



Kraków, 8 listopada 2018

## **Czasoprzestrzeń – twór dobrze znanych aktorów?**

*Wśród większości fizyków panuje przekonanie, że struktura czasoprzestrzeni w nieznanym sposobie formuje się w okolicy skali Plancka, a więc na odległościach bliskich jednej trylionowej części metra. Jednak uważne rozważania podważają jednoznaczność tego przewidywania. Sporo argumentów przemawia za tym, że do narodzin czasoprzestrzeni może dochodzić w wyniku procesów zachodzących znacznie „bliżej” naszej rzeczywistości: na poziomie kwarków i ich zlepków.*

Czym jest czasoprzestrzeń? Absolutną, niezmienną, zawsze i wszędzie istniejącą areną wydarzeń? A może jest tworem dynamicznym, wyłaniającym się w jakiś sposób na pewnej skali odległości, czasu bądź energii? Odwołania do absolutu nie są mile widziane przez dzisiejszą fizykę. Powszechnie się sądzi, że czasoprzestrzeń jest emergentna. Nie jest jednak jasne, gdzie miałyby zachodzić procesy jej narodzin. Gros fizyków skłania się ku przypuszczeniu, że czasoprzestrzeń tworzy się w skali Plancka, na odległościach bliskich jednej trylionowej części metra. W artykule w czasopiśmie „Foundations of Science” prof. dr hab. Piotr Żenczykowski z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie porządkuje dotychczasowe spostrzeżenia różnych autorów na temat formowania się czasoprzestrzeni i argumentuje, że hipoteza o jej powstawaniu w skali kwarków i hadronów (czyli zlepków kwarków) jest z wielu powodów bardzo racjonalna.

Pytania o naturę przestrzeni i czasu nurtują ludzkość co najmniej od starożytności. Czy przestrzeń i czas są odseparowane od materii i tworzą „pojemnik” na ruchy i zdarzenia zachodzące z udziałem cząstek, jak w V wieku p.n.e. chciał Demokryt? A może są atrybutami materii i bez niej nie mogłyby istnieć, jak wiek później sugerował Arystoteles? Mimo upływu tysiącleci, kwestie te nie doczekały się rozstrzygnięcia. Mało tego, oba podejścia – tak przeciwstawne! – są głęboko wplecione w filary współczesnej fizyki. W mechanice kwantowej zdarzenia rozgrywają się bowiem na sztywnej arenie, z jednorodnie płynącym czasem. Tymczasem w ogólnej teorii względności materia deformuje elastyczną czasoprzestrzeń (rozciąga ją i skręca), a czasoprzestrzeń mówi cząstkom, jak mają się poruszać. Innymi słowy, w jednej teorii aktorzy wchodzi na gotową scenę, by odegrać swoje role, podczas gdy w drugiej tworzą scenografię w trakcie przedstawienia, ta zaś wpływa na ich zachowania.

W 1899 roku niemiecki fizyk Max Planck zauważył, że za pomocą pewnych kombinacji niektórych stałych przyrody można otrzymać jednostki miary o bardzo fundamentalnej naturze. Zaledwie trzy stałe – prędkość światła  $c$ , stała grawitacji  $G$  i stała Plancka  $h$  – wystarczyły do utworzenia jednostek odległości, czasu i masy, równych (odpowiednio)  $1,62 \cdot 10^{-35}$  m,  $5,39 \cdot 10^{-44}$  s oraz  $2,18 \cdot 10^{-5}$  g. Zgodnie z obecnie popularnym przekonaniem, czasoprzestrzeń miałaby się tworzyć właśnie na poziomie długości Plancka. W istocie nie ma jednak żadnych merytorycznych argumentów przemawiających za racjonalnością tej hipotezy.

Zarówno nasze najbardziej wyrafinowane eksperymenty, jak i opisy teoretyczne, sięgają skali kwarków, a więc poziomu  $10^{-18}$  m. Skąd więc wiadomo, że na drodze do długości Plancka – przez kilkanaście kolejnych, coraz mniejszych rzędów wielkości – czasoprzestrzeń zachowuje swoją strukturę? W istocie nie jesteśmy nawet pewni, czy pojęcie czasoprzestrzeni jest racjonalne na poziomie hadronów! Podziałów nie da się przecież prowadzić w nieskończoność, bo na którymś etapie pytanie o następną mniejszą część po prostu przestaje mieć sens. Doskonałym przykładem jest tu temperatura. Pojęcie to sprawdza się znakomicie w skali makro, lecz gdy po kolejnych podziałach materii docieramy do skali pojedynczych cząstek, traci rację bytu.

