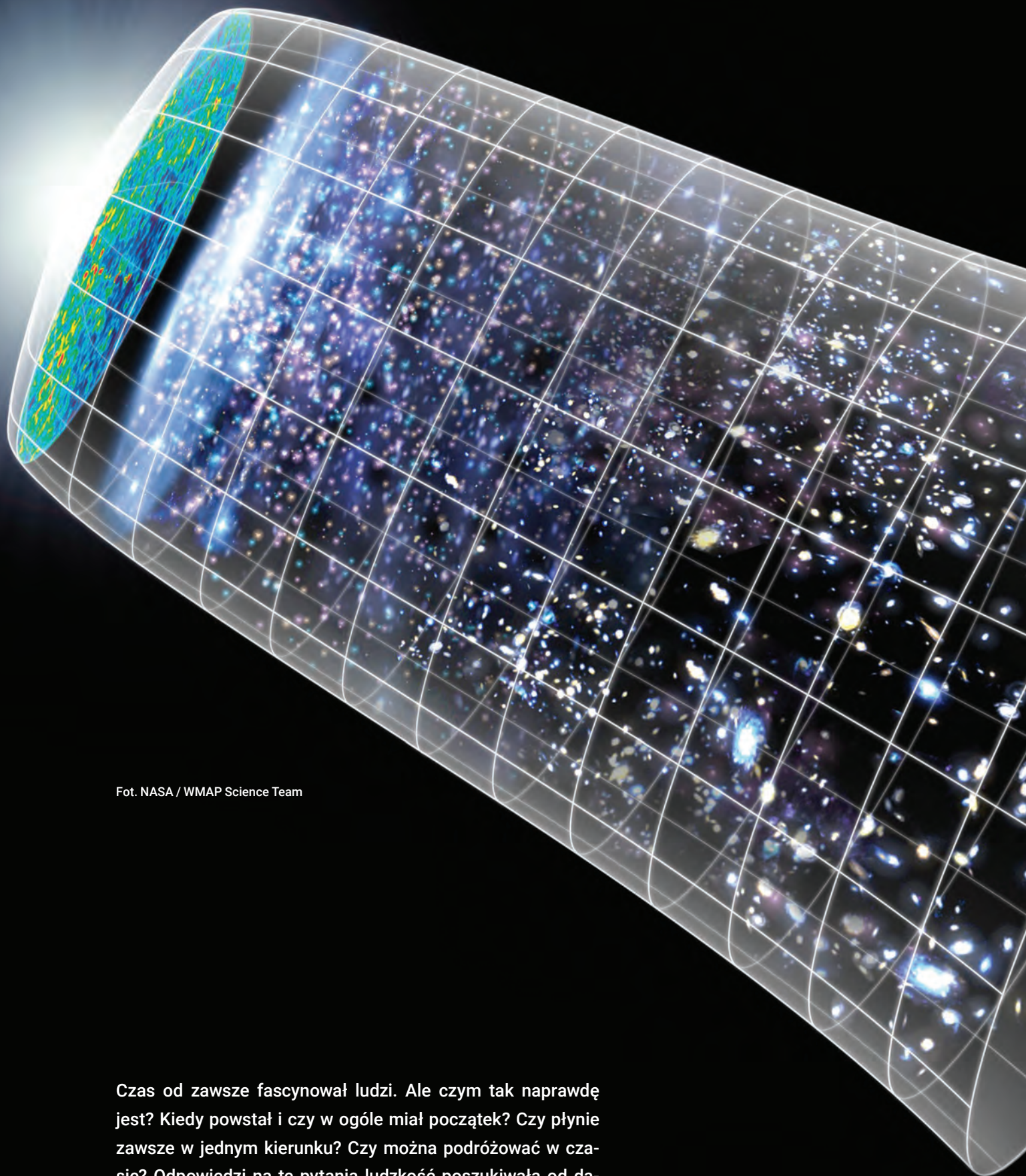




Fot. NASA / WMAP Science Team

Czas od zawsze fascynował ludzi. Ale czym tak naprawdę jest? Kiedy powstał i czy w ogóle miał początek? Czy płynie zawsze w jednym kierunku? Czy można podróżować w czasie? Odpowiedzi na te pytania ludzkość poszukiwała od dawien dawna, szukali ich także najwybitniejsi fizycy – od Alberta Einsteina, przez Stephena Hawkinga, po Michio Kaku.



