

Podane tutaj rozróżnienia i przykłady inspirowane są blogiem Sabine Hossenfelder *Backreaction*, gdzie władający językiem angielskim Czytelnik znajdzie m.in. znacznie obszerniejszą dyskusję tego i pokrewnych tematów.

Modele, modelki, modeliki

Zdarza się, niestety, że odznaczające się lenistwem intelektualnym osoby, niekiedy nawet w randze podsekretarza stanu, potrafią piękną koncepcję naukową, na przykład ewolucję biologiczną, zbyć lekceważącym „to tylko teoria”. Nie od rzeczy będzie zatem przypomnieć, co przyrodnik ma na myśli, kiedy używa słów takich jak „teoria” i „model”.

Można powiedzieć, że zadaniem nauk przyrodniczych jest budowanie modeli dla obiektów lub układów obiektów występujących w rzeczywistości. Modele te pozwalają zrozumieć – i przewidzieć! – zmiany zachodzące w rzeczywistości. Jest to możliwe dzięki istnieniu teorii, czyli zbioru ogólnych reguł określających zachowanie elementów modelu oraz wiążących te elementy z obiektami występującymi w rzeczywistości.

Sztandarowym przykładem modelu fizycznego jest Model Standardowy cząstek elementarnych. Określenie tego modelu polega na podaniu listy cząstek wraz z ich własnościami takimi jak spin, ładunki oraz – jeśli ładunki kilku cząstek pozwalają na oddziaływanie między nimi – „siły” tego oddziaływania. Resztą, czyli na przykład tym, jaki jest rozkład kątowy fotonów rozpraszanych na elektronach, czy mechanizmem wiążącym kwarki w bariony i mezony, zajmuje się lub zajmować się powinna odpowiednia teoria – w tym przypadku jest to kwantowa teoria pola. Teoria ta mogłaby także określać zachowanie jakiegoś zupełnie innego modelu, model taki nie miałby jednak wiele wspólnego z rzeczywistością. Innym przykładem modelu jest standardowy model kosmologiczny, zadany przez podanie czasoprzestrzeni o określonej, choć nieco naruszonej symetrii i listy składników czasoprzestrzeni tę wypełniających. Ewolucją takiego modelu zajmuje się teoria – tutaj ogólna teoria względności wspomaganą gdzieś tam przez kwantową teorię pola.

Uczone przykłady można by mnożyć. Nauka ma jednak to do siebie, że czasem rozsada ramy, w których filozofujący naukowcy chcieliby ją zamknąć. Klasycznym – i wciąż aktualnym – przykładem są losy pomysłu nazwanego *zasadą antropiczną* oraz późniejszych inspirowanych nią idei. W *Delcie* już ponad trzydzieści lat temu przedstawiliśmy Czytelnikom artykuł objaśniający zasadę antropiczną, pozostaje więc, zwłaszcza ku zbudowaniu Czytelników od artykułu tego młodszego, przypomnieć nieco skróconą wersję, opatrując ją refleksjami „późnego wnuka” autora.

K.T.

Zasada antropiczna

lub o tym, co zdaniem niektórych wynika z faktu istnienia życia na Ziemi oraz o braku dowodów na istnienie życia na Marsie i innych ciekawostkach przyrodniczych

Roman JUSZKIEWICZ

Delta 5/1983

Historia pewnego pomysłu. Pół wieku temu Robert Dicke z Uniwersytetu w Princeton, zastanawiając się nad pytaniem, dlaczego Wszechświat jest taki stary, doszedł do dość nieoczekiwane wniosku (nazwanego później *zasadą antropiczną*), że jest tak dlatego, ponieważ... my istniejemy! Rzeczywiście, pierwiastki ciężkie produkowane są we wnętrzach gwiazd, które po upływie czasu rzędu kilku miliardów lat (a więc porównywalnego z wiekiem Wszechświata) eksplodują jako supernowe, rozsiewając wkoło tlen, azot i węgiel. Zatem, gdyby wiek Wszechświata był znacznie mniejszy – nie byłoby pierwiastków ciężkich, bez których powstanie życia byłoby niemożliwe. Gdyby natomiast Wszechświat był znacznie starszy, cała materia zostałaby zamieniona w bezużyteczny żużel i trudno byłoby wykrzesać życie z kosmicznego śmietnika, zawierającego jedynie gwiazdy neutronowe, białe karły i czarne dziury.

