



Bez początku i końca

Z sir **Rogerem Penrose'em** z University of Oxford
o przeszłości i przyszłości Wszechświata
rozmawia Maciej Dunajski

MACIEJ DUNAJSKI: – Tego lata odbyła się w Warszawie światowa konferencja dotycząca ogólnej teorii względności. Uczestniczył pan w niej – podobnie jak pół wieku temu, gdy również w naszej stolicy spotkali się naukowcy zajmujący się ogólną teorią względności. Jak pana zdaniem zmieniła się fizyka w tym czasie?

SIR ROGER PENROSE: – Wiemy teraz zdecydowanie więcej o Wszechświecie. Jednym z najbardziej zdumiewających osiągnięć jest potwierdzenie zgodności ogólnej teorii względności, czyli teorii grawitacji stworzonej przez Alberta Einsteina, z obser- ►

Sir Roger Penrose jest matematykiem, fizykiem i filozofem – jednym z najwybitniejszych i najbardziej oryginalnych naukowców naszych czasów. W latach 60. pokazał, że zapadanie się grawitacyjne gwiazd prowadzi do powstawania czarnych dziur. Wspólnie ze Stephenem Hawkingiem rozwinął matematyczną teorię czarnych dziur i Wielkiego Wybuchu. Penrose jest również autorem modelu świadomości, który opiera się na prawach fizyki kwantowej. W 1994 r. królowa brytyjska przyznała mu tytuł szlachecki za jego wkład w rozwój nauki.

Prof. dr hab. Maciej Dunajski jest matematykiem, doktoryzował się na University of Oxford, gdzie prowadził badania w grupie Rogera Penrose'a. Obecnie wykłada matematykę na University of Cambridge.

► wacjami kosmosu. W 1962 r. nasza wiedza na temat tej teorii i jej konsekwencji nie różniła się specjalnie od tego, co wiadomo było w 1916 r., kiedy ona powstała. Dzisiaj możemy dokładnie mierzyć masy obiektów w kosmosie, badając zakrzywienie w ich polu grawitacyjnym promieni świetlnych emitowanych przez odległe galaktyki. Możemy również obserwować efekty fał grawitacyjnych przewidzianych przez teorię Einsteina.

Pomiary reliktowego promieniowania kosmicznego, wykonane w ostatnich latach, wydają się ostatecznie potwierdzać teorię Wielkiego Wybuchu, a może także teorię kosmologicznej inflacji, według której Wszechświat w pierwszym ułamku sekundy swojej ewolucji przeszedł przez fazę bardzo szybkiego rozszerzania się. Co pan sądzi o tej teorii?

Uważam, że jest sporo kłopotów z modelem inflacyjnym. Jest on próbą wyjaśnienia, dlaczego temperatura promieniowania, docierającego do nas zewsząd w kosmosie jako echo Wielkiego Wybuchu, jest jednorodna. A także dlaczego w skali kosmicznej Wszechświat wydaje się płaski. Nie zgadzam się z tym modelem z wielu powodów, chociaż przyznaję, że został uznany w specjalistycznych publikacjach oraz książkach popularnonaukowych.

Pana ostatnia książka „Cykle Czasu.

Nowy niezwykle obraz Wszechświata” przedstawia zupełnie inne wyjaśnienie paradoksów kosmologii.

No właśnie. Nie wierzę w inflację, ale wobec tego muszę w inny sposób wyjaśnić wyniki obserwacji promieniowania kosmicznego. Teoria, którą proponuję, nazywa się konforemną kosmologią cykliczną (ang. *Conformal Cyclic Cosmology*). Jej podstawą jest jedno z najbardziej fundamentalnych praw fizyki – druga zasada termodynamiki. Zgodnie z nią Wszechświat staje się coraz bardziej nieuporządkowany wraz z upływem czasu. Wielkością fizyczną mierzącą stopień nieuporządkowania jest entropia – i rzeczywiście wzrost entropii jest zgodny ze wszystkimi eksperymentami. Logiczną konsekwencją jest więc założenie, że w miarę cofania się w czasie entropia powinna maleć. A zatem Wszechświat w przeszłości był bardziej ułożony, niż jest teraz. W szczególności Wielki Wybuch, który uważamy za początek czasu, musiał być bardzo specjalnym stanem o maksymalnym stopniu uporządkowania. Ani model inflacyjny, ani żaden inny model kosmologiczny, o którym mi wiadomo, nie wyjaśnia tej wyjątkowości początkowego stanu Wszechświata.

Czyż to nie paradoks? Obserwacje promieniowania reliktowego wskazują jednak, że wczesny Wszechświat był jak gorąca zupa złożona z cząstek elementarnych i promieniowania.

