

Dlaczego jest mnóstwo rzeczy raczej niż prawie nic? – „słabe pytanie Leibniza”

Łukasz Lamża

Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych

**Why is there a lot of things
rather than almost nothing?
– weak Leibniz’s question**

Summary

The original Leibniz’s question „Why is there something rather than nothing?” is rephrased in a „weak” way: „Why is there a lot of things rather than almost nothing?”. The first part of the article argues for two propositions: 1) We may not reasonably expect a real answer to the original Leibniz’s question, mostly because the concept of „nothingness” cannot be defined in a way that makes sense and is operational. 2) The „weak” version of the question retains the philosophical „spirit” of the original.

In the second part a methodology for answering the weak Leibniz’s question is presented - one of an analysis of the cosmic evolution in terms of the reasons and causes for the emergence of new types of natural objects and processes („things”). A representation

the structure of the Universe is presented that is based on a list of ca. 900 names of things derived from the Universal Decimal Classification (UDC) catalogue, representing all natural sciences.

Further analyses concern the properties of the Universe and its evolution that cause new things to emerge all the time - although one may imagine and precisely describe a scenario where new things stopped appearing shortly after the Big Bang and now there is almost nothing in the Universe.

Keywords

philosophy of nature; Leibniz's question; cosmology

1. Wprowadzenie

„Dlaczego jest coś raczej niż nic?” należy do klasycznych pytań metafizyki i filozofii przyrody. Pytanie to bywa też coraz częściej podejmowane przez naukowców zajmujących się dwiema głównymi dyscyplinami fizyki fundamentalnej – kosmologią fizyczną i fizyką kwantową. Zarówno jednak filozofowie, jak i naukowcy mają poważny problem z wyrażeniem pytania Leibniza w operacyjnie dogodny sposób.

Nicość jest jednym z klasycznych „pojęć problemowych” w filozofii, metafizyce i literaturze¹; znane są opinie, że jest w zasadzie pojęciem nonsensownym (Parmenides, neopozyty-

¹ J.D. Barrow, *The Book of Nothing*, Vintage Books, London 2001.

wizm) lub mającym sens wyłącznie w kontekście egzystencji człowieka (egzystencjalizm, fenomenologia Heideggera). Pojęcia bliskie „nicości” w fizyce są zawsze tworam i o bogatej i nietrywialnej strukturze, czy będzie to stan próżniowy w kwantowej teorii pola², czy też rozwiązania próżniowe w ogólnej teorii względności³. Z tego względu próby odtworzenia prawdziwego *creatio ex nihilo* przez fizyków – choć fascynujące same w sobie i jako segment fizyki fundamentalnej – są filozoficznie nie-satisfakcjonujące jako odpowiedzi na pytanie Leibniza⁴. Pytanie to – ważne, głębokie pytanie – wydaje się raczej nadawać do *rozważania* niż do poszukiwania *odpowiedzi*.

W niniejszym tekście podjęta będzie próba zmierzenia się ze „słabszą” wersją pytania Leibniza, brzmiącą, trochę prowokacyjnie: „Dlaczego jest mnóstwo rzeczy raczej niż prawie nic?”; poniżej będzie ono określane jako „słabe pytanie Leibniza”. Mimo potocznego charakteru obu występujących w tym pytaniu kluczowych terminów („mnóstwo rzeczy” i „prawie nic”), są one w istocie pojęciami dającymi się łatwo doprecyzować w odniesieniu do hipotetycznego scenariusza kosmologicznego, w którym cała zawarta we Wszechświecie materia i wszelkie inne znane formy energii są równomiernie rozprowadzone w przestrzeni w postaci najprostszych cząstek

² J. Kraśkiewicz, *Elementy klasycznej i kwantowej teorii pola*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2003.

³ J.B. Hartle, *Grawitacja*, tłum. P. Amsterdamski, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2010.

⁴ M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia Wszechświata*, Universitas, Kraków 2008, s. 226 nn.

elementarnych. Istnieją znane obliczenia dokonywane w kontekście zasady antropicznej⁵ pokazujące, że stan tego typu da się „uzyskać” w ramach znanej nam fizyki, inaczej mówiąc, że jest nie tylko wyobrażalny, ale i wyrażalny na sposób ścisły.

„Mnóstwo rzeczy” to więc sytuacja obecna: Wszechświat tętniący od fenomenów, od nieprzeliczonych odmian galaktyk i gwiazd, przez miliony typów związków organicznych i setki tysięcy gatunków chrząszczy, aż po obrazy impresjonistyczne i przenośne dyski twarde. Ponieważ nie możemy precyzyjnie wyrazić liczby rzeczy we Wszechświecie, nie mamy także skali porównawczej, określenie „mnóstwo” ma wyłącznie sens względny w odniesieniu do hipotetycznej sytuacji relatywnego ubóstwa ontologicznego świata. Czym *dokładnie* byłoby więc „prawie nie”, dające się wyrazić jako realistyczny scenariusz kosmologiczny?

Średnią gęstość materii we Wszechświecie można wyrazić poprzez ilość atomów wodoru (najpospolitszego pierwiastka w Kosmosie) na jednostkę objętości; wartość ta wynosi obecnie ok. 1 m^{-3} , czyli jeden atom na metr sześcienny – w hipotetycznym „prawie pustym” Wszechświecie o identycznej całkowitej masie/energii (ew. gęstości masy/energii) nie byłoby żadnych złożonych struktur materialnych, a jedynie równomierne „tło” atomów wodoru⁶ o takiej mniej więcej gęstości⁷. Jest to w isto-

⁵ J.D. Barrow, F.J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oxford–New York 1986, s. 413 nn.

⁶ Lub protonów i wolnych elektronów, jeśli materia jest zjonizowana.

⁷ Aby opisywany tu scenariusz był bardziej realistyczny fizycznie, należałoby uznać również istnienie promieniowania relikтового,

cie po prostu *nasz* Wszechświat, który nie przeszedł fazy pierwotnej nukleosyntezy i który nie zaczął tworzyć struktur na drodze niestabilności grawitacyjnej. Jeszcze inaczej mówiąc, jest to Wszechświat bliźniaczo podobny do naszego, który jednak po ok. 1 minucie swojej ewolucji zaprzestał generowania nowych zjawisk przyrodniczych i pozostał przy swoim dotychczasowym „repertuarze ontologicznym”.

Pojawia się więc pytanie: *co* właściwie sprawia, że Wszechświat nie poprzestał na takim stanie i że do dziś generuje wciąż nowe zjawiska przyrodnicze? Jaką „metodą” jest to osiągane? Jest to właśnie „słabe pytanie Leibniza” – pytanie nie o to, dlaczego istnieje świat *w ogóle*, tylko o to, dlaczego istnieje *w nim* cokolwiek poza samą surową nieuformowaną materią (energiją), z której jest zbudowany i z której się wywodzi.

jego hipotetycznego odpowiednika neutrinowego oraz hipotetycznego spektrum pierwotnych fal grawitacyjnych. Te trzy obiekty wypełniają Kosmos prawie równomiernie, nie są więc potrzebne żadne gruntowne zmiany w fizyce Wszechświata, aby uczynić z nich obiekty całkowicie „gładkie”, czyli nieposiadające substruktur. Dla potrzeb tego artykułu można swobodnie włączyć w ów „minimalny repertuar fizyczny” również hipotetyczne cząstki ciemnej materii – rozłożone tu tak samo jednorodnie, jak „tło” atomów wodoru – oraz dodatkowe obiekty niezbędne ze względów kosmologicznych, wybrane zgodnie z preferencjami Czytelnika: od ciemnej energii (zinterpretowanej np. jako pole) po pole inflatonowe. Wszystkie te obiekty nie tworzą dalszych struktur znanych nauce, więc ich obecność nie wpływa na zasadność przeprowadzanych tu rozważań.