Dicke zauważył również, że w podobny sposób można „wytłumaczyć” płaskość (lub inaczej: stosunek efektywnej energii potencjalnej do energii kinetycznej ekspansji równy jedności) oraz izotropię i jednorodność Wszechświata. Okazuje się przy tym, że gdyby po pierwszej sekundzie życia Wszechświata energia kinetyczna była zaledwie o jedną milionową większa od potencjalnej, to później energia kinetyczna ekspansji zdominowałaby energię potencjalną tak dalece, iż uniemożliwiłoby to powstanie galaktyk, ponieważ całkowita energia obłoków będących „zarodkami” galaktyk byłaby dodatnia. W takim modelu również gwiazdy nigdy nie mogłyby powstać i nie zostałyby wytworzone pierwiastki ciężkie, bez których nie jesteśmy w stanie wyobrazić sobie życia.

Gdyby natomiast po owej pierwszej sekundzie stosunek energii potencjalnej i kinetycznej był większy od 1 zaledwie o jedną milionową, to Wszechświat zacząłby się kurczyć już po upływie 100 tysięcy lat od wielkiego wybuchu. Ekspansja zostałaby zatrzymana przy temperaturze rzędu 10^4 K, po czym rozpocząłby się etap kurczenia

Zasadę antropiczną można również zastosować do stałej kosmologicznej, by „wytłumaczyć”, dlaczego jej wartość jest o ponad 120 rzędów wielkości niższa od sugerowanej przez kwantową teorię pola. Rozumowanie takie przedstawił w 1987 roku Steven Weinberg, argumentując, że gdyby wartość stałej kosmologicznej była większa, przyspieszone rozszerzanie się Wszechświata nastąpiłoby wcześniej i uniemożliwiłoby skupianie się materii w galaktyki i gwiazdy. Daje to ograniczenie na stałą kosmologiczną „tylko” o 3 rzędy wielkości większe od wartości wyznaczonej z obserwacji. Wydaje się, że posłużenie się zasadą antropiczną przez laureata Nagrody Nobla z fizyki skłoniło wielu badaczy do prowadzenia tego typu rozważań. (K.T.)

Coś się zmieniło, kiedy odkryto zasadę antropiczną. Okazało się mianowicie, że aby we Wszechświecie mogły zaistnieć twory mające cechy ludzkie, a więc istoty inteligentne, mające pasję badawczą i do tego materialne (nie jacyś aniołowie!), muszą być spełnione określone warunki. W miarę postępu badań przekonano się, że są to bardzo ściśle warunki określające wszystkie prawa fizyki, a nawet stałe fizyczne. Dalo się to sformułować w paradoksalnej wypowiedzi, że dokładną wartość stałej grawitacji można wyprowadzić z faktu, iż ją znamy. Stało się wtedy jasne, że istnienie człowieka z jego psychicznym zamilowaniem do badania rzeczywistości ma jakiś (nadający się do różnej interpretacji) związek z tej rzeczywistości istnieniem.

K. Rudnicki, *Po co puźoniście znać paradoks Olbersa?*, Delta 8/1995

To właśnie Carter jako pierwszy zaproponował nazwę *zasada antropiczna*. Miało to miejsce w 1973 roku w Krakowie podczas sympozjum z okazji pięćsetnej rocznicy urodzin Kopernika. (K. T.)

Jest wielu specjalistów od kosmologii, którzy już teraz na poważnie traktują tego typu analizę. W 1986 roku ukazała się poważna monografia astronoma Johna Barrowa i fizyka Franka Tiplera pt. Antropiczna Zasada Kosmologiczna. Sformulowana jest w niej tak zwana silna i tak zwana słaba zasada antropiczna. W formie silnej twierdzi ona: Wszechświat musi mieć takie właściwości, aby na pewnym stopniu rozwoju mogło powstać życie. Oto do jakich wniosków może doprowadzić dziwienie się własnemu istnieniu. Ale nie koniec na tym. Jeżeli powiążemy tę zasadę z wnioskami dotyczącymi pomiarów w mechanice kwantowej, to możemy dojść do następującej konkluzji: Na początku było tylko prawdopodobieństwo zaobserwowania. Wszechświat mógł więc powstać tylko wtedy, gdy znalazł się ktoś, kto go obserwuje. I to nieważne, że obserwator pojawił się szereg miliardów lat później. Wszechświat istnieje, ponieważ jesteśmy.

T. Hofmkl, *Wbrew zdrowemu rozsądkowi*, Delta 10/1994

Z uwagi na skończony wiek Wszechświata możemy obserwować tylko jego skończoną część. Jeżeli zaś przestrzeń jest nieskończona, poza granicami naszych obserwacji mogą istnieć inne wszechświaty z – być może – innymi prawami fizyki. Uzasadnia to do pewnego stopnia posługiwanie się pojęciem zespołu statystycznego różnych wszechświatów. (K. T.)

i ponownego wzrostu temperatury. W takim Wszechświecie byłoby nam zdecydowanie za gorąco, a poza tym również nie mogłyby w nim powstać gwiazdy i pierwiastki ciężkie.

Wszechświat silnie niejednorodny i anizotropowy byłby również nieprzyjazny życiu: w okolicy roiliby się od czarnych dziur o wielkich masach, fal uderzeniowych i strumieni twardego promieniowania gamma.

Problem wyboru warunków początkowych zbliżony jest do problemu wyboru odpowiednich wartości dla stałych fizycznych. W obu przypadkach znane obecnie prawa fizyki nie dostarczają kryteriów wyboru. Nie wiadomo na przykład, dlaczego stała struktury subtelnej $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}$ (gdzie e oznacza ładunek elektronu, a \hbar stałą Plancka), określająca siłę oddziaływań elektromagnetycznych, jest rzędu 10^{-2} . Oddziaływania grawitacyjne opisać można za pomocą analogicznej „stałej sprzężenia” $\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c}$ (gdzie m_p oznacza masę protonu, a G stałą grawitacyjną) równej 10^{-38} . Oddziaływania grawitacyjne są znacznie słabsze od elektromagnetycznych: stosunek siły kulombowskiej do siły grawitacji działającej między dwoma protonami wynosi $\frac{\alpha}{\alpha_G} \sim 10^{36}$. Czy można to „wyjaśnić”, posługując się zasadą antropiczną? Okazuje się, że odpowiedź na to pytanie jest twierdząca. Wykazał to na początku lat siedemdziesiątych XX wieku Brandon Carter z Uniwersytetu w Cambridge (Wielka Brytania). Otóż nasze Słońce zajmuje na diagramie Hertzsprunga–Russella położenie między błękitnymi olbrzymami (które żyją krócej) a czerwonymi karłami (żyjącymi dłużej). Jedynie gwiazdy typu Słońca spełniają jednocześnie dwa warunki, które wydają nam się niezbędne do tego, aby w ich otoczeniu mogło rozwinąć się życie: mają tempo ewolucji bardziej powolne od tempa ewolucji biologicznej (przynajmniej nam znanej) i świecą dostatecznie jasno, aby planeta znajdująca się na stabilnej (a więc dostatecznie odległej) orbicie mogła być ogrzana na tyle, aby umożliwić spontaniczne tworzenie się cząsteczek organicznych.

Carter zauważył, że gdyby wartość α była o 1% większa od wartości obserwowanej, wszystkie gwiazdy byłyby czerwonymi karłami, gdyby natomiast była o tyle mniejsza – Wszechświat wypełniony byłby jedynie błękitnymi olbrzymami. Podobny efekt wystąpiłby, gdyby wartość α była równa obserwowanej, natomiast α_G byłaby odpowiednio mniejsza o rząd wielkości od wartości obserwowanej (czerwone karły) lub większa (błękitne olbrzymy).

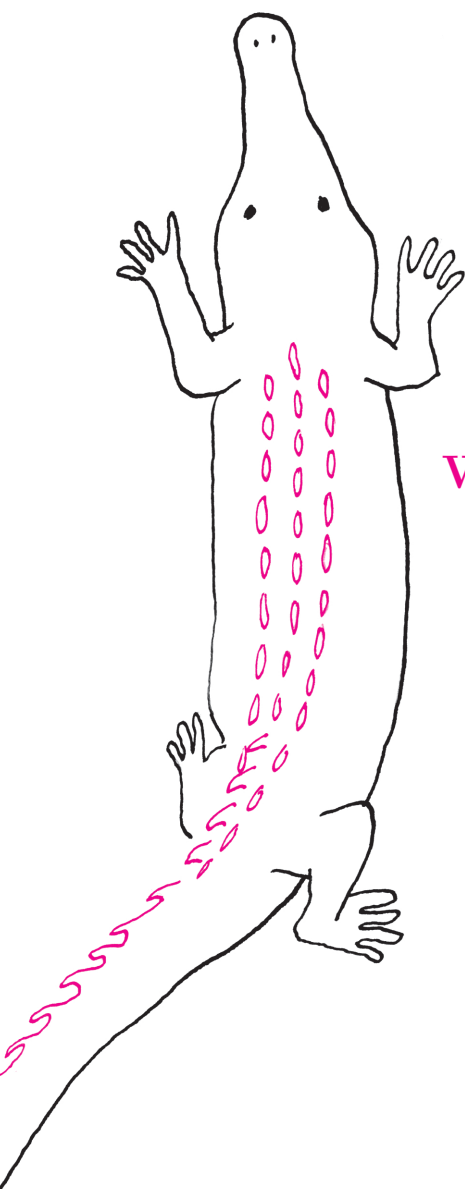
Szczęśliwych koincydencji, takich jak obserwowany stosunek α/α_G , jest więcej. Na przykład, gdyby stała sprzężenia dla oddziaływań jądrowych była nieco mniejsza od obserwowanej, okazałaby się niewystarczająca do tego, aby związać protony i neutrony. Istnienie pierwiastków cięższych od wodoru byłoby wówczas niemożliwe. Stabilne pierwiastki ciężkie nie istniałyby również, gdyby różnica mas neutronu i protonu nie była w przybliżeniu równa podwojonej masie elektronu. Tak precyzyjne dostrojenie warunków początkowych oraz stałych fizycznych, umożliwiające powstanie życia, stwarzają poczucie celowego działania. Z wrażeniem tym Carter poradził sobie tak, jak Darwin poradził sobie z koncepcjami Lamarcka. Wprowadził on pojęcie „zespołu statystycznego” wszechświatów, które Dicke i Peebles interpretują następująco:

Proszę sobie wyobrazić zabawę w rosyjską ruletkę, w której bierze udział bardzo duża liczba osób używających losowo rozdanych nabitych i nienabitych rewolwerów. Pod koniec tej morderczej zabawy znakomity probabilista po dokonaniu wyczerpującej analizy statystycznej dojdzie do wniosku, że prawdopodobieństwo przypadkowego wyciągnięcia nienabitych rewolwerów przez pozostałych przy życiu graczy jest bardzo wysokie. A teraz proszę sobie wyobrazić zespół wszechświatów wszystkich rodzajów. Nie powinno nas dziwić, że nasz Wszechświat nie jest „typowy”, ponieważ uśrednione po zespole cechy takiego wszechświata z powodzeniem mogą okazać się wrogie życiu. Możemy być obecni jedynie w takim wszechświecie, który czyni zadość naszym potrzebom.

Inaczej mówiąc, gdyby warunki początkowe i stałe fizyczne nie były dobrane w sposób właściwy, to nie miałby kto zadać pytania, dlaczego Wszechświat jest taki, jakim go widzimy.

Wygląda na to, że posługując się zasadą antropiczną, można udzielić odpowiedzi na wszystkie kłopotliwe pytania. Czy rzeczywiście? Wróćmy do rozumowania Dickego, przedstawionego na początku. Z rozumowania tego wynika, że wiek Wszechświata nie może być dowolny. Zmniejszanie stopnia dowolności w wyjaśnianiu zjawisk przyrody zawsze było celem nauki i w tym sensie w takim rozumowaniu nie ma nic niezwykłego; tym, co odróżnia jego sposób myślenia od konwencjonalnego, jest struktura logiczna jego argumentów.

Można zastanawiać się, czy zasada antropiczna jest elementem modelu kosmologicznego. Jest to dość trudne, jako że model powinien nie tylko wyjaśniać fakty *ex post*, ale także formułować przewidywania co do zachowania układu fizycznego w przyszłości. Z tego względu niektórzy badacze określają zasadę antropiczną ukutą przez Fermiego inwektywą – że nie jest nawet błędna. (K.T.)



Dicke nie wyprowadza swoich wniosków z żadnej fundamentalnej teorii ani nie przewiduje wyników przyszłych doświadczeń, lecz przeciwnie, „odwraca kota ogonem”, używając naszej wiedzy o obecnym stanie Wszechświata (istnienie życia) jako wyjaśnienia faktów związanych z jego przeszłością. Jest to zatem rodzaj przewidywania przeszłości opartego na przyszłości tej przeszłości. Wygląda to bardziej na błędne koło niż na wyjaśnienie czegokolwiek. Zamiast powiedzieć „rzeczy są takie, jakie są, ponieważ były takie, jakie były”, mówimy, że „rzeczy są takie, jakie są”. Czy zatem nie są to po prostu, jak mawiał Kubuś Puchatek...

Wielkie myśli o niczym? Liczba zarzutów, które można skierować pod adresem zasady antropicznej, jest doprawdy imponująca. Po pierwsze, są to zarzuty, o których była mowa przed chwilą (metodologiczne). Po drugie, lwia część argumentów, którymi posługują się zwolennicy zasady antropicznej, oparta jest na wątpliwym założeniu, iż znamy ogólne warunki niezbędne do powstania życia, podczas gdy w rzeczywistości cała nasza (bardzo skromna!) wiedza na ten temat dotyczy jedynie możliwości powstania życia tu, na Ziemi. Wreszcie, po trzecie, zasada antropiczna (a zwłaszcza jej najbardziej radykalne wersje) oparta jest na założeniu, że istnieje wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość między istnieniem świadomych obserwatorów a warunkami początkowymi oraz stałymi fizycznymi. O tym, że tak nie jest, można się przekonać, wymyślając wszechświaty, które powinny wyprodukować takich samych obserwatorów, mimo iż różnią się pod względem warunków początkowych lub stałych fizycznych. Jeden z takich modeli został zaproponowany przez Peeblesa i Dickego, którzy doszli do wniosku, że jak na wymagania zasady antropicznej *Wszechświat jest przesadnie rozbudowany; właściwie pojedyncza galaktyka zanurzona w asymptotycznie płaskiej przestrzeni powinna wystarczyć.*

Mimo tych wszystkich zarzutów trudno jest uznać rozważania oparte na zasadzie antropicznej za całkowicie jałowe. Nawet gdyby cała „ideologia” dorabiana do tej zasady okazała się w końcu fałszywa, pozostaną zagadkowe koincydencje, na które jej zwolennicy zwrócili uwagę, i które tak czy owak wymagają uzasadnienia. Dalsze losy zasady antropicznej będą zależały od tego, czy i w jakim stopniu koincydencje te uda się wytłumaczyć, wychodząc od „pierwszych zasad” jakiejś (nieznanej obecnie) fundamentalnej teorii. Jeżeli program taki się powiedzie, to udziałem zasady antropicznej będzie to samo, co stało się udziałem koncepcji *vis vitalis*, eteru, flogistonu, ciepłaka itd.

Skrót i redakcja: K.T.

Wieloświat i nowe życie zasady antropicznej

Pewna wersja modelu inflacji, zwana *wieczną inflacją*, postuluje, że w przeszłości na wielkich skalach Wszechświat wcale nie był jednorodny i izotropowy, gdyż kwantowe fluktuacje doprowadziły do tego, że różne jego obszary charakteryzowały się różnymi gęstościami energii i ewoluowały w różny sposób. Wszechświat, jaki widzimy, byłby więc tylko jednym z takich lokalnie jednorodnych i izotropowych obszarów, inne – zasadniczo różne od naszego – kryłyby się zaś poza granicami naszych obserwacji. Tę wizję kosmosu można nazwać *wieloświatem* (ang. *multiverse*).

Rozwój teorii strun – uznawanej przez wielu za kandydatkę do miana teorii fundamentalnej – pozwala wątpić w rychłe odłożenie zasady antropicznej do lamusa. Okazuje się, że wśród niewyobrażalnie wielkiej i trudnej do nazwania – kilkusetcyfrowej – liczby rozwiązań tej teorii istnieje wiele rozwiązań w miarę stabilnych, ale opisujących światy zasadniczo różne od naszego. Można przypuszczać, że Wszechświat mógłby dzięki tunelowaniu kwantowemu „przeskakiwać” między różnymi takimi stanami. Ponieważ jednak w obserwowanym Wszechświecie wydaje się obowiązywać zasada kopernikańska – jedność praw fizyki we wszystkich miejscach – te inne światy musiałyby leżeć poza granicą naszych obserwacji, co elegancko uzupełnia zarysowaną wyżej wizję wieloświata. Można mieć nadzieję – motywującą wielu świetnych naukowców do wyteżonej pracy – że choć teoria strun nie podaje jednego rozwiązania odpowiadającego naszemu Wszechświatowi, pozwoli ona określić prawdopodobieństwo różnych rozwiązań, uzupełniając zasadę antropiczną o możliwość czynienia przewidywań, jakiej na ogół wymaga się od modelu rzeczywistości.

Czy jest to działalność sensowna i czy prowadzi ona do jakichkolwiek konstruktywnych wniosków? Na ten temat trwa – przede wszystkim w środowisku fizyków amerykańskich – zażarta dyskusja, zarówno w czasopiśmie naukowych, jak i na blogach czy na rynku książek popularnonaukowych. Pozostaje mieć nadzieję, że gdy opadnie bitewny pył, pozostaną jeszcze jacyś obserwatorzy Wszechświata.

K.T.