To przecież stan daleki od uporządkowania.

Materia i promieniowanie w Wielkim Wybuchu były rzeczywiście w stanie maksymalnej entropii, ale pozostaje jeszcze grawitacja! To siła odpowiadająca za wzajemne przyciąganie się obiektów posiadających masę, takich jak gromady galaktyk. Gwiazdy, na przykład Słońce, również powstały dzięki grawitacyjnemu kurczeniu się wielkich chmur gazu. Twierdzę, że takie procesy, umożliwiające w końcu powstanie układów słonecznych i naszej planety – razem z jej biologicznym życiem – są możliwe tylko dlatego, że entropia grawitacji była bardzo mała w Wielkim Wybuchu. Należy więc wyjaśnić, dlaczego grawitacja była tak bardzo uporządkowana. Dziwię się, że kosmologowie ignorują ten problem. Ja zastanawiałem się

nad tym od wielu lat i próbowałem przynajmniej podać matematyczny opis takiego stanu rzeczy. Odpowiedź tkwi w geometrii konforemnej.

To geometria, w której liczą się kąty, ale nie ma pojęcia odległości.

Tak. Geometria, do której jesteśmy przyzwyczajeni od czasów Euklidesa, operuje pojęciem odległości. Odległość między punktami jest najmniejsza wzdłuż linii prostych. Używając tych linii, możemy zdefiniować trójkąty, sformułować słynne twierdzenie Pitagorasa i tak dalej. Jest jednak inny rodzaj geometrii, opierającej się tylko na pojęciu kąta. W geometrii konforemnej możemy nadal analizować trójkąty, nic nie wiedząc o ich wielkości. Duży i mały trójkąt są w niej nierozróżnialne, jeśli mają takie same kąty między bokami. Co więcej, linie proste są nieodróżnialne od okręgów! To fascynująca geometria. Można ją również stosować do Wszechświata. Cudownym pomysłem Einsteina było połączenie czasu i przestrzeni

w czterowymiarową czasoprzestrzeń. Czasoprzestrzeń nie jest płaska, tak jak przestrzeń geometrii Euklidesowej, ale wciąż istnieje w niej czterowymiarowe pojęcie odległości. W konforemnej geometrii czasoprzestrzeni rezygnujemy nawet z tego. Nie ma więc skali długości ani czasu, ale prędkość światła jest dobrze określona. To czterowymiarowy odpowiednik kąta. Mówiąc nieco ściślej, kątom w czasoprzestrzeni odpowiada ją stożki świetlne, czyli powierzchnie, po których rozchodzi się promieniowanie, a więc w szczególności poruszają się kwanty światła – fotony. Okazuje się, że taka konforemna geometria jest wystarczająca do opisu fizyki, jeśli nie interesują nas obiekty obdarzone masą. Najlepszym przykładem jest zachowanie się promieni świetlnych, które składają się z fotonów. Równania Maxwella, opisujące fotony i oddziaływania elektromagnetyczne, zupełnie nie zależą od skali czasu lub przestrzeni. Sprawa ma się podobnie z równaniami opisującymi silne oddziaływania jądrowe, jako że nośniki tych oddziaływań – gluony – są cząstkami pozbawionymi masy. Ja twierdzę,

że geometria konforemna stosuje się również do Wszechświata tuż po Wielkim Wybuchu. Energie cząstek materii były wtedy tak duże, że cząstki te były w istocie promieniowaniem.

To wynika ze słynnego wzoru Einsteina $E = mc^2$?

W tym wzorze m to masa cząstki, a c to prędkość światła: 300 tys. km na sekundę! Masa cząstek, dla których energia E jest bardzo duża, jest w zasadzie pomijalna. Te cząstki poruszają się z prędkością światła i można je opisać geometrią konforemną. Mój kolega z macierzystego uniwersytetu Paul Tod użył tej geometrii do pokazania, że jeżeli entropia grawitacji była na początku minimalna, to Wielki Wybuch jest w istocie regularnym brzegiem pewnej czasoprzestrzeni. Twierdzę, że elegancki matematyczny trik Paula Toda daje nam wgląd w to, co było przed Wielkim Wybuchem. Aby to wyjaśnić, muszę jednak wytłumaczyć, co się stanie z naszym Wszechświatem w dalszej przyszłości.

Wtedy kiedy czarne dziury zdążą pochłonąć całą materię we Wszechświecie, a potem same wyparują. Czyli Wszechświat bez cząstek masywnych znowu będzie opisywalny przez geometrię konforemną?

To jednak nie wystarczy. Nasze zrozumienie tego, co się stanie, gdy Wszechświat będzie bardzo stary, posunęło się

Kolizje między czarnymi dziurami zachodziły też w eonie bezpośrednio poprzedzającym nasz. Powinniśmy móc zaobserwować efekty tych kolizji.



© GETTY IMAGES/FFW

do przodu pod koniec XX w. Astronomowie zbadali ekspansję Wszechświata, obserwując uciekające od nas galaktyki. Okazuje się, że Wszechświat nie tylko się rozszerza, ale robi to coraz szybciej! To było dużą niespodzianką. A jednak można to wyjaśnić, wprowadzając tzw. pozytywną stałą kosmologiczną do równań Einsteina. Wszechświat, zwiększając swoją objętość, ochładza się. Na pozór to zupełnie inny obraz niż gorący i gęsty Wielki Wybuch, a jednak z punktu widzenia geometrii konforemnej początek Wszechświata jest bardzo podobny do jego końca! Końcowy etap ewolucji Wszechświata może być więc uznany za brzeg pewnej czasoprzestrzeni w taki sam sposób jak Wielki Wybuch. Mój bulwersujący pomysł idzie jednak dalej. Twierdząc, że odległą przyszłość naszego Wszechświata należy interpretować jako Wielki Wybuch kolejnego eonu. To, co do tej pory uznawaliśmy za historię naszego Wszechświata – od Wielkiego Wybuchu do fazy ekspansji przyspieszającej w nieskończoność – to tylko jeden eon w zapewne nieskończonym cyklu. A więc nasz Wielki Wybuch był jednocześnie daleką przyszłością poprzedniego eonu. Przyznaję, że to bulwersująca teoria, ale z punktu widzenia geometrii konforemnej zupełnie naturalna.

Taki obraz nie przyszedł do głowy nawet autorom najśmielszych hipotez z gatunku science fiction. Czy jest to rzeczywiście naukowa teoria, którą można potwierdzić lub ewentualnie obalić na podstawie danych obserwacyjnych?

Istnieją modele wszechświatów równoległych, multiświatów i tak dalej, które są przynajmniej tak samo bulwersujące jak moja teoria. Jednak te modele nie mają żadnych obserwowalnych konsekwencji. Być może są jakieś światy równoległe, ale co nam z tego przyjdzie, jeżeli nigdy nie będziemy o nich wiedzieli? Starałem się więc wyobrazić sobie procesy fizyczne, które doprowadziłyby do obserwowalnego potwierdzenia mojego modelu. Musiałyby to być wyjątkowo potężne wydarzenia w historii kosmosu. Tak potężne, że jakiś ślad po nich miałyby szanse przedostać się z jednego eonu do następnego. Takim procesem może być zderzenie masywnych czarnych dziur. Obserwacje astrofizyków wskazują na to, że czarna dziura w centrum naszej Galaktyki o masie kilku milionów Słońc za jakiś czas może zderzyć się z jeszcze większą czarną dziurą w galaktyce Andromedy. Tak potężna kolizja spowoduje eksplozję, w której uwolni się niewyobrażalnie duża ilość energii w postaci fali grawitacyjnych. Twierdząc, że te fale da się zaobserwować w następnym eonie. Promieniowanie grawitacyjne w naszym eonie zaburzy ciemną materię następnego eonu. Muszę tu podkreślić, że istnienie takiej ciemnej materii jest naturalną konsekwencją mojego modelu – ona daje początek materii nowego eonu i przejmuję grawitacyjną entropię poprzedniego eonu. To jest w zgodzie z drugą zasadą termodynamiki. Ale wróćmy do obserwacji. Kolizje między czarnymi dziurami zachodziły również w eonie bezpośrednio poprzedzającym nasz. Otóż sądzę, że powinniśmy móc zaobserwować efekty tych kolizji. Dwie niezależne grupy fizyków – jedna z Polski – niedawno zaobserwowały to, czego się spodziewałem: koncentryczne okręgi w widmie promieniowania relikтового. To trochę tak, jakbyśmy zobaczyli rozchodzące się faliste pierścienie na powierzchni wody w stawie i próbowali z tego wydedukować, że padał deszcz.

Pański wkład w naukę sięga daleko poza Wielki Wybuch i czarne dziury. Rozwinął pan własną wersję mechaniki kwantowej. Zbudował również teorię świadomości opartą na teorii kwantów. Nie pierwszy raz proponuje pan bulwersującą teorię, która podważa naukowe status quo. Czy zdarzyło się kiedyś panu mylić?

