardziej fundamentalnych własności Wszechświata – zasad fizycznych. Ponownie zob. [7, 4].

¹¹ Na przykład inflacje [15, 16, 17].

¹² Istnieją przesłanki, iż za pewną postać energii można uważać również informację; zob. [18].

¹³ Różnicowość jest lokalnie dyfeomorficzna z $\mathbf{R}^3 \times \mathbf{R}^1$, czyli czasoprzestrzenią klasyczną.

– Problem płaskości; ze względu na dobór parametrów w równaniu Friedmana możliwe są nieskończenie liczne rozwiązania standardowe. Dlaczego Wszechświat zachowuje się jak „płaski” świat Friedmana, skoro pomiary np. ilości materii wskazują, że powinien on realizować ewolucję „otwartą”?

– Problem horyzontu: dlaczego ewolucja kosmiczna przebiega tak samo w całym obserwowanym Wszechświecie, pomimo że jego odległe rejony nie pozostają w kontakcie przyczynowo-skutkowym?

– Problem osobliwości; podczas „cofania” ewolucji kosmicznej po osi czasu ku chwili $t=0$, struktura Wszechświata okrywa się horyzontem zdarzeń, przybierając postać tzw. osobliwości typu Big-Bang¹⁴. Dlaczego tak się dzieje i dlaczego osobliwości tej nie da się uniknąć bez względu na sposób „cofania się”?

– Problem asymetrii barionowej: dlaczego podczas wczesnych epok kosmicznej ewolucji pojawiło się nieco więcej materii jednego znaku, która nie uległa następnie anihilacji w kontakcie z antymaterią?

– Problem wielkoskalowego rozkładu materii: dlaczego galaktyki rozłożone są nieregularnie, nawet w wielkiej skali, skoro ewolucja Wszechświata wydaje się być trwale płaska?

Próby odpowiedzi na te i inne pytania doprowadziły do odkrycia kolejnych własności modelu relatywistyczno-kwantowego. Okazało się, po pierwsze, że realizacja ewolucji kosmicznej ściśle według reżimu friedmanowskiego prowadzi do niefizycznych rozwiązań. Różne ewolucje friedmanowskie zawierają bowiem większość z mechanizmów, które można by obciążyć odpowiedzialnością za konkretne zjawiska ewolucyjne, lecz mechanizmy te należą na ogół do różnych rozwiązań równania Friedmana. Pomędzy nimi zaś nie ma możliwości przejścia [22]. Ponadto, po drugie, każda z dopuszczalnych ewolucji standardowych zawiera co najmniej jedną osobliwość¹⁵ (początkową, Big-Bang).

Rozwiązania najważniejszych trudności modelu zaczęto więc poszukiwać w odejściu od ścisłego przestrzegania założeń reżimu standardowego, licząc na to, że da się znaleźć ewolucję przebiegającą wzdłuż takiej serii stanów należących do różnych rozwiązań równania Friedmana [viii], która zawierać

¹⁴ Osobliwość ma miejsce, gdy co najmniej jedna ze składowych tensora Ricciego lub tensora Weyla staje się niemierzalna. Osobliwościami są np. czarne dziury, monopola magnetyczne, struny kosmiczne, ściany domenowe i wormhole’a. Klasyfikację osobliwości zob. np. w [21].

¹⁵ Zob. twierdzenia Hawkinga i Penrose’a (Hawking 1967, Penrose 1965 i kolejne).

będzie mechanizmy ewolucyjne odpowiedzialne za doprowadzenie Wszechświata do postaci obecnie obserwowanej. Zarazem oczekiwano, iż możliwe okaże się zrealizowanie ewolucji „omijającej” osobliwość początkową poprzez stany należące do rozwiązań, w których osobliwość występuje w innym miejscu¹⁶.

Rezultatem takich prób były m. in. słynne w latach osiemdziesiątych modele inflacyjne. Miały one quasi-friedmanowski charakter, lecz w ewolucji kosmicznej dopuszczały generowanie przez czynniki niegravitacyjne jednej lub kilku epok, podczas których działałyby mechanizmy usprawiedliwiające niektóre z dotychczas niezrozumiałych faktów obserwacyjnych (jak zagadnienie horyzontu lub płaskości). Niestety, okazało się, że tego rodzaju „ręcznie” poprawiane modele produkują kolejne trudności, m. in. osobliwości różnych typów¹⁷. Rozwiązanie problemu okazało się trudniejsze, niż się to z początku wydawało.