dr Agnieszka Sikora

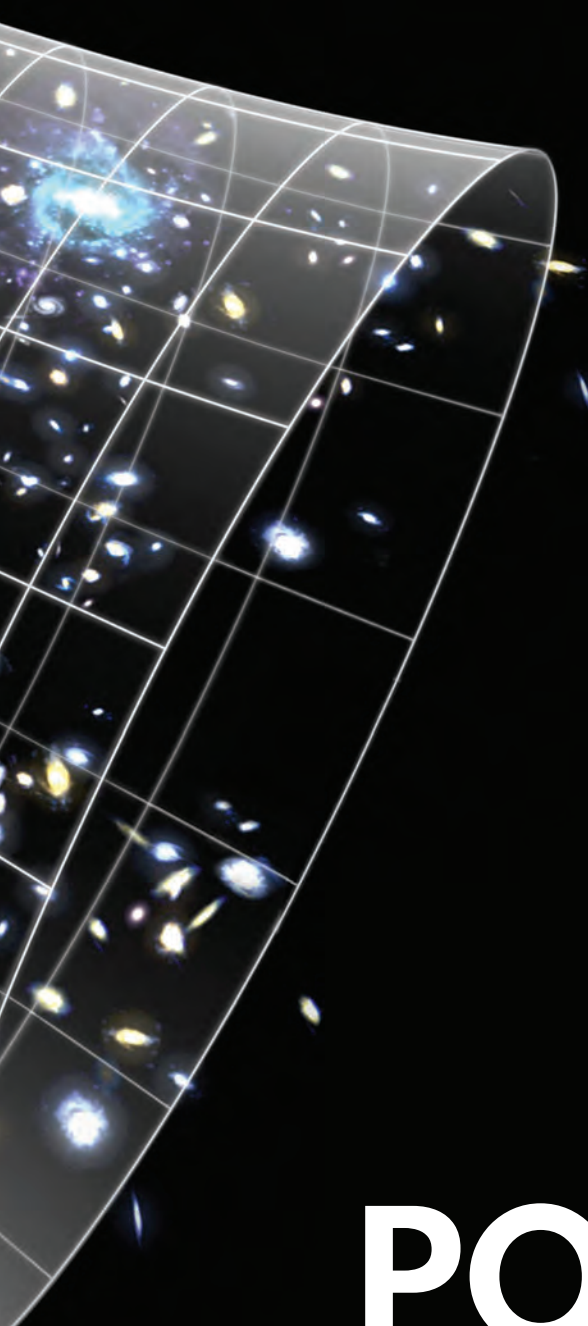


prof. dr hab. Jan Śladowski

Instytut Fizyki, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

Uniwersytet Śląski

jan.sladowski@us.edu.pl



FIZYKA PODRÓŻY W CZASOPRZESTRZENI

– Według naszej obecnej wiedzy przyjmuje się, że Wszechświat narodził się około 13,8 miliarda lat temu w wyniku tzw. Wielkiego Wybuchu. Wbrew nazwie początek Wszechświata nie był wybuchem, nie istniał też żaden punkt, z którego coś eksplodowało – wyjaśnia prof. dr hab. Jan Śladrkowski, fizyk z Instytutu Fizyki na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, i dodaje: – Wszechświat zaczął się gwałtownie rozszerzać z niewyobrażalnie gorącego i nieskończenie gęstego stanu, zwanego osobliwością początkową. To właśnie wtedy, jak głoszą współczesne modele kosmologiczne, narodziły się przestrzeń i czas. Nie możemy zatem mówić, że było coś przed Wielkim Wybuchem, chociaż pojawiają się różne spekulacje.

EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

– W zasadzie wszystkie nasze rozważania dotyczące ewolucji Wszechświata do momentu, w którym osiągnął wiek ok. 380 tysięcy lat, są czystą spekulacją. Wiarygodne tak naprawdę są opisy, gdy miał już co najmniej 0,5 miliarda lat – zauważa fizyk. – Obserwowana wielkoskalowa jednorodność sugeruje, że Wszechświat, zaraz po narodzinach, musiał przejść etap gwałtownego rozszerzania nazywany inflacją, podczas którego podwajał swoje wymiary co 10^{-37} sekundy. Do 10^{-43} sekundy od Wielkiego Wybuchu trwał najdziwniejszy i najbardziej spekulacyjny etap ewolucji Wszechświata – tzw. era Plancka. To czas, kiedy ze względu na ekstremalnie wysoką temperaturę i gęstość wszystkie cztery podstawowe oddziaływania (grawitacyjne, elektromagnetyczne, słabe i silne) mogły być jedną supersiłą. Na pewno Wszechświat nie przypominał niczego, co jesteśmy w stanie sobie wyobrazić, gdyż nasza obecna wiedza i znane teorie (w tym ogólna teoria względności i mechanika kwantowa) nie pozwalają na pełny opis tego, co mogło się wydarzyć w erze Plancka. Przypuszcza się, że był to stan, w którym czasoprzestrzeń sama była zjawiskiem kwantowym – pełnym fluktuacji, niestabilności i prawdopodobieństw. Około 10^{-43} sekundy po Wielkim Wybuchu Wszechświat ochłodził się na tyle,

Czas i przestrzeń są nierozdzielnie związane ze sobą od początku istnienia Wszechświata. Stąd narodziło się pojęcie *czasoprzestrzeni*. Autorem tego terminu jest Hermann Minkowski, niemiecki matematyk i fizyk pochodzenia żydowskiego, nauczyciel Alberta Einsteina. W 1907 roku Minkowski zaproponował interpretację czasu jako czwartego wymiaru.

W 1915 roku Albert Einstein opublikował ogólną teorię względności, która całkowicie zmieniła nasze rozumienie grawitacji i struktury Wszechświata. W nowym ujęciu grawitacja nie była już traktowana jako klasyczna siła działająca na odległość (jak w mechanice Newtona), lecz jako przejaw zakrzywienia czasoprzestrzeni przez masę i energię. Masywne obiekty, takie jak planety czy gwiazdy de-

że nastąpiło odłączenie się grawitacji od pozostałych oddziaływań, a jednym z fundamentalnych momentów było pojawienie się tzw. pola Higgsa, związanego z bozonem Higgsa.

– Uważa się, że tuż po zakończeniu inflacji kosmicznej, gdy Wszechświat miał zaledwie ułamek sekundy, pole Higgsa przeszło tzw. spontaniczne złamanie symetrii, czyli „zamroziło się” w określonym stanie energetycznym – wyjaśnia prof. Jan Śladrkowski. – To miało fundamentalne konsekwencje – cząstki elementarne rozważane w tzw. modelu standardowym, które wcześniej ($t < 10^{-12}$ s) były bezmasowe, zaczęły oddziaływać z polem i zyskiwać masę. Trzeba jednak podkreślić, że jest to nasze wytłumaczenie, skąd bierze się masa cząstek, ale wciąż pozostaje ono tylko hipotezą, mimo iż za potwierdzenie istnienia bozonu Higgsa przyznano Nagrodę Nobla.

Między 1. sekundą a 3. minutą po Wielkim Wybuchu pojawiły się pierwotne jądra atomowe – przede wszystkim protony (jądra wodoru), deuter, hel-4 oraz śladowe ilości litu-7 i być może berylu. Gdy temperatura spadła do około 3000 K, elektrony zaczęły łączyć się z jądrami, tworząc pierwsze neutralne atomy – głównie wodór (H) i hel (He). Od 380 tysięcy do około 100 milionów lat trwała tzw. era wieków ciemnych, nie

formują tę czterowymiarową strukturę niczym kula uginająca powierzchnię elastycznej membrany, wpływając na bieg czasu i trajektorie poruszających się ciał. W ogólnej teorii względności, podobnie jak i w szczególnej, czas oraz chronologia zdarzeń nie są absolutne. Zegar znajdujący się bliżej masywnego obiektu (np. czarnej dziury) tyka wolniej niż zegar znajdujący w słabszym polu grawitacyjnym. To tzw. grawitacyjna dylatacja czasu – zjawisko potwierdzone doświadczalnie m.in. przez satelity GPS, które, by działać poprawnie, muszą uwzględniać korekty wynikające z efektów relatywistycznych. Teoria Einsteina stała się fundamentem współczesnej kosmologii i pozwoliła opisać, jak Wszechświat ewoluował.

było jeszcze bowiem ani gwiazd, ani galaktyk, istniała tylko zimna, rozrzedzona mgła gazu wodorowego i helu. Grawitacja powoli zagęszczała lokalne fluktuacje materii, prowadząc do zapadania się pierwszych obłoków gazowych. Tworzyły się protogalaktyki i obłoki gwiazdotwórcze. Następowało dalsze zagęszczanie i ogrzewanie gazu aż do momentu zapłonu pierwszych gwiazd.

