

CHAOS - czy Bog gra w kosci?

Z dr hab. Markiem Wolfem rozmawia E.Kolakowska

Dr hab. Marek Wolf - pracownik Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego, jest autorem około trzydziestu publikacji naukowych, obszernego skryptu pt. Wykłady z kwantowej Teorii Pola oraz kilku artykułów popularnonaukowych. Dwukrotnie, w latach 1991 i 1993, odbywał paromiesięczne staze w Boston University. Po ukończeniu studiów zajmował się supersymetriami i teorią strun. W roku 1984 kupił sobie mikrokomputer ZX Spectrum i to spowodowało całkowitą zmianę jego zainteresowań. Od 1987 roku zajmuje się fraktalami i chaosem. W 1995 roku za pomocą komputera odkrył regularności w rozkładzie liczb pierwszych i jest to aktualnie główny obszar jego naukowej działalności. Dr M. Wolf ma 41 lat, jest żonaty, ma czteroletnią córkę Magdalene, a jego hobby to fotografia i jazz.



E. Kolakowska: Cała historia rozwoju myśli ludzkiej sprowadza się do tego, że człowiek poszukiwał zasad porządkujących otaczający go świat, wierząc, że zasady te tkwią w samej naturze świata. Chaos traktowany był jako stan, z którego wyłonił się ten porządek, bądź też jako skutek gniewu nadprzyrodzonych mocy. Dzisiaj, w naszym potocznym podejściu, niewiele się zmieniło. Jesteśmy skłonni myśleć o chaosie jak o czymś negatywnym, spowodowanym nagłymi zrywami, czy też nieoczekiwanymi zdarzeniami o nieznanym przyczynie. Pojawienie się chaosu traktujemy jak coś przypadkowego, lub koniecznego, coś nad czym nie mamy kontroli. Czasem utożsamiamy go z bałaganem lub zametem i oczywiście chcielibyśmy go opanować. Czy współczesna nauka interesuje się chaosem z podobnych powodów, tzn. z potrzeby opanowania nieprzewidywalnego?

Dr Marek Wolf: Zaczniemy od tego, że około 1975 roku kilka osób (m.in. R. May i M. Faigenbaum) odkryło, iż proste reguły deterministyczne mogą prowadzić do zachowania, które z zewnątrz może wyglądać na chaotyczne. Tzn. gdybyśmy patrzyli na efekt działań tych reguł, np. na wykres rysowany przez komputer, to nie domyślilibyśmy się, że za skomplikowaną i przypadkową krzywą kryje się bardzo prosty wzór matematyczny. A więc coś, co wygląda na zjawisko chaotyczne, może być w istocie spowodowane deterministycznym mechanizmem. Takie układy deterministyczne wykazujące zachowanie chaotyczne mają też własność czułości na warunki początkowe.

Co to znaczy? Rzecz w tym, że gdy będziemy patrzeć na ewolucję takiego układu w czasie, zaczynając od nieco innego stanu początkowego, to okaże się, że układ dojdzie do zupełnie innej konfiguracji. A więc mała zmiana warunków początkowych powoduje dużą zmianę w zachowaniu się układu po jakimś czasie. Można zrealizować to w inny sposób: wziąć dwie kopie tego samego układu będące w chwili początkowej w bliskich sobie stanach, tzn. wyglądające podobnie. Gdy teraz będziemy patrzeć na ewolucję tych dwóch układów, zauważymy, jak coraz bardziej różnią się od siebie i po jakimś czasie nie będziemy wierzyć, że wystartowały one prawie z tego samego stanu.

E.K.: Jak powinniśmy rozumieć określenia reguły deterministyczne i układy deterministyczne? C

chodzi o ich przyczynowe uwarunkowanie? Przyzwyczajaliśmy się myśleć, że te same przyczyny wywołują te same skutki. Jeśli tak jest, to nie mamy do czynienia z chaosem, zaś to, o czym Pan mówi dotyczy, jak rozumiem, tych zjawisk, których skutki tylko wyglądają na chaotyczne, bo faktycznie są one w określony sposób uwarunkowane, choć różnią się warunkami początkowymi.