Wspomniana już wielka wrażliwość modeli na założenia, których dokonuje się podczas ich konstruowania, stanowi o zasięgu tych ostatnich. Poszerzenie dziedziny modelu wymagałoby dokonania zmian w zbiorze założeń. Jednakże tam, gdzie kończy się model, kończy się i wiedza o badanej rzeczywistości. Weryfikacja założeń nie jest w tych warunkach możliwa, nie istnieje zatem możliwość ani poszerzenia dziedziny modelu, ani zmiany jego matematycznej struktury dla uczynienia go bardziej subtelnym. Mówiąc prościej, bez świadomości, jaka jest rzeczywistość, którą za pomocą modelu usiłujemy badać, nie da się modelu przekonstruować tak, by był on w stanie reprezentować tę rzeczywistość. Praktycznie oznacza to kres jego możliwości. Podobnie jak energii, wiedzy również nie da się „wyprodukować” z niczego...

IV. KU NOWEMU MODELOWI

Zarówno opisane kłopoty kosmologii, jak i doświadczenia fizyki wysokich energii i cząstek elementarnych wskazują na to, że jedynie szerszy niż obecnie dostęp do rzeczywistości fizycznej pozwoli zrozumieć istotę niezrozumiałych dzisiaj faktów. Dostęp taki możliwy jest jednakże wyłącznie poprzez struktury matematyczne, należy zatem dążyć do ich rozwoju i usubtelnienia.

¹⁶ Byłoby to wygodne; każdy obserwator widziałby osobliwość bez konieczności jej przeżywania w trakcie ewolucji kosmicznej; por. [22, 23].

¹⁷ Ściany domenowe i monopola magnetyczne; por. [24, 25].

Najbardziej oczywistym ruchem w tym kierunku jest znalezienie sposobu połączenia formalizmu relatywistycznego i kwantowego w jedną strukturę matematyczną.

Dotychczasowe wysiłki w tym zakresie nie przyniosły zadowalających rezultatów, zapewne dlatego, że próby unifikacji przebiegały w najprostszy z możliwych sposobów: poprzez bezpośrednio narzucanie formalizmom kwantowym funkcjonowania według schematów makroskopowych albo odwrotnie, przez znalezienie sposobu przeniesienia formalizmu relatywistycznego na grunt opisów kwantowych. Za każdym razem oznaczało to założenie czegoś, czego dana teoria (odpowiednio: kwantowa lub relatywistyczna) nie wymaga ze swej natury. Każdorazowo wzbogacano zatem strukturę matematyczną o obce elementy, co teorii fizycznej reprezentowanej tą strukturą przydawało egzotyki i oddalało ją od rzeczywistości fizycznej.

Drogi wyjścia z impasu należy szukać poprzez znalezienie struktury matematycznej, która w naturalny sposób zawierałaby oba dotychczasowe formalizmy, relatywistyczny i kwantowy, a także – przy określonych założeniach – do każdego z nich mogłaby się redukować. Struktura taka mogłaby się stać „tworzywem” nowego modelu, zarazem szerszego i bardziej subtelnie reprezentującego rzeczywistość fizyczną. Należy się spodziewać, że badanie takiego modelu pozwoli odkryć wiele jego interesujących własności, a te będą miały eksperymentalnie mierzalne odpowiedniki w świecie fizycznym.

Podobna do obecnej sytuacja miała miejsce w historii nauki po raz pierwszy za czasów Galileusza i Newtona, a po raz drugi kilkadziesiąt lat temu. Za pierwszym razem model ptolemejski ustępował miejsca paradygmatowi klasycznemu, za drugim ten ostatni został zastąpiony modelem relatywistyczno-kwantowym. Każdorazowo zachowywano zgodność pomiędzy modelami i również każdorazowo do skonstruowania nowego modelu wykorzystywano inną, bardziej ogólną strukturę matematyczną. Metodologiczna i historyczna refleksja nad tymi zdarzeniami powinna stanowić wskazówkę na przyszłość. Wydaje się, że niektórzy mają ją już za sobą. Struktura geometrii nieprzemiennej, zaproponowana ostatnio (po kilku latach pracy) przez Hellera i współpracowników¹⁸, realizuje właśnie przedstawiony powyżej postulat i stanowi, być może, przełom w pracach związanych z konstruowaniem nowego modelu świata fizycznego.

¹⁸ [27] i prace, do których odnoszą się referencje zawarte w tym artykule.

Koniec stulecia jest dobrą okazją do dokonania przeglądu stanu posiadania w nauce. Świadomość tej potrzeby jest konieczna, jeśli poważnie potraktować wyzwanie nadchodzącego czasu.