W latach 60. amerykański fizyk Joe Weber twierdził, że zaobserwował intensywne fale grawitacyjne rozchodzące się z centrum naszej Galaktyki. Nikt nie umiał tego wyjaśnić – intensywność fal Webera wymagałaby od Wszechświata

znacznie większej masy, niż w rzeczywistości ma. Próbowałem to zrozumieć, postulując istnienie tzw. nagiej osobliwości w centrum Galaktyki. Teraz wiemy, że w centrum Galaktyki jest rzeczywiście masywna czarna dziura, ale w tamtych czasach mało kto wierzył, że czarne dziury mogą powstawać wskutek grawitacyjnego zapadania się materii. Uważano je raczej za matematyczną ciekawostkę wynikającą z równań Einsteina. Wspólnie ze Stephenem Hawkingiem pokazaliśmy, że we wnętrzu czarnych dziur istnieją osobliwości – czasoprzestrzeń jest tam nieskończenie zakrzywiona i prawa fizyki, jakie znamy, załamują się. Istnieje jednak hipotetyczna możliwość, że takie osobliwości istnieją również poza czarnymi dziurami. Miałem szalony, ale chybiony pomysł, żeby wyjaśnić istnienie fal Webera właśnie w ten sposób.

Pana podejście do nauki jest nazywane platońskim. Ma to zapewne kontrastować z pozytywistyczną wizją Wszechświata, prezentowaną przez Stephena Hawkinga. Co pan o tym sądzi?

Określiłbym siebie raczej jako realistę. Stephen ma inny punkt widzenia na fizykę, a w szczególności na mechanikę kwantową. Twierdzi on, że ta teoria nie próbuje wyjaśnić, co się dzieje naprawdę, i jest tylko narzędziem do interpretowania wyników pomiarów w skali atomu i mniejszej. Ja się z tym nie zgadzam. Uważam, że fizyka opisuje to, co naprawdę dzieje się w naturze, nawet zanim otrzymamy wyniki pomiarów. Moje platońskie spojrzenie na świat jest bardziej wyraźne, jeżeli się zastanowić nad istotą matematyki i jej rolą w naukach przyrodniczych. Czy matematyka jest abstrakcyjnym tworem istniejącym niezależnie od nas samych, czy też tylko zbiorem reguł, które tworzymy w celu wyjaśnienia praw przyrody? Ja twierdzę, że matematyka istnieje poza naszym światem. Czasem udaje nam się coś uszczknąć i zrozumieć z prawd matematycznych, i użyć tego do budowy takich czy innych modeli natury. Wierzę również, że obiekty fizyczne podlegają prawom, które można sformułować w języku matematyki. Niektórzy uważają, że twierdzenia matematyczne są przez nas wynajdywane do wygodnego opisu praw przyrody. Nie zgadzam się z tym. Gdyby tak było, to jak wyjaśnić prawa, którymi rządził się Wszechświat, zanim pojawili się ludzie przeprowadzający matematyczne rachunki? Skąd Wszechświat miałby wtedy wiedzieć, jak się zachować? Sądzę, że matematyka musi istnieć niezależnie od nas, jeżeli mamy mówić o prawach natury. Czy jednak Wszechświat w rzeczywistości rządzi się prawami matematyki? Wszystko wskazuje na to, że tak.

Teoria grawitacji Newtona była poprawna z dokładnością do trzech miejsc po przecinku. To w zupełności wystarczało, żeby wyjaśnić wyniki eksperymentów wykonywanych w jego czasach. Znacznie później uczeni zdali sobie sprawę, że niektóre obserwacje odbiegają jednak od teorii Newtona, jeżeli zastosujemy dokładniejsze metody pomiarowe. Dobrym tego przykładem jest nieznaczne odchylenie orbity planety Merkury od przewidywań grawitacji newtonowskiej. Teoria grawitacji Einsteina doskonale to wyjaśnia, chociaż dla Einsteina wcale nie to było motywacją do stworzenia ogólnej teorii względności. Dzisiaj testujemy teorię Einsteina z fenomenalną dokładnością do 15 miejsc po przecinku. Tak precyzyjne dane były zupełnie niedostępne Einsteinowi. On kierował się przesłankami filozoficznymi i poprawnością matematyczną teorii. Nie miał wykształcenia matematycznego i musiał się uczyć matematyki od innych. Jak już to zrobił i doprowadził pracę nad teorią względności do końca, okazało się, że jej przewidywania doskonale zgadzają się z zachowaniem natury. I to znacznie lepiej, niż sam mógł to przewidzieć. To zdecydowanie punkt dla matematyki. Uważam, że prawa natury są matematyczne w swojej istocie i wcale nie zależą od sposobu, w jaki my próbujemy zrozumieć świat.

ROZMAWIAŁ MACIEJ DUNAJSKI