„Obecnie dąży się najpierw do skonstruowania skwantowanej, dyskretnej czasoprzestrzeni, a dopiero potem 'zaludnia' się ją dyskretną materią. Gdyby jednak czasoprzestrzeń była produktem kwarków i hadronów, zależność byłaby odwrotna: to dyskretny charakter materii powinien wymuszać dyskretność czasoprzestrzeni!”, mówi prof. Żenczykowski, po czym dodaje: „Planck kierował się matematyką, chciał stworzyć jednostki z jak najmniejszej liczby stałych. Ale matematyka to jedno, a związek z rzeczywistym światem to drugie. Na przykład podejrzana wydaje się wartość masy Plancka. Można by się spodziewać, że będzie miała wartość charakterystyczną raczej dla świata kwantów. Tymczasem ona odpowiada mniej więcej 1/10 masy pchły, a ta jest obiektem jak najbardziej klasycznym”.

Skoro chcemy opisywać świat fizyczny, powinniśmy skłaniać się ku argumentom fizycznym, a nie matematycznym. I tak, gdy za pomocą równań Einsteina opisujemy Wszechświat w dużych skalach, konieczne staje się wprowadzenie dodatkowej stałej grawitacyjnej, znanej jako stała kosmologiczna *Lambda*. Jeśli więc konstruując fundamentalne jednostki rozszerzymy pierwotny zestaw trzech stałych o *Lambdę*, w przypadku mas otrzymamy nie jedną, a trzy fundamentalne wartości:  $1,39 \cdot 10^{-65}$  g,  $2,14 \cdot 10^{56}$  g i  $0,35 \cdot 10^{-24}$  g. Pierwszą z nich można byłoby interpretować jako kwant masy, druga jest na poziomie masy obserwowalnego Wszechświata, trzecia zaś jest zbliżona właśnie do mas hadronów (na przykład masa neutronu to  $1,67 \cdot 10^{-24}$  g). Analogicznie, po uwzględnieniu *Lambdy* pojawia się jednostka odległości równa  $6,37 \cdot 10^{-15}$  m, bardzo zbliżona do rozmiarów hadronów.

„Zabawy ze stałymi są jednak podejrzane, ponieważ wiele zależy od tego, które stałe wybierzemy. Na przykład, gdyby czasoprzestrzeń rzeczywiście była produktem kwarków i hadronów, to jej właściwości, w tym prędkość światła, też powinny być emergentne. To z kolei oznacza, że prędkości światła nie powinno być wśród stałych podstawowych!”, zauważa prof. Żenczykowski.

Za powstawaniem czasoprzestrzeni w skali kwarków i hadronów przemawiają także właściwości samych cząstek elementarnych. Model Standardowy nie tłumaczy na przykład, dlaczego istnieją trzy generacje cząstek, ani skąd się biorą ich takie a nie inne masy oraz wartości liczb kwantowych zwanych wewnętrznymi, wśród których są izospin, hiperładunek czy kolor. W obrazie przedstawionym przez prof. Żenczykowskiego wartości te można powiązać z pewną sześciowymiarową przestrzenią utworzoną z położeń cząstek i ich pędów. Tak skonstruowana przestrzeń traktuje położenia cząstek (materię) oraz ich ruchy (procesy) z jednakową wagą. Okazuje się, że własności mas czy wewnętrznych liczb kwantowych mogą być wówczas konsekwencją własności algebraicznych przestrzeni 6D. Co więcej, własności te tłumaczyłyby także brak możliwości zaobserwowania swobodnych kwarków.

„Narodziny czasoprzestrzeni mogą być związane ze zmianami organizacji materii zachodzącymi w skali kwarków i hadronów w bardziej pierwotnej, sześciowymiarowej przestrzeni fazowej. Nie bardzo jednak wiadomo, co dalej zrobić z tym obrazem. Każdy kolejny krok będzie wymagał wyjścia poza to, co wiemy. A my nie znamy nawet reguł gry, w którą bawi się z nami przyroda, musimy je dopiero odgadnąć! Wydaje się jednak bardzo racjonalne, by wszelkie konstrukcje zaczynać od materii, ponieważ jest ona czymś fizycznym i eksperymentalnie dostępnym. W tym ujęciu czasoprzestrzeń byłaby jedynie naszą idealizacją związków między materią”, podsumowuje prof. Żenczykowski.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

#### **KONTAKT:**

prof. dr hab. **Piotr Żenczykowski**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628278 (preferowany email)  
email: [piotr.zenczykowski@ifj.edu.pl](mailto:piotr.zenczykowski@ifj.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

1. „Quarks, Hadrons, and Emergent Spacetime”  
P. Żenczykowski  
Foundations of Science (2018), pp 1-19  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10699-018-9562-2>

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<http://www.ifj.edu.pl/>  
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>  
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

IFJ181108b\_fot01s.jpg

HR: [http://press.ifj.edu.pl/news/2018/11/08/IFJ181108b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2018/11/08/IFJ181108b_fot01.jpg)

Tak jak interakcje między ziarnami piasku formują gładką powierzchnię plaży, tak znana nam czasoprzestrzeń mogłaby być efektem relacji pojawiających się między kwarkami i ich zlepkami. (Źródło: IFJ PAN)