BIBLIOGRAFIA

1. Heller M., Życiński J., Michalik A. (red.), Matematyczność przyrody, OBI, Kraków 1992.
2. Heller M., Lubąński M., Ślaga Sz., Filozoficzne zagadnienia współczesnej nauki, ATK, Warszawa 1997.
3. Piersa H., Symetria i jej funkcja poznawcza w fizyce, RW KUL, Lublin 1990.
4. Ellis G. F. R., Cosmology and verifiability, „Q. J. of the Roy. Astr. Soc.”, 16(1975), s. 245-264.
5. Życiński J., Sprawa Galileusza, ZNAK, Kraków 1991.
6. Cooper L., An introduction to the meaning and structure of physics, Harper & Row Pub., New York 1968.
7. Heller M., Konstrukcja relatywistycznego modelu Wszechświata, „Postępy Astronomii”, 19(1971), z. 1, s. 44-45.
8. Hawking S. W., Krótka historia czasu, Alfa, Warszawa 1990.
9. Ellis G. F. R., Relativistic cosmology, its nature, aims and problems, w: General Relativity and Gravitation, Reidel Pub. Co., Dordrecht 1984.
10. Heller M., Kosmologia Robertsona-Walkera a kosmologia Friedmana, „Postępy Astronomii”, 20(1972), z. 3, s. 241-250.
11. Heller M., Teoretyczne podstawy kosmologii, PWN, Warszawa 1988.
12. Carfora M., Marzulli A., Smoothing-out spatially closed cosmologies, „Phys. Rev. Lett.”, 53(1984), z. 25, s. 2445-2448.
13. Hawking S. W., Wave function of the Universe, .
14. Hajduk Z., Pokorski S., Ewolucja fizyki cząstek elementarnych, „Postępy Fizyki”, 42(1991), z. 1, s. 5 nn.
15. Guth A., A possible solution to the horizon and flatness problem, „Phys. Rev. D”, 23(1981), z. 2, s. 347 nn.
16. Linde A., The new inflationary universe scenario, w: Very Early Universe, Cambridge U.P., NY 1993.
17. Steinhardt P. J., Natural inflation, w: Very Early Universe, Cambridge U.P., NY 1993.
18. Tipler F., Immortality of Physics, Sem. OA UJ, Kraków 1995.
19. Dicus D. A. et. al., Przyszłość Wszechświata, „Postępy Fizyki”, 35(1984), z. 5, s. 475 nn.
20. Linde A., Fizyka elementarnych cząstek i inflacyjna kosmologia, Moskwa 1990.
21. Heller M., Osobliwy Wszechświat, PWN, Warszawa 1991.
22. Gruszcza J., Heller M., Szydłowski M., The Universe as a stochastic process, „Phys. Lett. A”, 100(1984), z. 2, s. 82-84.

23. G r u s z c z a k J., H e l l e r M., S z y d ł o w s k i M., Singularities in a stochastically predictable universe, „Phys. Lett. A”, 100(1984), z. 1-2, s. 13-16.
24. G u t h A., Phase transitions in the very early universe, w: Very Early Universe, Cambridge U.P., NY 1993.
25. S i k l o s S., W u Z., Bubble collisions in general relativity, w: Very Early Universe, Cambridge U.P., NY 1993.
26. H a r t l e J. B., Quantum cosmology and the early universe, w: Very Early Universe, Cambridge U.P., NY 1993.
27. H e l l e r M., S a s i n W., L a m b e r t D., Groupoid approach to noncommutative quantization of gravity, „J. of Math. Phys.” 1997.

Oraz autora niniejszego artykułu:

- [i] Konstruowanie modeli w kosmologii, „Roczniki Filozoficzne” 43(1995), z. 3, s. 75-87.
- [ii] Matematyczne reprezentacje rzeczywistości w modelu relatywistycznym i kwantowo-mechanicznym, w: Naukowo-przyrodnicze i filozoficzne elementy obrazu świata, ATK Warszawa 1998, ss. 13.
- [iii] Koncepcje rozwiązywania trudności kosmologicznego modelu standardowego, „Roczniki Filozoficzne”, 45(1997), z. 3, ss. 11.
- [iv] Pytania i hipotezy robocze w procesie poznawania Wszechświata, „Człowiek i Przyroda”, 6(1997), s. 93-108.
- [v] Schematy badawcze w konstruowaniu modeli Wszechświata, „Roczniki Filozoficzne”, 44(1996), z. 3, ss. 11.
- [vi] Pustynia czy człowieczy dom?, „Człowiek i Przyroda”, 3(1996), s. 27-35.
- [vii] Zarys historii modeli inflacyjnych, w: Kosmos i Filozofia, OBI, Kraków 1995, s. 69-91.
- [viii] Wszechświaty inflacyjne w świetle koncepcji modeli seryjnych, „Edukacja Filozoficzna”, 18(1994), s. 200-204.

QUANTUM AND RELATIVISTIC ELEMENTS OF THE COSMOLOGICAL MODEL OF THE UNIVERSE

S u m m a r y

This article's aim is to summarize the main knowledge on both quantum and relativistic features of mathematical models of the physical reality in context of the need of a new one model. The model's elements have been discussed both in subjective and metasubjective ways. A special emphasis has been pointed to the meaning of the mathematical structure of the model.