M.W.: Przymiotnik deterministyczne oznacza oczywiście przyczynowość. Ewolucja, albo zachowanie się układu deterministycznego, opisane jest jakąś regułą, prawem, które często można przedstawić w postaci równania matematycznego, w którym nie ma miejsca na zjawiska losowe. Jeśli równanie jest nieliniowe, tzn. różne wielkości wchodzi do niego w potęgach wyższych niż 1, to wtedy jest możliwe istnienie chaosu deterministycznego.

Oczywiście te same przyczyny prowadzą do tych samych skutków, ale nigdy nie jest możliwe przygotowanie układu dwa razy w dokładnie takim samym stanie wyjściowym. Np. raz ciecz w probówce będzie miała temperaturę powiedzmy 17.8345 stopni, a drugim razem 17.8346. Jeśli układ wykazuje zjawisko chaosu deterministycznego, to po pewnym czasie różnica jednej dziesięciotysięcznej stopnia doprowadzi do dwóch zupełnie różnych stanów końcowych. A ponieważ nie jesteśmy w stanie tak dokładnie zmierzyć temperaturę, będziemy mieć wrażenie (mylnie), że te same przyczyny doprowadziły do różnych skutków.

E.K.: Teraz, gdy już to wiemy, wydaje się to tak oczywiste, że aż trudno uwierzyć, iż dopiero w latach siedemdziesiątych odkryto te prawidłowości...

M.W.: Znanych jest wiele równań wykazujących taką właśnie czułość na początkowe wartości. W ten właśnie sposób odkrył po raz pierwszy zjawisko chaosu E.N. Lorenz około 1960 roku. Rozwiązywał on na komputerze układ nieliniowych równań różniczkowych, teraz nazywany układem Lorenza. Wpisywał do komputera wartości początkowe zmiennych występujących w tym układzie, a komputer wyliczał ewolucję czasową. W którymś momencie Lorenz chciał coś sprawdzić i jeszcze raz przeszedł pewną konfigurację początkową. Jednak otrzymał zupełnie inne rozwiązanie. Początkowo myślał, że zepsuł się komputer, co w tamtych czasach zdarzało się bardzo często. Jednak to lenistwo Lorenza plus czułość na warunki początkowe było odpowiedzialne za zmiany w wynikach. Za drugim razem nie wpisał on wszystkich cyfr wartości zmiennych, lecz przerwał wpisywanie na 5 czy 6 miejscu po przecinku. Taka mała zmiana szybko doprowadziła do zupełnie innego stanu końcowego.

Taka sytuacja, jak już wspomniałem, mamy przy przepowiadaniu pogody. Do komputera podaje się rozkład ciśnienia i temperatury, powiedzmy Europy o godzinie 6 rano i chcemy z tego otrzymać wartość ciśnienia i temperatury za jakiś czas. Ponieważ nie znamy z dowolną dokładnością wartości początkowych, to taka prognoza może dawać wiarygodne wyniki tylko na niezbyt odległą przyszłość. Przy kontynuowaniu obliczeń dojdą do głosu cyfry dalekie po kropce dziesiętnej w wartościach początkowych ciśnienia i temperatury. To właśnie nieliniowość równań powoduje wzmocnienie różnic i uzewnętrznienie się cyfry znajdującej się np. na szóstym miejscu w wartości jakiejś zmiennej.

E.K.: Problem warunków początkowych jest jednym z podstawowych punktów spornych we wszystkich istniejących teoriach próbujących wyjaśnić tajemnicę powstania i ewolucji Wszechświata. Nie znamy warunków początkowych, właściwie nic o nich nie wiemy. Jeśli nawet przyjąć, najbardziej prawdopodobną dzisiaj, hipotezę wielkiego wybuchu, wyliczenia i dokładny opis warunków trzech pierwszych minut po eksplozji, to pierwsza sekunda jest nadal niepojęta. Czy w takim razie wszystkie teorie ewolucji Wszechświata nie są takim przepowiadaniem pogody, o jakim Pan mówił, ale nie na miesiąc, czy rok, a na miliardy lat do przodu? Jak te problemy należy rozumieć?