1.1. Czy słabe pytanie Leibniza wciąż jest pytaniem Leibniza?

Przed przystąpieniem do właściwych analiz warto zastanowić się, czy przedstawiony problem nie jest jednak wyłącznie szczegółowym zagadnieniem nauk przyrodniczych, nieznaczącym w skali filozoficznej i nieleżącym w kręgu zainteresowań filozofii przyrody lub metafizyki. Czy da się go rzeczywiście obronić jako odmianę pytania Leibniza? Aby odpowiedzieć na to pytanie, należałoby zastanowić się nad jego istotą. W celu ułatwienia Czytelnikowi lektury dalszej części artykułu, proponuję rozważenie następującej listy bytów:

1. Bóg;
2. pierwotny stan nieuformowania (grecki $\chi\alpha\omicron\varsigma$);
3. pierwotna próżnia kwantowa;
4. „wczesny” (np. 1 sekunda po Wielkim Wybuchu), prawie jednorodny, ubogi w strukturę Wszechświat;
5. „późny” (ok. 14 miliardów lat po Wielkim Wybuchu), wysoce niejednorodny, bogaty w strukturę Wszechświat (obecnie istniejący Wszechświat fizyczny);
6. „późny” (ok. 14 miliardów lat po Wielkim Wybuchu), prawie jednorodny, ubogi w strukturę Wszechświat (scenariusz hipotetyczny).

Przy użyciu tej listy możliwe jest wyrażenie niektórych popularnych scenariuszy kosmogonicznych. Przykładowo, chrześcijańska doktryna stworzenia wzbogacona o współcześnie stan-

dardowy kontekst naukowy to scenariusz $1 \rightarrow 1+4 \rightarrow 1+5$. Brak strzałki przed „1” oznacza, że Bóg jest niestworzony; znaki „plus”, że Bóg nie przestaje istnieć po stworzeniu świata. Starożytny model grecki wzbogacony o ten sam kontekst można opisać jako $2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$, gdzie nad pierwszą strzałką można by umieścić literę „D” symbolizującą Demiurga. Współczesny standardowy model naukowy to $\rightarrow 4 \rightarrow 5$, gdzie brak pierwszego członu oznacza, że nie istnieje uznane wyjaśnienie struktury przyczynowej we wczesnym Wszechświecie, ale wyjaśnienie takie jest uważane za konieczne i jest poszukiwane. Przykładowa propozycja, zgodnie z którą Wszechświat z próżni kwantowej⁸ da się przedstawić jako $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$, jeśli uznamy próżnię kwantową za wiecznie preegzystującą⁹ lub jako $\rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$, jeśli uznamy konieczność osobnego wyjaśnienia istnienia próżni kwantowej¹⁰.

Nie powinno nas zaskoczyć, że wszelkiego typu scenariusze kosmologiczne należą do jednej z dwóch kategorii: albo posiadających „urwany” łańcuch przyczynowy, albo posiadających u początku obiekt niewyjaśniony. Jest to wynik znany od starożytności.

Proponowany w niniejszej pracy hipotetyczny scenariusz, w odniesieniu do którego zdefiniowane jest „słabe pytanie Leib-

⁸ Zob. omówienie w M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia Wszechświata*, dz. cyt., s. 88n.

⁹ E.P. Tryon, *Is the Universe a Vacuum Fluctuation?* „Nature” 1973, 246 (5433), s. 396–397.

¹⁰ G. McCabe, *Possible physical universes*, 2006, preprint arXiv nr gr-qc/0601073.

niza”, można opisać jako $\rightarrow 4 \rightarrow 6$, gdzie brak pierwszego członu oznacza, że relacje przyczynowe poprzedzające młody jednorodny Wszechświat są zasadniczo nieistotne dla istoty pytania Leibniza w jego słabej wersji. Rozważmy bowiem scenariusz $1 \rightarrow 1+4 \rightarrow 1+6$; albo $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6$; albo $3 \rightarrow 4 \rightarrow 6$. Zarówno filozof grecki, teolog chrześcijański, jak i współczesny kosmolog prawdopodobnie uznaliby scenariusze te za „nieudane”. Ewentualność, że we Wszechświecie nie ma, nie było i nigdy nie będzie ludzi, istot żywych, chmur, planet, gwiazd, galaktyk czy atomów, a także ciepła, zapachu, dźwięku, koloru i światła – a tylko nieskończone ciemne przestrzenie wypełnione prawie doskonałą próżnią – może prowokować do tego samego typu rozważań, co „oryginalne” pytanie Leibniza. Kosmos taki dla Greka byłby czymś odpychającym i nonsensownym, dla chrześcijańskiego teologa kłóciłby się z planem Stworzenia (czy mogłoby nie być Jezusa?), a dla współczesnego kosmologa byłby po prostu scenariuszem jawnie fałszywym obserwacyjnie i przez to nieinteresującym.

Mówiąc jeszcze inaczej, hipotetyczny obserwator przeglądający „Księgę Wszechświatów”, skonfrontowany z opisanym wyżej „prawie pustym” Kosmosem miałby pełne prawo zakrzyknąć: „Przecież tu nic nie ma!”, a na sugestię, jakoby ten Kosmos miał być jedynym kiedykolwiek istniejącym, mógłby zareagować takim samym poczuciem pustki i przerażenia, które stanowi emocjonalne jądro pytania Leibniza¹¹.

¹¹ R.L. Kuhn, *Why this universe? Toward a taxonomy of possible explanations*, „Skeptic” 2007, 13, s. 28–39; M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia Wszechświata*, dz. cyt.

2. Metodologia

2.1. Dane źródłowe

Na „słabe pytanie Leibniza” można poszukiwać odpowiedzi. W istocie, pytanie o to, dlaczego we Wszechświecie występuje znane nam bogactwo obiektów i zjawisk przyrodniczych, może i powinno być rozważane w ramach nauk przyrodniczych. Pytanie o to, dlaczego na Ziemi występują chmury, posiada określoną odpowiedź w ramach meteorologii i planetologii. Pytanie o to, dlaczego istnieją gwiazdy, posiada określoną odpowiedź w ramach astrofizyki. Czy więc „słabe pytanie Leibniza” jest tylko punktem końcowym skończonej sumy szczegółowych pytań przyrodniczych? Celem tego artykułu jest zbadanie, do jakiego typu wniosków prowadzi analiza wiedzy przyrodniczej dokonywana ściśle ze względu na próbę wglądu w ogólną „strategię”, jaką „stosuje” świat przyrody przy generowaniu nowego typu obiektów i zjawisk przyrodniczych (nazywanych niżej łącznie „obiettami przyrodniczymi”).

Niestety, nie zebrano dotychczas listy wszystkich znanych nauce rzeczy – choć zadanie to w zasadzie nie jest niewykonalne, a mogłoby przynieść wiele pożytku naukowego i filozoficznego. Bardzo dogodnym przybliżeniem są natomiast specjalistyczne katalogi zagadnień naukowych, jak Mathematics Subject Classification (MSC) w matematyce, czy Physics and Astronomy Classification Scheme (PACS®) w fizyce, oraz ogólne katalogi biblioteczne, jak katalog Deweya czy Universal

Decimal Classification (UDC). Są to zwykle katalogi bardzo szczegółowe, hierarchicznie zorganizowane i opracowywane na przestrzeni dziesiątków lat pod opieką specjalistów; podstawowym wymogiem stawianym takim katalogom jest, aby były *wyczerpujące*, tj. aby każdy tekst należący do zakresu określonej dyscypliny (w przypadku katalogów specjalistycznych) lub każdy tekst *w ogóle* (w przypadku katalogów ogólnych) dał się przyporządkować do określonej kategorii przedmiotowej. W istocie, pokażne zbiory biblioteki akademickiej mojej pierwszej *alma mater*, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, są obecnie katalogowane zgodnie z systemem UDC. Naukowiec studiujący dowolny *obiekt przyrodniczy* powinien w zasadzie móc przyporządkować swoje badania do określonej kategorii takiego katalogu.

We wcześniejszej pracy¹² przedstawiłem wyniki analizy przeprowadzonej na próbie 349 obiektów pochodzących z katalogu PACS® 2008, głównie z zakresu fizyki i astronomii, z mniejszym udziałem nauk chemicznych oraz nauk o Ziemi. W niniejszej pracy omówione są wyniki oparte na znacznie większej próbie 893 obiektów pochodzących z katalogu UDC 2005, należących już do wszystkich dziedzin wiedzy o przyrodzie, a więc: astronomii i fizyki, chemii i mineralogii, nauk o Ziemi oraz nauk biologicznych.

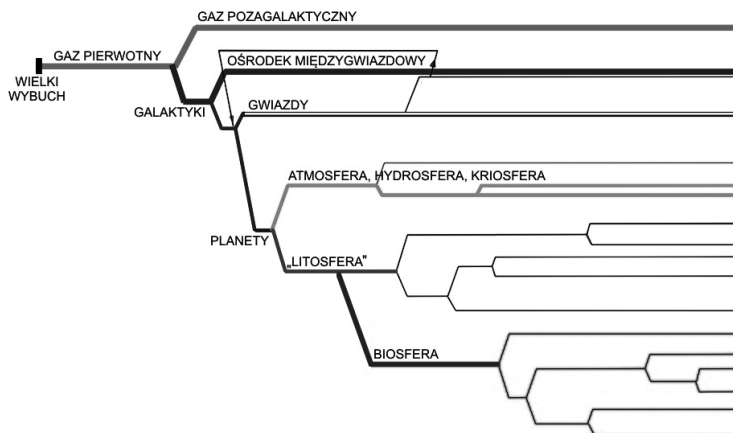
¹² Ł. Lamża, *W kierunku ilościowej teorii wzrostu złożoności świata*, „Semina Scientiarum” 2011, 10, s. 57–77.

Ze względu na hierarchiczny charakter katalogu możliwe było wybranie dowolnego poziomu szczegółowości; tu użyte zostały wszystkie te klasy, których numer identyfikacyjny posiada 5 cyfr, np.: „524.66 Ramiona spiralne galaktyk”, „539.42 Pęknięcia. Mechanika pęknięcia”, „547.56 Fenole. Alkohole aromatyczne”, „551.16 Jądro Ziemi”, „565.14 Pierścienice”, „576.32 Aktywność mechaniczna komórki” czy „591.41 Układ krążenia”; bardziej szczegółową listę uwzględnionych klas UDC oraz wgląd w jego hierarchiczną strukturę zawiera Aneks I.

Łatwo dostrzec, że choć kategorie przedmiotowe katalogu UDC opisują pierwotnie obszary tematyczne – działy nauki – a nie obiekty przyrodnicze, „przetłumaczenie” z jednego języka na drugi jest w przeważającej większości przypadków trywialne. Wymienione w UDC nazwy dziedzin wiedzy są zwykle po prostu nazwami klas obiektów badanych w ramach tych dziedzin.

2.2. Organizacja danych

Lista obiektów przyrodniczych (lub raczej klas obiektów przyrodniczych) uzyskana opisaną powyżej metodą, została następnie uporządkowana ze względu na kontekst przyrodniczo-historyczny, w ramach którego powstają owe obiekty. Szczęśliwie, ogólny schemat rozwoju Wszechświata od Wielkiego Wybuchu do chwili obecnej jest już znany (Ryc. 1), przez co procedura ta nie wymagała przeprowadzania badań własnych. Więcej informacji na temat źródeł wykorzystanych przy analizie zawiera Aneks II.



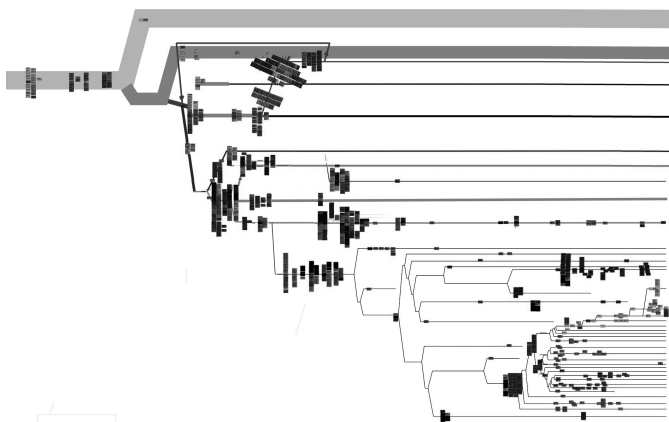
Ryc. 1. Ogólny schemat rozwoju Wszechświata od Wielkiego Wybuchu do chwili obecnej. Ze względu na ciągłość zachodzenia zasygnalizowanych tu przemian (np. ciągle powstawanie nowych gwiazd), należy go traktować jako ilustrację poglądową, a nie ścisły diagram chronologiczny.

Dla każdej klasy obiektów przyrodniczych można wskazać moment, kiedy pojawiły się po raz pierwszy, oraz towarzyszący temu pojawieniu się kontekst przyrodniczy. Przykładowo, pierwsze gwiazdy powstały ok. 100 milionów lat po Wielkim Wybuchu jako część formujących się protogalaktyk, zaś warunkiem ich powstania było osiągnięcie przez pierwotny gaz niezbędnych parametrów termodynamicznych (temperatura, przezroczystość, wydajność chłodzenia i in.). Pierwsze organiczne związki pierścieniowe powstały w otoczkach gwiazdowych gwiazd w ostatniej fazie ich ewolucji, a warunkiem ich powsta-

nia był wcześniejszy etap nukleosyntezy oraz osiągnięcie pewnej minimalnej gęstości gazu. Pierwsze kontynenty powstały ok. 4 miliardy lat temu jako część stygnącej litosfery ziemskiej, a warunkiem ich powstania było wykształcenie się pierwszych kwaśnych skał magmowych wypornych względem skorupy bazaltowej. I tak dalej.

Warto zauważyć, że scenariusze te wyraźnie się zazębiają, a powstanie jednych obiektów stanowi warunek powstania kolejnych. Jest to przy okazji prosty test sprawdzający, czy opisana w poprzednim rozdziale lista obiektów przyrodniczych nie jest „wybrakowana”, tj. czy obecne na niej obiekty nie domagają się istnienia innych obiektów na niej nieobecnych. Choć oczywiście nasza wiedza przyrodnicza daleka jest od zupełności, to jedyna wyraźna sytuacja tego typu ma miejsce przy opisie wcześniejszych stadiów Wielkiego Wybuchu, co odsyła nas oczywiście do („silnego”) pytania Leibniza – nie posiadamy obecnie uznanego wyjaśnienia, jak doszło do zaistnienia pierwszych w ogóle obiektów przyrodniczych we Wszechświecie.

Po oznaczeniu poszczególnych obiektów jako „pudełek” oraz umieszczeniu ich w odpowiednich miejscach Ryc. 1 (więcej informacji na temat wykorzystanych przy tej procedurze źródeł informacji znajduje się w Aneksie II), uzyskuje się schemat pozwalający na śledzenie historii wszystkich 893 obiektów przyrodniczych (Ryc. 2).



Ryc. 2. Schemat przedstawiony na Ryc. 1 po naniesieniu nań pudełek symbolizujących 893 obiekty przyrodnicze w punktach reprezentujących przybliżony czas i miejsce ich pojawienia się we Wszechświecie.

524.31 Simple stars. Stars according to luminosity / spectral type (red giants)	524.37 Planetary nebulae
539.17 Nuclear reactions. Fission. Fusion. {core He burning: 3α process: LBV, RSG, RG}	524.54 Emission nebulae
546.45 Beryllium Be $\alpha + \alpha \rightarrow 8\text{Be}$	533.17 Outflow [of gases]
546.26 Carbon C $8\text{Be}(\alpha, \gamma) 12\text{C}$	533.15 Diffusion and penetration of gases. Inflow
546.21 Oxygen O $12\text{C}(\alpha, \gamma) 16\text{O}$ (a little)	524.35 Supernovae and related objects. Peculiar stars (White dwarfs)
524.33 Variable stars {Asymptotic Giant Branch stars, Mira variables}	

Rys. 3. Przykładowy fragment ryc. 2 reprezentujący późne fazy ewolucji gwiazdowej gwiazd o masie podobnej do masy Słońca. Wyrażenia w nawiasach klamrowych {} to dodatkowe komentarze, niebędące częścią oryginalnych nazw klas UDC.

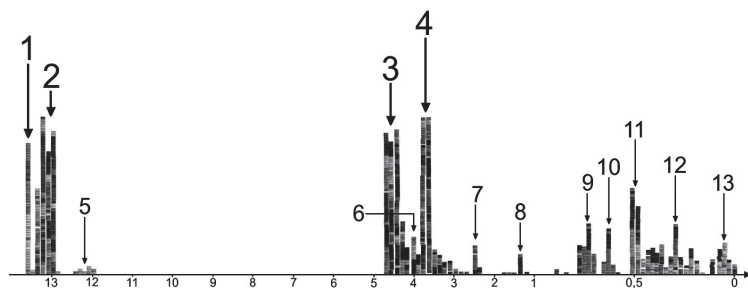
3. Wyniki analizy

3.1. Wprowadzenie

Szczegółowa analiza wniosków wypływających z Ryc. 2 wykracza poza ramy tego artykułu. Warto przytoczyć jednak szereg ogólnych obserwacji dotyczących procesu wzrostu złożoności świata, ponieważ wydają się one mieć uniwersalny charakter i zbliżają nas do istoty „słabego pytania Leibniza”.

Po pierwsze, wzrost złożoności dokonuje się w nierównym tempie, wręcz skokowo. Ze względu na to, że skala czasowa Ryc. 2 nie jest liniowa lub logarytmiczna, lecz umowna, nie jest to od razu widoczne. Po naniesieniu wszystkich „pudełek” na liniową skalę czasową (Ryc. 4) skokowy charakter wzrostu złożoności świata staje się jednak oczywisty.

Na ilustracjach z Ryc. 2 i Ryc. 4 widoczne są 4 główne „skoki” złożoności: a) seria przejść fazowych w młodym Wszechświecie razem z rekombinacją; b) powstanie pierwszych gwiazd (tzw. Populacja III); c) powstanie Układu Słonecznego oraz ostygnięcie powierzchni Ziemi; d) powstanie życia. Występują ponadto mniejsze „piki” i „górkę”, związane np. z powstaniem „dojrzałych” struktur galaktycznych takich jak ramiona spiralne czy poprzeczki, inicjacją tektoniki płyt na Ziemi, utlenieniem atmosfery ziemskiej, intensywnym epizodem ewolucji typów zwierzęcych (tzw. „eksplozją kambryjską”), inwazją roślin i zwierząt na ląd i in.



Ryc. 4. Pudełka reprezentujące omawiane w tekście obiekty przyrodnicze naniesione na liniową skalę czasową (skala: miliardy lat przed chwilą obecną) z opisanymi czterema największymi „pikami” wzrostu złożoności (1 – Wielki Wybuch, 2 – powstanie pierwszych gwiazd, 3 – powstanie Układu Słonecznego, 4 – powstanie życia) oraz dwięcioma dodatkowymi (5 – powstanie „dojrzałych” struktur galaktycznych, 6 – inicjacja tektoniki płyt, 7 – utlenienie atmosfery, pierwsze złodowacenia, 8 – powstanie organizmów wielokomórkowych, 9 – powstanie zwierząt, 10 – powstanie zwierząt tkankowych, 11 – „eksplozja kambryjska”, 12 – ekspansja życia na ląd (rośliny nasienne, stawonogi lądowe), 13 – ekspansja ssaków i ptaków). Ze względów ilustracyjnych ostatni miliard lat został „rozstrzelony” dla wyraźniejszego ukazania szczegółów procesu ewolucji życia na Ziemi.

Po drugie, wszelkie tego typu epizody wiążą się ze zmianami na wielu szczeblach organizacji świata: od skali atomowej i cząsteczkowej, przez makroskopową, aż po planetarną i kosmiczną. Najprostszego przykładu dostarczają późne fazy Wielkiego Wybuchu, gdzie zajście określonego przejścia mikroskopowego (np. rekombinacji lub powstania pierwszych wiązań chemicznych) wiązało się nieodmiennie z dramatyczną przemianą makroskopową (odpowiednio, zwiększeniem przezroczystości gazu kosmicznego oraz wydajności jego chłodzenia). Bardziej złożone układy dostarczają bardziej wyrafinowa-

nych przykładów na tego samego typu współzależność między poziomami organizacji świata przyrody. Przykładowo, utlenienie atmosfery Ziemi wiązało się również z pojawieniem się nowych gałęzi metabolizmu komórkowego i nowych grup biologicznych, ale także nowych minerałów i struktur geologicznych.

Po trzecie, żaden poziom organizacji świata nie jest „wyczerpany”. Mimo prawie 14 miliardów lat ewolucji Wszechświata wciąż istnieją możliwe struktury jądrowe, atomowe, chemiczne, suprachemiczne, biofizyczne, biologiczne, mineralogiczne, materiałowe, geologiczne, planetarne, astrofizyczne i kosmologiczne, które nie zostały jeszcze „zrealizowane”. Przykładowo, wiele dużych klas biopolimerów (np. chityna albo ligniny) powstało dopiero po wielu miliardach lat ewolucji biochemicznej na Ziemi w odpowiedzi na określone bodźce ewolucyjne. Wiele elementarnych obiektów i zjawisk fizycznych (np. nadprzewodnictwo albo dioda) wystąpiło po raz pierwszy we Wszechświecie dopiero, jak się wydaje, w ziemskich laboratoriach w odpowiedzi na określone bodźce socjologiczne i psychologiczne. Z tej perspektywy „klasyczna” wizja rozwoju Wszechświata, w ramach której kolejne poziomy organizacji świata „aktywują” się w określonym porządku (jądrowy, atomowy, chemiczny, biologiczny...), a „nowość ontologiczna” (*novelty*) zachodzi tylko w poziomie aktualnie najwyższym, jest niepełna i myląca. Nawet fizyka fundamentalna jest „otwarta” i nie da się wyłącznie z jej poziomu ocenić, które jej konsekwencje pozostaną tylko znaczkami na papierze, a które twardą rzeczywistością. O tym zadecydują czynniki technologiczne, socjologiczne czy ekonomiczne.

3.2. Słabe pytanie Leibniza – wstęp do odpowiedzi

W świetle omówionych wyżej rezultatów można pokusić się o kilka obserwacji na jeszcze bardziej ogólnym poziomie, nakierowanych już ściśle na próbę odpowiedzi na „słabe pytanie Leibniza”. A więc: dlaczego właściwie Wszechświat „nie poprzestał” na byciu jednorodnym zbiornikiem gazu?

Pierwszym, podstawowym warunkiem wydaje się być tkwiąca w samej materii *możliwość* tworzenia złożonych struktur na bazie cząstek elementarnych. W istocie nukleonów tkwi, że są w stanie – w odpowiednich warunkach – tworzyć jądra atomowe. W istocie atomów węgla i wodoru tkwi, że są w stanie – w odpowiednich warunkach – tworzyć węglowodory. Poszukiwanie odpowiedzi na to, jakie właściwie cechy cząstek elementarnych sprawiają, że posiadają one tego typu „potencjał twórczy”, jest znanym problemem filozoficznym, omawianym najczęściej w kontekście zasady antropicznej. Zagadnienie to stanowi jeden z dwóch filarów odpowiedzi na „słabe pytanie Leibniza”, jednak ze względu na jego szersze omówienie w literaturze¹³ nie będzie tu omówione szczegółowo.

Warto przy okazji zwrócić uwagę na fakt, że sama abstrakcyjnie rozważana fizyka cząstek elementarnych nie jest w stanie przewidzieć, czy obiekty opisywane przez nią *faktycznie*

¹³ J.D. Barrow, F.J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, dz. cyt.

powstaną, inaczej mówiąc, czy tkwiąca w nich potencjalność zostanie zaktualizowana. Temat ten został już pokrótce poruszony pod koniec poprzedniej sekcji. W tym momencie należy podkreślić, że z wąskiej perspektywy fizyki cząstek i pól elementarnych albo relatywistycznej kosmologii fizycznej (dwóch dziedzin fizyki uważanych obecnie za fundamentalne) hipotetyczny Wszechświat, w którym nie istnieje „prawie nic”, nie różni się od Wszechświata rzeczywistego (w którym istnieje „mnóstwo rzeczy”), dopóki obowiązują w nim te same prawa fizyki cząstek elementarnych i kosmologii. Elektron będący częścią pędzla Salvadora Dali nie różni się od samotnego elektronu unoszącego się w nieskończonej pustej przestrzeni, a jednak Wszechświat, w którym pojawił się Salvador Dali, jest Wszechświatem zupełnie innym od tego, w którym istnieje wyłącznie nieskończona pusta przestrzeń. Również sama ta przestrzeń, w takim zakresie, w jakim jest opisywana przez kosmologię fizyczną, jest dokładnie taka sama we Wszechświecie „bez Dalego” i Wszechświecie „z Dalim”. Pokazuje to dobitnie, że odpowiedzi na „słabe pytanie Leibniza” nie można spodziewać się ze strony „fundamentalnych” dziedzin fizyki.

Czy potencjał ukryty w cząstkach elementarnych zostanie zrealizowany, zależy więc od „odpowiednich warunków”. Fundamentalnym procesem stwórczym we Wszechświecie wydaje się być powtarzające się następstwo między:

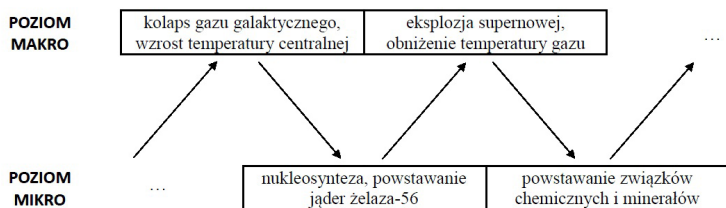
- I. powstawaniem nowych warunków fizycznych (które można wyrazić poprzez zestaw makroskopowych właści-

wości ośrodka – zwłaszcza trzech fundamentalnych parametrów termodynamicznych, czyli gęstości, ciśnienia i temperatury, ale też składu pierwiastkowego czy chemicznego);

II. powstawaniem w tych warunkach nowych obiektów mikroskopowych (czyli nowych kombinacji zastanych części elementarnych lub obiektów z nich złożonych).

Kluczowe jest tu *sprzężenie* między budową mikroskopową danego obiektu przyrodniczego a jego zachowaniem makroskopowym z jednej strony, oraz między parametrami makroskopowymi tego obiektu a równowagową konfiguracją mikroskopową z drugiej strony.

Drugi główny epizod wzrostu złożoności widoczny na Ryc. 4 polegał na powstaniu gwiazd, w których po raz pierwszy osiągnięte zostały temperatury umożliwiające zajście reakcji termojądrowych i powstanie jąder ciężkich pierwiastków – przyjrzyjmy się bliżej temu splotowi procesów (Ryc. 5). Ze względu na fakt, że kluczowy parametr jąder atomowych – energia wiązania na nukleon – posiada maksimum, a nie rośnie nieograniczenie, gwiazdy nie mogą tworzyć coraz to cięższych pierwiastków w nieskończoność. W momencie, gdy wytworzone zostaje jądro żelaza-56, gwiazda osiąga punkt krytyczny, po którym struktura jej ulega destabilizacji, a wytworzone pierwiastki ciężkie zostają gwałtownie wyrzucone do ośrodka międzygwiazdowego (wybuch supernowej). W tym momencie uaktywnieniu ulegają określone możliwości tkwiące w atomach, a związane z oddziaływaniami elektromagnetycznymi – atomy gazu łączą się w nowe obiekty chemiczne i mineralogiczne.



Ryc. 5. Ilustracja wzajemnego powiązania procesów prowadzących do powstawania nowych obiektów przyrodniczych w skali makroskopowej i mikroskopowej.

Aby nie sprawić wrażenia, że opisane prawidłowości dotyczą wyłącznie świata astrofizyki, warto przywołać przykład z zakresu biologii ewolucyjnej. Funkcjonuje w niej pojęcie kooptacji (dawna nazwa: preadaptacja), rozumianej jako „wykorzystanie” przez ewolucję pewnej zastanej cechy organizmu, która dopiero w nowych warunkach środowiskowych okazuje się znacząco zwiększać *fitness* tego organizmu i zostaje „podchwycona” i wzmocniona przez proces ewolucyjny. W ogólności obserwuje się, że po zmianie warunków środowiskowych organizmy żywe wykazują wzmoczone tempo ewolucji i kreatywności biologicznej, napędzanej w dużym stopniu przez wykorzystywanie „uśpionych” w nich możliwości.

Na Ryc. 4 widoczny jest jeden z takich „pików”, związany z inwazją organizmów wielokomórkowych na ląd; doskonale widoczna na tym przykładzie jest prawidłowość, że pewnego typu potencjał tkwiący w materii (tu: biologicznej) prowadzi do

eksplozji nowych form dopiero w zmienionych warunkach fizycznych. Obecne u zielenic chwytники okazały się przydatne jako załączki korzeni; stawy stawonogów dostarczyły im podporu mechanicznego niezbędnego dla kroczenia po lądzie itd. Istnieje też w biologii ewolucyjnej zjawisko odwrotne: niezmiennosc warunków środowiskowych prowadzi do zastoju, skąd biorą się tzw. „żywe skamieniałości”.

Problem wyrażony przez „słabe pytanie Leibniza” można więc teraz doprecyzować: dlaczego we Wszechświecie nieustannie zmieniają się warunki fizyczne? Po części odpowiedzi na to pytanie udziela obserwacja poczyniona w sekcji 3.1. – nowość w skali mikroskopowej w ogólności wywołuje jakąś zmianę w skali makroskopowej, czyli zmianę warunków. Ryc. 2 ilustruje cały szereg „przewrotów” tego typu, z których najbardziej spektakularna jest chyba „wielka katastrofa tlenowa”, czyli utlenienie ziemskiej atmosfery ok. 2,3 miliarda lat temu, które nastąpiło za sprawą ewolucji nowego szlaku metabolicznego u żyjących ówczesznie bakterii. Przykład ten pokazuje ponadto, że dzięki „promieniowaniu” zmiany na wszelkie skale przestrzenne, ilość nowo powstałych środowisk jest nieproporcjonalnie duża względem „rozmiaru” samej pierwotnej zmiany. Utlenienie atmosfery ziemskiej wywołało szereg pobocznych konsekwencji, m.in. intensywne powstawanie tzw. żelazistych formacji wstęgowych (ang. BIF), będących obecnie jednym z ważniejszych ekonomicznych źródeł żelaza, ale także – za pośrednictwem nowych zjawisk che-

micznych w atmosferze – wystąpienie pierwszego globalnego zlodowacenia (tzw. zlodowacenie hurońskie). Cofający się lodowiec generuje z kolei nowego typu twory geologiczne i hydrologiczne, otwierające nowe możliwości rozwoju dla organizmów żywych.

Podsumowując ten fragment analiz, jako jedno z głównych źródeł bogactwa struktury świata należy wymienić fakt, że właściwości makroskopowe wielu układów fizycznych są czułe na zmiany mikroskopowe i *vice versa* – do tego stopnia, że zmiana makroskopowa wywołana mikroskopową potrafi doprowadzić do tak silnej zmiany warunków, że wywołuje powstawanie nowych zmian mikroskopowych.

Występuje tu charakterystyczne zjawisko „inflacji ontologicznej”, w wyniku której kolejne zmiany przyrodnicze wywołują lawinowo powstawanie następnych zmian. Proces ten jest odpowiedzialny za „skoki” wzrostu złożoności widoczne na Ryc. 4. W okresach tego typu z całego morza możliwości chemicznych, biologicznych, materiałowych i strukturalnych oraz geologicznych zostają zrealizowane te, które mają szansę zaistnienia i przetrwania w chwilowo występujących warunkach. Wprowadza to do historii układu element chaosu i przypadkowości.

W pewnym momencie „pole możliwości” otwarte przez daną przemianę zostaje jednak wyczerpane i dalsze innowacje nie następują już tak intensywnie. Hipotetycznie, każdy tego typu moment mógłby stanowić początek dowolnej długości

okresu „zastoju”; obserwacje innych planet Układu Słonecznego i dużych satelitów pokazują, że los taki nie jest niczym nadzwyczajnym. Przykładowo, Mars po ok. 1,5 miliarda lat intensywnej ewolucji geologicznej, w trakcie której utworzone zostały wszystkie główne struktury wulkaniczne i tektoniczne (dychotomia skorupy, płaskowyż Tharsis, kanion Valles Marineris i in.), a także geomorfologiczne wynikił m.in. z aktywności hydrologicznej, wszedł w trwający do dziś tzw. okres amazoński, który nie cechuje się wyłanianiem się żadnych nowych typów zjawisk, lecz tylko odtwarzaniem tych zainicjowanych w przeszłości.

Istnieją jednak mechanizmy zdolne do przeciwdziałania tego typu „zastojom”. Kluczowe wydaje się być istnienie nieodwracalnych procesów działających w najwyższej skali czasowej oraz ich efektywne sprzężenie ze zjawiskami w krótszych skalach. W biologii ewolucyjnej mamy do czynienia np. z pełniącym taką funkcję dryfem genetycznym albo, rozumianą już szerszej, akumulacją mutacji. W skali globu procesem takim jest stygnięcie całej planety, co w skali miliardów lat moderuje ewolucję jądra oraz wielkoskalowe ruchy płaszcza Ziemi, a tym samym globalne procesy tektoniczne. W skali gwiazdowej występuje powolne gromadzenie się „popiołów” reakcji termojądrowych, prowadzących do bardzo powolnego przesuwania się strefy nukleosyntezy z dala od geometrycznego środka gwiazdy. W skali galaktycznej następuje ciągle wzbogacanie gazu galaktycznego o pierwiastki ciężkie oraz zamiana tego gazu na gwiazdy i ostatecznie ich wygasłe pozo-

stałości typu białych karłów i gwiazd neutronowych. W skali największej mamy zaś do czynienia z fundamentalną sytuacją nierównowagową, ponieważ Wszechświat się rozszerza. Tego typu wielkoskalowe „pełnienie” stanowi wiecznie zmieniający się kontekst, dzięki któremu nie następuje lokalne ustalenie się warunków fizycznych.

4. Słabe pytanie Leibniza – próba odpowiedzi

W poprzedniej sekcji omówionych zostało kilka podstawowych obserwacji wynikających z analizy wzrostu złożoności Wszechświata. W skrócie, zostało tam pokazane, że:

W materii w skali mikroskopowej istnieje *potencjalnie* zawarta zdolność do tworzenia wielkiego bogactwa obiektów zorganizowanych za sprawą oddziaływań jądrowych oraz oddziaływania elektromagnetycznego, z mniejszym udziałem grawitacji.

Rzeczywiste *zaistnienie* tych obiektów zależne jest jednak od wystąpienia sprzyjających warunków fizycznych.

Pierwsza faza przemian prowadzących do „uruchomienia” tego potencjału związana była z działaniem siły grawitacji na pierwotny gaz kosmiczny i doprowadziła do powstania pierwszych galaktyk i gwiazd. Również i dziś kontrolowane przez grawitację (oraz, w pewnym stopniu, galaktyczne pola magnetyczne) przemiany zachodzące w skali astrofizycznej stanowią główną przyczynę zachodzenia przemian w skalach mniejszych,

a podstawową jednostką „kreatywności kosmicznej” wydaje się być układ planetarny¹⁴.

Każda przemiana na dowolnym szczeblu organizacji materii prowadzi w ogólności do wystąpienia zmian na wszystkich szczeblach organizacji materii w danym układzie. (Faktyczny wpływ tej zmiany na organizację materii w poszczególnych skalach przestrzennych zależy już od szczegółowej konfiguracji układu i stanowi osobny temat domagający się szerszej analizy). Różne tempo zjawisk zachodzących w różnych skalach prowadzi jednak do rozłożenia tych zmian w czasie.

Tego typu współzależność procesów prowadzi do „inflacji ontologicznej” – „kaskadowego” powstawania kolejnych obiektów, ponieważ każda kolejna przemiana ponownie promieniuje na cały układ we wszystkich skalach przestrzennych, znów zmieniając panujące w tym układzie warunki fizyczne. Tego typu „kaskady”, następujące relatywnie szybko w skali ewolucji całego układu, odpowiedzialne są za przeważającą większość zachodzącego we Wszechświecie wzrostu złożoności. Nowe obiekty powstające „samotnie”, a nie w kontekście „rewolucji” opisanego typu, są w mniejszości.

W trakcie zachodzenia tego typu „kaskady” chwilowe warunki panujące w układzie zostają „wzmocnione” i silnie determinują jego późniejszą ewolucję. Zjawisko to można określić jako „zamrożenie przypadku”. Jest to jakościowy efekt, któ-

¹⁴ Zob. Ł. Lamża, *Six phases of cosmic history*, „HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry” 2014, 20.1.

remu w teorii układów dynamicznych odpowiada „czułość na warunki brzegowe”, zjawisko dające się w ramach tej teorii wyrazić ilościowo. Co ciekawe, wczesne stadium rozwoju układów planetarnych, czyli „okres embrionalny” wyróżnionych wyżej „atomów” kosmicznej kreatywności, to niezwykle efektywny proces „losujący”, który kieruje miliardy powstających nieustannie układów planetarnych na osobne ścieżki rozwojowe, w których dochodzi do powstawania wielu obiektów przyrodniczych o bardzo zróżnicowanym charakterze. Na omówienie tego fascynującego procesu brakuje tu niestety miejsca, choć wydaje się, że ewolucja młodych układów planetarnych to jeden z kluczowych elementów zagadki „słabego pytania Leibniza”.

Na każdym etapie opisanego wyżej procesu istotne są ilościowe proporcje między działającymi w układzie siłami – jest to fakt wiążący opisane tu prawidłowości ze znanym zagadnieniem „precyzyjnego dostrojenia” (*fine-tuning*). Obok obficie komentowanych w literaturze efektów dotyczących fizyki fundamentalnej, występują również podobne efekty w późniejszych fazach ewolucji Kosmosu. Przykładowo, słabsze oddziaływanie neutrin z materią mogłoby powstrzymać ciężkie pierwiastki wytworzone w gwiazdach przed zmieszaniem się z ośrodkiem międzygwiazdowym; silniejszy lub słabszy wpływ pól magnetycznych na materię mógłby uniemożliwić powstawanie układów planetarnych; słabsza pole grawitacyjne mogłoby zapobiec chemicznemu różnicowaniu się planet itd.

5. Podsumowanie i perspektywy

Opisane wyżej analizy miały na celu podjęcie próby odpowiedzi na „słabe pytanie Leibniza” w kontekście współczesnej wiedzy przyrodniczej. Wydaje się, że zarysowany wyżej zakres problemowy może pełnić funkcję pośredniczącą między naukami przyrodniczymi a filozofią przyrody i metafizyką.

Istnieją oczywiste ograniczenia tego programu badawczego. Wykorzystane jako punkt wyjścia 893 obiekty przyrodnicze nie są listą „ostateczną”, ani tym bardziej wyczerpującą lub w jakimkolwiek sensie „zbalansowaną” – katalogowanie książek nie ma przecież pierwotnie na celu rozjaśnienia struktury rzeczywistości! Posłużenie się katalogiem bibliotecznym miało na celu raczej zapewnienie minimum gwarancji, że omawiane zagadnienia nie są wyłącznie odzwierciedleniem chwilowych zainteresowań autora, oraz dostarczenie praktycznego punktu wyjścia dla rozważania Wszechświata jako takiego w całym jego bogactwie.

Kryje się za tym głębsze przekonanie metodologiczne: wydaje się bowiem, że możliwości wynikające z koncentrowania się wyłącznie na „fizyce fundamentalnej” są ograniczone, już choćby przez fakt, że jest to – niejako z definicji – najsłabiej ustalona i najbardziej spekulatywna gałąź nauki. Ponadto (co zostało już zarysowane wyżej w sekcji 1.1.) wszelkie próby przejścia między najskromniejszą dającą się sensownie wyrazić „próżnią” a stanem przypominającym pierwsze stadia Wielkiego Wybuchu nie są sensie ścisłym odpowiedzią na pytanie

Leibniza, ponieważ rozpoczynają od niezerowej sytuacji ontologicznej. Przejście między stanem próżniowym pola kwantowego a stanem, w którym występują cząstki, nie różni się znacząco pod względem metafizycznym od przejścia między stanem „bezgwiazdowym” gazu kosmicznego a stanem, w którym występują gwiazdy; albo stanem „bezzwierzęcym” biosfery a stanem, w którym występują zwierzęta. To po prostu kolejne kroki prowadzące od prostszego (choć wciąż przecież niezerowego) stanu Wszechświata do bardziej złożonego.

Wydaje się więc, że jeśli faktycznie chce się podjąć próbę naukowej odpowiedzi na pytanie Leibniza, to nie ma żadnego dobrego powodu, aby koncentrować się w tym wyjaśnieniu na powstaniu tylko kilku „najwcześniejszych” obiektów we Wszechświecie – zwłaszcza, że nawet hipotetyczne całkowite wyjaśnienie ich powstania wciąż może pozostawić nas ze scenariuszem, w którym we Wszechświecie nie ma (prawie) nic! Dopóki odpowiedzi na pytanie Leibniza nie są faktycznie wyjaśnieniem przejścia od „niczego” do „czegoś” (czego trudno się raczej spodziewać), tylko od sytuacji ontologicznie prostszej do bardziej złożonej, to wydaje się, że metoda opisana w tym artykule może uzupełniać dotychczasowe badania filozoficzne o bardziej szczegółowy kontekst przyrodniczy, pozostając jednak w duchu oryginalnego pytania Leibniza.

Bibliografia

- Barrow J.D., *The Book of Nothing*, Vintage Books, London 2001.
- Barrow J.D., Tipler F.J., *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oxford–New York 1986.
- Hartle J.B., *Grawitacja*, tłum. P. Amsterdamski, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2010.
- Heller M., *Ostateczne wyjaśnienia Wszechświata*, Universitas, Kraków 2008.
- Kraśkiewicz J., *Elementy klasycznej i kwantowej teorii pola*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2003.
- Kuhn R.L., *Why this universe? Toward a taxonomy of possible explanations*, „Skeptic” 2007, 13, s. 28–39.
- Lamża Ł., *W kierunku ilościowej teorii wzrostu złożoności świata*, „Semina Scientiarum” 2011, 10, s. 57–77.
- Lamża Ł., *Six phases of cosmic history*, „HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry” 2014, 20.1.
- McCabe G., *Possible physical universes*, 2006, preprint arXiv nr gr-qc/0601073.
- Tryon E.P., *Is the Universe a Vacuum Fluctuation?* „Nature” 1973, 246 (5433), s. 396–397.

Aneks I. Lista analizowanych w pracy głównych klas UDC (poziom II) oraz przykładowych klasszczegółowych (poziom V):

52 Astronomia. Astrofizyka. Badania kosmiczne. Geodezja

- 521.16 Oddziaływania pływowe i inne siły dyssypacyjne; 523.62 Ośrodek międzyplanetarny; 523.98 Aktywność Słońca; 524.66 Ramiona spiralne galaktyk

53 Fizyka

532.13 Tarcie wewnętrzne. Lepkość; 532.61 Napięcie powierzchniowe. Siły międzyfazowe; 532.78 Krystalizacja z roztworu; 533.98 Plazmoidy; 534.24 Refrakcja fal; 535.34 Absorpcja. Spektra absorpcyjne; 536.21 Przewodnictwo w ciałach stałych; 537.52 Wyładowania elektryczne; 537.67 Magnetyzm ziemski; 539.16 Radioaktywność. Jądra nietrwałe; 539.42 Pęknięcia. Mechanika spękań

54 Chemia. Krystalografia. Mineralogia

544.14 Wiązania chemiczne; 544.25 Ciekłe kryształy; 544.47 Kataliza. Reakcje katalityczne; 546.22 Siarka; 546.29 Gazy szlachetne; 547.22 Halogenopochodne węglowodorów nasyconych; 547.48 Aldehydokwasy. Ketonokwasy; 547.96 Białka; 548.24 Zrosty kryształów: bliźniaki, zrosty wielokrotne; 548.51 Zarodkowanie. Pierwsze fazy wzrostu. Zarodki; 549.61 Krzemiany zasadowe; 549.74 Węglany i minerały pochodne

55 Nauki o Ziemi. Geologia i nauki pokrewne

551.22 Formy intruzyjnych i wylewnych struktur wulkanicznych; 551.25 Petrotektonika (Metamorfizm, Łupkowatość i in.); 551.33 Glacjogeologia; 551.44 Speleologia. Jaskinie. Szczeliny. Wody podziemne; 552.14 Diagenеза. Powstawanie skał osadowych; 552.48 Eklogity. Amfibole; 553.31 Rudy żelaza; 553.94 Węgiel kamienny; 556.56 Bagna

57 Nauki biologiczne

575.18 Płeć. Genetyczne podstawy płci; 576.32 Mechaniczna aktywność komórek; 577.17 Hormony; 578.32 Architektura

wirusów; 579.25 Genetyka organizmów prokariotycznych;
579.87 Aktynobakterie i organizmy pokrewne

58 Botanika

581.12 Katabolizm. Oddychanie; 571.34 Plemn timer. Lęgnie. Rodnie; 581.46 Kwiaty; 581.82 Typy tkanek roślinnych; 582.43 Sagowce; 582.62 Oczarowate

59 Zoologia

591.18 Funkcje układu nerwowego; 591.34 Metamorfoza. Stadium larwalne; 591.44 Układ limfatyczny kręgowców; 591.57 Obrona. Atak; 591.11 Korzenionózki; 594.51 Wieloszczety; 593.33 Mażoraczki; 595.76 Chrząszcze; 598.14 Krokodyle; 599.8 Ssaki naczelne

Aneks II. Lista niektórych ważniejszych źródeł przydatnych przy ustalaniu chronologii i „kontekstu” omawianych w pracy obiektów przyrodniczych:

Wielki Wybuch i ewolucja Kosmosu do powstania pierwszych gwiazd:

Kibble T.W.B., *Phase transitions in the early universe*, „Acta Physica Polonica B”, **13** (10-11): 723.

Liddle A., *An Introduction to Modern Cosmology*, Wiley-VCH 2003.

Maoli R., Melchiorri F., Tosti D., *Molecules in the postrecombination universe and microwave background anisotropies*, „Astrophysical Journal Part 1” 1994, 425, 2, s. 372–381.

Simcoe R.A., Sullivan P.W., Cooksey K.L., Kao M.M., Matejek M.S., Burgasser A.J., *Extremely metal-poor gas at a redshift of 7*, „Nature” 2012, 492, s. 79–82.

Vonlanthen P., Rauscher T., Winteler C., Puy D., Signore M., Dubrovich V., *Chemistry of heavy elements in the Dark Ages*, „Astronomy and Astrophysics” 2009, 503 (1), s. 47–59.

Zjawiska fizyczne i chemiczne występujące w gwiazdach:

Burgess D., *Solar wind and interstellar medium coupling*, [w:] *Solar and Heliospheric Plasma Physics*, Springer, Berlin–Heidelberg 1997, s. 117–138.

Gaur V.P., Tripathi B.M., Joshi G.C., Pande M.C., *Molecules in white dwarfs*, „Astrophysics and Space Science” 1988, 147, 1, s. 107–113.

Herwig F., *Evolution of asymptotic giant branch stars*, „Annual Review for Astronomy and Astrophysics” 2005, 43, s. 435–479.

Sinha K., *Molecules in the Sun*, „Proceedings of the Astronomical Society of Australia” 1991, 9, 1, s. 32–36.

Nukleosynteza gwiazdowa i ewolucja materii w późnych fazach ewolucji gwiazd:

Botvina A.S., Mishustin I. N., *Statistical approach for supernova matter*, „Nuclear Physics A” 2010, 843(1), s. 98–132.

De Avillez M.A., Mac Low M.M., *Mixing timescales in a supernova-driven interstellar medium*, „The Astrophysical Journal” 2008, 581(2), s. 1047.

Lattimer J.M., Schramm D.N., Grossman L., *Condensation in supernova ejecta and isotopic anomalies in meteorites*, „The Astrophysical Journal” 1978, 219, s. 230–249.

Zjawiska fizyczne i chemiczne występujące ośrodku międzygwiazdowym i młodych układach planetarnych:

- Bakes E. L. O., Tielens A.G.G.M., *The photoelectric heating mechanism for very small graphitic grains and polycyclic aromatic hydrocarbons*, „The Astrophysical Journal” 1994, 427, s. 822–838.
- Cody G.D., Heying E., Alexander C.M.O., Nittler L.R., Kilcoyne A.L.D., Sandford S.A., Stroud R.M., *Establishing a molecular relationship between chondritic and cometary organic solids*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” 2011, 108, 48, s. 19171–19176.
- Davis A.M., Richter F.M., *Condensation and Evaporation of Solar System Materials*, [w:] (red.) A.M. Davis, *Treatise on Geochemistry*, t. 1: *Meteorites, Comets, and Planets*, Elsevier, Amsterdam–Oxford–Waldham, MA 2003, s. 406–430.
- Dyson J.E., Williams D.A., *The Physics of the Interstellar Medium*, Taylor & Francis, Oxford 1997.
- Herbst E., *The chemistry of interstellar space*, „Chemical Society Reviews” 2011, 30, s. 168–176.
- Jones A.P., *Dust destruction processes*, „Astrophysics of Dust. ASP Conference Series” 2004, 309, s. 347–367.
- Martins Z., Watson J.S., Sephton M.A., Botta O., Ehrenfreund P., Gilmour I., *Free dicarboxylic and aromatic acids in the carbonaceous chondrites Murchison and Orgueil*, „Meteoritics & Planetary Science” 2006, 41, 7, s. 1073–1080.
- Pagel A.M., *Astrochemistry*, John Wiley & Sons, Chichester 2006.
- Palme H., Jones A., *Solar System Abundances of the Elements*, [w:] (red.) A.M. Davis, *Treatise on Geochemistry*, t. 1: *Meteorites, Comets, and Planets*, Elsevier, Amsterdam–Oxford–Waldham, MA 2003, s. 41–61.

Pilling S., Andrade D.P.P., da Silveira E.F., Rothard H., Domaracka A., Boduch P., *Formation of unsaturated hydrocarbons by cosmic ray analogs in interstellar ices*, [w:] The Molecular Universe, Posters from the proceedings of the 280th Symposium of the International Astronomical Union held in Toledo, Spain, May 30-June 3, 2011, #302.

Shaw A.M., *Astrochemistry: From Astronomy to Astrobiology*, John Wiley & Sons, Chichester 2006.

Tielens A.G.G.M., *The Physics and Chemistry of Interstellar Medium*, Cambridge University Press, Cambridge 2010.

Trieloff M., Palme H., *The origin of solids in the early Solar System*, [w:] (red.) H. Klahr, W. Brandner, *Planet Formation*, Cambridge University Press, Cambridge 2006, s. 64–89.

Ewolucja orbitalna, chemiczna i geologiczna Układu Słonecznego:

Cole G. H., Woolfson M.M., *Planetary Science: The Science of Planets around Stars*, IoP Publishing, Bristol–Philadelphia 2002.

Doyle L.R., Carter J.A., Fabrycky D.C., Slawson R.W., Howell S.B., Winn J. ., ..., Fischer D., *Kepler-16: a transiting circumbinary planet*, „Science” 2001, 333(6049), s. 1602–1606.

Geissler P.E., *Volcanic activity on Io during the Galileo era*, „Annu. Rev. Earth Planet. Sci. ” 2003, 31, s. 175–211.

Gribble G.W., *The natural production of chlorinated compounds*, „Environmental Science & Technology” 1994, 28, 7, s. 310A–379A.

Hazen R.M., Papineau D., Bleeker W., Downs R.T., Ferry J.M., McCoy T.J., Sverjensky D.A., Yang H., *Mineral evolution*, „American Mineralogist” 2008, 93, s. 1693–1720.

- Howard A.W., Marcy G.W., Johnson J.A., Fischer D.A., Wright J.T., Isaacson H., ..., Ida S., *The occurrence and mass distribution of close-in super-Earths, Neptunes, and Jupiters*, „Science” 2010, 330, 6004, s. 653–655.
- Marcy G., Fischer D.A., Butler R.P., Vogt S.S., *Properties of exoplanets: a Doppler study of 1330 stars*, [w:] (red.) H. Klahr, W. Brandner, *Planet Formation*, Cambridge University Press, Cambridge 2006, s. 179–191.
- Melosh H.J., *Planetary Surface Processes*, Cambridge University Press, Cambridge–New York 2011.
- Raulin F., *Titan’s Organic Chemistry and Exobiology*, [w:] (red.) A. Wilson, Huygens: Science, Payload and Mission, Proceedings of an ESA conference, 1997, s. 219.
- Remusat L., Derenne S., Robert F., Knicker H., *New pyrolytic and spectroscopic data on Orgueil and Murchison insoluble organic matter: A different origin than soluble?*, „Geochimica et Cosmochimica Acta” 2005, 69, 15, s. 3919–3932.
- Taylor S.R., McLennan S., *Planetary Crusts*, Cambridge University Press, Cambridge 2008.
- Watters T.R., Schultz R.A., *Planetary Tectonics*, Cambridge University Press, Cambridge 2012.
- Whittet D.C.B. (red.), *Planetary and Interstellar Processes Relevant to the Origins of Life*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1997.
- Williams Q., *Water, the Solid Earth, and the Atmosphere: The Genesis and Effects of a Wet Surface on a Mostly Dry Planet*, [w:] (red.) D. Stevenson, *Treatise on Geophysics*, t. 9, *Evolution of the Earth*, Elsevier, Amsterdam 2007, s. 121–144.

Zhang X., Liang M.C., Mills F.P., Belyaev D.A., Yung Y.L., *Sulfur chemistry in the middle atmosphere of Venus*, „Icarus” 2012, 217(2), s. 714–739.

Abiogeneza i ewolucja organizmów jednokomórkowych:

Cavalier-Smith T., *Cell evolution and Earth history: stasis and revolution*, „Phil. Trans. R. Soc.” B 361, s. 969–1006.

Cavalier-Smith T., *Rooting the tree of life by transition analyses*, „Biology Direct” 2006, 1, s. 19.

Donova M.V., *Transformation of steroids by actinobacteria: A review*, „Applied Biochemistry and Microbiology” 2007, 43, 1, s. 1–14.

Gesteland R.F., Cech Th.R., Atkins J.F. (red.), *The Rna World*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York 1999.

Wacey D., Kilburn M.R., Saunders M., Cliff J., Brasier M.D., *Microfossils of sulphur-metabolizing cells in 3.4-billion-year-old rocks of Western Australia*, „Nature Geoscience” 2011, 4(10), s. 698–702.

Ewolucja organizmów wielokomórkowych:

Delevoryas T., *Ewolucyjne różnicowanie się roślin*, PWN, Warszawa 1972.

Dzik J., *Dzieje życia na Ziemi*, PWN, Warszawa 2011.

Jura Cz., *Bezkregowce*. PWN, Warszawa 2005.

Valentine J.W., *On the Origin of Phyla*, University of Chicago Press, Chicago 2004.