– Pierwsze gwiazdy (gwiazdy tzw. III populacji) różniły się istotnie od dzisiejszych. Były bardzo masywne i składały się wyłącznie z wodoru, helu i litu – nie zawierały cięższych pierwiastków. Świeciły bardzo jasno, ale żyły krótko – od kilku milionów do kilkudziesięciu milionów lat, a życie kończyły jako supernowe lub zapadały się w czarne dziury – wyjaśnia fizyk z Uniwersytetu Śląskiego. – Cięższe pierwiastki powstawały we wnętrzach gwiazd kolejnych generacji lub wybuchów supernowych (jest teoria, że także w zderzeniach gwiazd neutronowych), stając się zaczynem do powstawania planet i pierwiastków życia.

Pierwsze gwiazdy i galaktyki emitowały potężne promieniowanie, które jonizowało atomy wodoru i dystrybuowało pierwiastki we Wszechświecie. Galaktyki podobne do Drogi Mlecznej zaczęły formować się ok. 1–1,5 miliarda lat po Wielkim Wybuchu.

Choć teoria względności pozwala traktować czas jako wymiar przestrzenny, czyli w pewnym sensie odwracalny, nasze codzienne doświadczenie mówi co innego – czas płynie w jedną stronę. Ten kierunek określa strzałka czasu, ściśle związana z drugim prawem termodynamiki. Zgodnie z nim entropia – miara nieuporządkowania – zawsze rośnie. To dlatego możemy pamiętać przeszłość, ale nie przyszłość i dlatego nie możemy rozbitego jajka przywrócić do stanu sprzed rozbicia. Czy jednak prawa fizyki rzeczywiście zakazują podróży w czasie? Tu sprawa staje się bardziej złożona, ale i fascynująca.

Ogólna teoria względności dopuszcza rozwiązania mające tzw. zamknięte krzywe czasopodobne, które mogą być trajektoriami punktu materialnego poruszającego się z prędkością mniejszą niż prędkość światła. Zamkniętość oznacza, że punkt ten, poruszając się, może wrócić do momentu sprzed wyruszenia w podróż. Jest to źródłem wielu spekulacji dotyczących możliwości podróży w czasie. Jedną z koncepcji dotyczących podróży w czasie jest idea tunelu czasoprzestrzennego (tzw. *wormhole*). To hipotetyczna struktura, która łączy dwa odległe punk-

ty w czasoprzestrzeni (niejako skleja ze sobą jak zgięta kartka papieru). Jej istnienie rozważali Albert Einstein i Nathan Rosen, którzy w 1935 roku zaproponowali teoretyczny opis tzw. mostu (dziś struktura ta nazywana jest mostem Einsteina-Rosena lub tunelem Schwarzschilda). W pewnym sensie jest to matematyczna „konstrukcja” łącząca dwie czarne dziury (a właściwie z jednej strony czarną dziurę, a z drugiej białą). Jest to jednak struktura niestabilna, prawdopodobnie zamknie się, zanim jakkolwiek informacja lub cząstka zdąży przez nią przejść. Aby tunel czasoprzestrzenny był stabilny i przelotowy, potrzebuje tzw. materii egzotycznej (odpychającej się grawitacyjnie), ale w modelu Einsteina-Rosena jej nie ma i nie znamy żadnego argumentu sugerującego jej istnienie. Do tego wszystkiego nie umożliwia podróży w czasie, a jedynie w przestrzeni. A zatem to konstrukcja piękna, ale bardziej teoretyczna niż fizyczna.