M.W.: To bardzo trudne pytanie. Nikt nie zna na nie odpowiedzi. Są różne hipotezy, aby nie powiedzieć bardziej dokładnie: spekulacje. Obecnie najwięcej fizyków głosowałoby za tzw. teorią Wielkiego Wybuchu. Mnie przekonuje do niej odkryte na początku lat sześćdziesiątych promieniowanie reliktywne. W myśl teorii Big Bang Wszechświat miał początek i dlatego uzasadnione jest pytanie o warunki początkowe w chwili powstania. Jednak o ile wiem, obowiązujący tzw. mechanizm inflacyjny jest w znacznym stopniu niezależny od warunków początkowych. Niektórzy uważają, że dobra teoria wszystkiego powinna wyprowadzić warunki początkowe. Ostatnia część pani pytania jest uzasadniona, gdyż równania opisujące ewolucję Wszechświata (czasoprzestrzeni) są silnie nieliniowe i dlatego powinny wykazywać zjawisko chaosu.

A więc faktycznie skończona dokładność znajomości warunków początkowych mogłaby prowadzić do nieoznaczoności ewolucji Wszechświata w perspektywie miliardów lat. Na dużo mniejszą skalę dotyczy to naszego Układu Słonecznego, o którym nie wiadomo, czy będzie trwać wiecznie, czy też na skutek wzajemnych zaburzeń np. niektóre planety spadną na Słońce, albo też go opuszczą.

Bardzo dobrze widac tutaj zależność od warunków początkowych: przeprowadzono np. eksperymenty komputerowe, w których zmieniono początkowe położenie środka masy Jowisza o 1 cm (!) i okazało się, że za kilkaset milionów lat Jowisz znajdowałby się w zupełnie innym miejscu. Kilka lat temu okazało się, że dotyczy to wszystkich planet: mała zmiana położenia lub prędkości prowadzi do zupełnie innych położen po upływie kilkuset milionów lat.

Oznacza to, że ruch planet jest nieprzewidywalny. Już Newton zdawał sobie sprawę z tego, że oddziaływanie między planetami, duża liczba ich księżyców i kilka tysięcy planetoid może doprowadzić do zaburzeń w ich ruchu i dlatego uważał, że stabilność Układu Słonecznego wymaga ingerencji Boga, który co jakiś czas popychałby nieco planety w odpowiednim kierunku. A ruch małych ciał, takich jak komety, jest nieprzewidywalny już na odcinku tysięcy lat.

Ciekawy jest przykład Hiperona, księżyc Saturna. Otóż w jego pobliżu przeszły dwie amerykańskie sondy Voyager 1 i Voyager 2, w odstępach 9 miesięcy: w listopadzie 1980 i w sierpniu 1981 roku. Jak się okazało, nawet pomiar położenia Hiperona i jego prędkości z dokładnością do 10 cyfr po przecinku nie był wystarczająco dokładny, aby z danych przesłanych przez Voyagera 1 można było przewidzieć położenie tego księżycy w momencie przejścia w jego pobliżu Voyagera 2.

E.K.: Wszechświat to także zjawiska rodzące się i istniejące w mikroskali. Jakie znaczenie ma wrażliwość układów deterministycznych na warunki początkowe dla mechaniki kwantowej, teorii budowy materii, cząstek elementarnych...?

M.W.: Sprawa z chaosem na poziomie atomów jest skomplikowana. Z jednej strony równania opisujące mikroświat są liniowe, więc nie występuje tutaj problem warunków początkowych. Z drugiej strony istnieje obszerna dziedzina nazwana chaosem kwantowym. Dla niej chaos to nieregularny rozkład poziomów energetycznych z jednej strony, a z drugiej badanie odpowiedniości między układami kwantowymi, które przechodzą w granicy do klasycznych układów wykazujących chaos.

E.K.: Co Pan sądzi, jako fizyk, o takim twierdzeniu: wszystko zachowuje się w sposób chaotyczny tylko my - naszym umysłem, obserwacja, pomiarem, czyli w gruncie rzeczy matematycznym opisem warunków początkowych i ich skutków - narzucamy niejako porządek spostrzeganym zjawiskom, naszej rzeczywistości, Wszechświatowi?

M.W.: Nie zgadzam się z tym. Może nie powiedziałem wcześniej, że te zjawiska chaotyczne, którymi zajmują się fizycy są zdeterminowane. Nawet funkcjonuje taki termin: chaos deterministyczny, który brzmi nieco jak np. kwadratowe koło. Ale właśnie chodzi o to, że są układ zachowujące się w sposób przyczynowy, a mimo to, dla kogoś patrzącego z zewnątrz wyglądają na przypadkowe.

Posłużę się przykładem: w komputerach jest możliwość generowania liczb losowych, takich jak np. przy rzucaniu monety lub kości. Jednak komputer jest jak najbardziej urządzeniem deterministycznym, a mimo to istnieją pewne reguły matematyczne, zresztą całkiem proste, wykorzystywane w komputerach, pozwalające losować liczby na pierwszy rzut oka całkiem chaotyczne. Np. program grający w brydża potrafi potasować karty w sposób deterministyczny i cały przepis jest zapisany w postaci ściśle określonego programu, np. w języku C++ albo Pascalu.

Tak więc według mnie przyroda nie jest przypadkowa, przynajmniej w makroskopowej skali. Jeśli jest jakiś element dowolności, to w świecie atomów, ale tam właśnie nie przejawia się chaos deterministyczny, tylko jakiś tajemniczy duch kwantowy, trawestując tytuł książki P.C.W. Davisa a J.R. Browna - Duch w atomie.

Ale Einstein nie wierzył w losowość na poziomie atomów i wypowiedział w związku z tym słynne zdanie: Bog nie gra w kości.

E.K.: Czy Bog jest matematykiem? Niektórzy matematycy i fizycy twierdzą, że tak, że nadal materii matematyczna forma, lub że jest jakaś podstawowa zasada logiczna i przyczynowa. Inni przeciwnie, uważają, że matematyka jest tylko naszym sposobem porządkowania świata, a nie sposobem jego istnienia i nie powinniśmy o tym zapominać. Oba poglądy wydają się mieć znaczący wpływ na rozwój współczesnej nauki...

M.W.: To prawda, że istnieją te dwa stanowiska, o których pani powiedziała: jedno, że Bog stwarzając Przyrodę używał do tego matematyki i drugie, że matematyka jest tylko językiem, jakim homo sapiens stara się opisać i zrozumieć Wszechświat. W jakimś stopniu opis matematyczny jest sprawą dowolną, jest konwencją. Na przykład mało znany jest fakt, że Newton rozważał dwie możliwości zdefiniowania przyspieszenia: jedna taka jaka się w końcu przyjęła i w inny sposób, mówiący, jak zmienia się A - prędkość ciała w danym miejscu przestrzeni. Istnieją też dwa różne sformułowania matematyczne mechaniki kwantowej: macierzowe Heisenberga i za pomocą równań różniczkowych Schrödingera. A więc możliwe są różne formalizmy opisujące tę samą rzeczywistość. Wskazuje to na subiektywność opisu matematycznego. Mnie np. interesuje, czy jeżeli istnieją gdzieś jakiegokolwiek cywilizacje, to czy stworzyły one naukę o przyrodzie podobną do naszej, czy też nie? Czy w ich fizyce też będą występować pojęcia masy, siły, natężenia pola magnetycznego, ładunku elektrycznego, ciśnienia, temperatury itd.? Mnie się wydaje, że nasza nauka jest skazana na antropomorfizm i możliwy jest opis przyrody za pomocą zupełnie innych pojęć, jednak niemożliwych dla nas do wyobrażenia, bo od dziecka uczy się nas ziemskiej fizyki.

Jest jakaś tajemnica w tym, że udaje się opisać przyrodę za pomocą matematyki. Wiele odkryć zostało najpierw przewidzianych na papierze, na drodze rozwiązywania równań i różnych przekształceń matematycznych. Np. istnienie planety Neptun przewidział U.R. Leverrier próbując wyjaśnić zaburzenia w ruchu Urana i Saturna. A w nowszych czasach wnioskowano na drodze bardzo abstrakcyjnych rozwiązań matematycznych istnienie różnych cząstek elementarnych, które faktycznie odkryto doświadczalnie. Nawet trafnie przewidziano, jaka powinna być ich masa i ładunki elektryczne!

E.K.: Pytając, czy matematyk odkrywa, czy tworzy matematykę dotykamy obszarów tradycyjnie

zarezerwowanych dla filozofii. David Bohm, jeden z bardziej znanych fizyków na świecie, porównał kiedyś język matematyki do zapisu nutowego, który sam w sobie jest wysterylizowany, sformalizowany i pusty. Muzyka leży poza nim. Czy zgodzi się Pan z tym, że fizyk, jak muzyk odczytujący nuty, odczytuje z języka matematyki muzykę Przyrody i Wszechświata i dzięki temu, że jest na nią wrażliwy i że ją słyszy, możliwy jest rozwój nauki?

M.W.: Wydaje mi się, że matematyka to nie tylko język, taki pogląd Bohma to duże uproszczenie. Wielka część matematyki nie ma żadnych zastosowań, jest sztuka sama dla siebie. Nie jest to zarzut: przecież poezja czy muzyka też nie mają żadnego praktycznego zastosowania. Jednak konieczny jest rozwój kultury, by możliwy był rozwój technologiczny. Fizyka ma do matematyki podejście użyteczne i bierze z niej tylko to, co potrzebuje do opisu przyrody. To znaczy według mnie typowa jest następująca sytuacja: mamy jakieś zjawisko i próbujemy zapisać je w sposób formalny za pomocą np. równań różniczkowych, albo przy pomocy innych struktur matematycznych. Zdarzało się, że potrzeby fizyków powodowały rozwój niektórych dziedzin matematyki, jak np. teorii dystrybucji. Czasem sztucznie próbuje się do pewnych twórców matematycznych dopasować jakieś zjawiska fizyczne i taka działalność odpowiadałaby odczytywaniu muzyki Przyrody i Wszechświata z języka matematyki. Ja jednak jestem przeciwnikiem takiego podejścia do uprawiania fizyki i krytycznie oceniam np. prace E. Wittena, w których kojarzył on na siłę różne działy matematyki z teoriami fizycznymi.

E.K.: Czyli skłania się Pan do tego, że matematyk odkrywa matematykę, a nie ją tworzy...

M.W.: To jest pytanie o status twierdzeń matematycznych. Istnieje wiele twierdzeń matematycznych odnoszących się do konkretnych wielkości, np. różne zaskakujące fakty o liczbach pierwszych, które można sprawdzić doświadczalnie na komputerach (pomimo istnienia dowodów tych faktów). A więc twierdzenia mają jak gdyby status podobny do praw przyrody, które weryfikujemy eksperymentalnie. Jeśli jednak prawa opisują rzeczywistość istniejącą obiektywnie, to jakiej rzeczywistości dotyczy twierdzenie matematyczne? Czy twierdzenie istniało gdzieś do momentu sformułowania go przez matematyka, czy też dopiero pojawienie się go w głowie stwarza rzeczywistość, której ono dotyczy? W ten sposób zamiast odpowiadać na pani pytania, sam je na zakończenie tego wywiadu postawiłem. Ponieważ mają one naturę filozoficzną, tzn. dla mnie nie istnieje sposób potwierdzenia jednej odpowiedzi a odrzucenia innej, Czytelnik może sam się nad nimi zastanowić i uważać swój pogląd za jedynie słuszny.

Ja coraz bardziej staję się platonikiem, tzn. uważam, że istnieje niezależny od nas świat idei i matematycy zaglądając do niego odkrywają swoje twierdzenia.

E.K.: Sztuka jest także światem idei. Czy to oznacza, że istnieje obiektywnie, niezależnie od nas?

M.W.: Jest według mnie różnica między matematyką, a np. muzyką albo poezją. Wiersze albo utwory są faktycznie tworzone przez poetów albo kompozytorów, a nie odkrywane: w przeciwieństwie do matematyki nie istnieje świat wierszy, do którego można zajrzeć i wziąć jakiś utwór. Matematyka, przynajmniej niektóre z jej dziedzin, jak np. teoria liczb pierwszych, wydaje się istnieć obiektywnie w tym sensie, że inna cywilizacja musi je znać w takiej samej postaci, w jakiej my ją znamy.

Ale normy etyczne albo kanon piękna nie mogą mieć wg mnie takiego statusu obiektywnego, tzn. te dzieła malarstwa czy muzyki, które my podziwiamy, mogą wywoływać obojętne uczucia u przedstawicieli innych światów. Oczywiście percepcja sztuki związana jest nierozdzielnie z posiadanymi zmysłami (słuch, wzrok), ale wydaje mi się, że własności liczb pierwszych mają charakter obiektywny i uniwersalny, niezależny od budowy organizmu, poza koniecznością

posiadania umysłu.

E.K.: Dziękuję za rozmowę.

Rozmawiała Elżbieta Kolakowska