W latach 80. XX wieku fizycy Kip Thorne i Michael Morris zaproponowali inny typ tunelu – stabilny i przelotowy, nazwany później *Morris-Thorne wormhole*. Ta struktura również potrzebowałaby materii egzotycznej, ale... tego typu materia

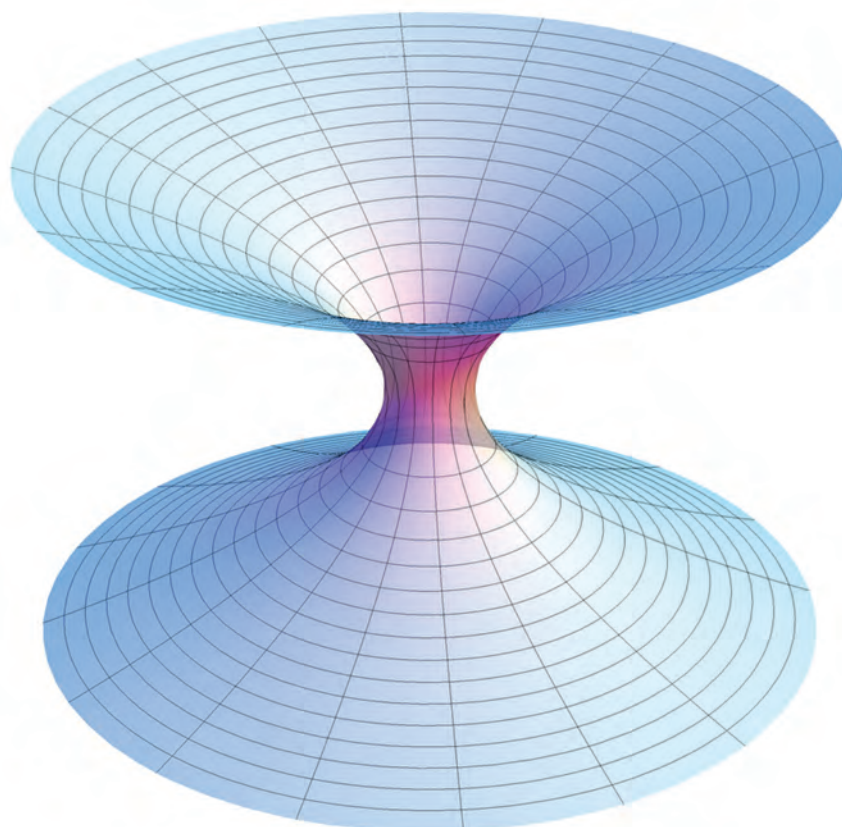
nie została dotąd zaobserwowana w naturze, choć lokalnie efekty ujemnej energii pojawiają się w niektórych zjawiskach kwantowych (np. efekt Casimira).

Z tematem mierzył się także inny fizyk, zwolennik teorii strun, Michio Kaku, który wielokrotnie podkreślał, że choć podróże w czasie nie są sprzeczne z równaniami ogólnej teorii względności, to pozostają technologicznie niewykonalne. Kaku podróże w czasie określił nawet jako „niemożliwości klasy I”.

W latach 90. XX wieku Stephen Hawking zaproponował tzw. hipotezę ochrony chronologii. Zgodnie z nią prawa fizyki powinny w jakiś sposób zapobiegać powstawaniu zamkniętych krzywych czasopodobnych – trajektorii, które prowadząc do przeszłości, mogą tworzyć paradoksy (jak np. zabicie własnego dziadka przed narodzinami). Hawking argumentował, że fluktuacje kwantowe w pobliżu wejścia do hipotetycznego tunelu czasoprzestrzennego byłyby tak gwałtowne, że natychmiast zniszczyłyby strukturę umożliwiającą podróż w czasie. Innymi słowy Wszechświat „broniłby się” przed paradoksami związanymi z podróżami w czasie.

Czy zatem podróże w czasie są możliwe? Z punktu widzenia fizyki teoretycznej – być może. Z technologicznego – przynajmniej na razie nie. Rozwój hipotetycznej teorii kwantowej grawitacji, badań nad naturą czarnych dziur i czasoprzestrzeni może w przyszłości dostarczyć nowych informacji.

– Należy przy tym również pamiętać, że modele matematyczne będące odzwierciedleniem naszej aktualnej wiedzy prawie zawsze będą tylko modelami matematycznymi, nawet jeśli bardzo dobrze obrazują nasze otoczenie. A to, co dziś nazywamy czasoprzestrzenią, może w ogóle nie istnieć, ale to już historia na całkiem inną rozmowę – podsumowuje prof. Jan Śladowski.



Most Einsteina-Rosena | rys. AllenMcC. (CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons)