

## GRANICE POZNANIA

**Krzysztof A. Meissner**

*Uniwersytet Warszawski*

*Wydział Fizyki*

Krzysztof.Meissner@fuw.edu.pl

### Streszczenie

Pomimo niebywałego rozwoju fizyki i technologii nasza wiedza natrafia na nieprzekraczalne granice. Mechanika kwantowa wskazuje na indeterminizm świata. Ogólna Teoria Względności umożliwia globalny opis Wszechświata – ale badając jego historię nie jesteśmy w stanie cofać się do jego najwcześniejszych chwil. Z kolei obserwacje kosmologiczne sugerują, że znamy obecnie jedynie około 4% „składu” Wszechświata – pozostałą część stanowi tzw. ciemna materia i ciemna energia.

Nauka nie jest też w stanie wyjaśnić, dlaczego kilkadziesiąt stałych fizycznych ma taką, a nie inną wartość – a nawet niewielka ich zmiana uniemożliwiłaby powstanie życia.

Niezależnie od tego – wiele sensownych i ważnych pytań wykracza poza możliwość odpowiedzi na gruncie nauki. Na przykład – dlaczego w ogóle istnieją prawa fizyki?

**Słowa kluczowe:** mechanika kwantowa, teoria względności, era Plancka, ciemna materia, ciemna energia, zasada antropiczna

**Key words:** quantum mechanics, relativity theory, Planck Epoch, dark matter, dark energy, anthropic principle

Wykład ten poświęcony jest pytaniu – czy nasza wiedza może się rozwijać w nieskończoność, tak że, hipotetycznie, nauka może odpowiedzieć na każde sensownie zadane pytanie? Jeżeli nie, to gdzie mogą być granice tego poznania? Gdzie one obecnie przebiegają i czy daleko jesteśmy od tej ostatecznej granicy? Na jakie pytania nauka nigdy nie odpowie, nie z powodu braku metod, tylko z powodu immanentnej niemożliwości odpowiedzi? Gdzie jest miejsce na wiarę i czy rozszerzanie wiedzy powoduje kurczenie obszaru, który wymaga wiary, a nie wiedzy?

Zacznijmy od pewnych uwag ogólnych. Wiek XX był świadkiem niebywałego sukcesu fizyki – nasze rozumienie podstaw i fundamentalnych praw

rządzących światem materialnym niezmiernie się poszerzyło, a ich zastosowanie dało możliwość zbudowania radia, telewizji, lotu na Księżyc, powstania coraz szybszych komputerów, telefonii komórkowej, GPS-u, odtwarzaczy DVD, kuchenek mikrofalowych, laserów – tu można by godzinami wymieniać. Ten pochód od sukcesu do sukcesu w wyjaśnianiu kolejnych zjawisk i wdrażaniu kolejnych wynalazków może sprawiać wrażenie, że w zasadzie wszystko jest znane, wystarczy tylko te prawa fizyki znać, mieć wystarczającą wyobraźnię jak je zastosować i czeka nas w zasadzie nieograniczony rozwój. Chciałbym opowiedzieć w czasie tego wykładu, że nasza wiedza, choć rzeczywiście nieporównanie większa niż, powiedzmy, sto lat temu, ma granice, i te granice wydają się wskazywać, że czegoś fundamentalnie nie rozumiemy.

W wieku XX powstały dwie teorie, które radykalnie zmieniły nasze rozumienie świata: mechanika kwantowa i ogólna teoria względności.

Mechanika kwantowa uważana jest za dziedzinę nieco ezoteryczną, i jest to do pewnego stopnia prawdą, ale jeden wniosek jest jasny: to co do tej pory pokutuje w szkole, że świat jest deterministyczny i dający się przewidzieć – jest po prostu nieprawdziwe. Nadal nie rozumiemy indeterminizmu zawartego w mechanice kwantowej i to indeterminizmu immanentnie wbudowanego, a nie wynikającego z naszej niewiedzy, przeciw czemu burzył się do końca Einstein („Bóg nie gra z Wszechświatem w kości”) i choć potrafimy z niezwykłą skutecznością operować prawami, to np. proces pomiaru nadal jest koncepcyjnie zupełnie niezrozumiały. Jak będziemy coraz dokładniej dociekać co się dzieje w tym stole, to na wystarczająco mikroskopowym poziomie obraz zacznie się nam rozmywać i to, że stół wygląda na dobrze określony obiekt klasyczny, wynika z ogromnej liczby tych rozmytych obiektów, z których się składa. Wszystko (w szczególności tzw. nierówności Bella) wskazuje na to, że już tutaj napotykamy immanentną granicę poznania, ale musimy to z całą pewnością lepiej zrozumieć.

Druga teoria, stworzona przez Einsteina w 1915 roku, opisuje oddziaływania grawitacyjne i w szczególności umożliwia opis Wszechświata jako całości (co nie jest możliwe w ramach teorii grawitacji Newtona). Jej konstrukcja jest niezwykle piękna prosta i elegancka i teoria ta potwierdzona jest przez wszystkie przeprowadzone dotąd obserwacje. Oddziaływania grawitacyjne są, z zupełnie niewyjaśnionych powodów, niezwykle słabe w porównaniu z innymi oddziaływaniami, dlatego widoczne są jedynie wtedy, gdy inne oddziaływania w danej sytuacji są zaniedbywalne. Np. w akceleratorach cząstek elementarnych w ogóle nie uwzględnia się oddziaływania grawitacyjnego, ponieważ naładowane cząstki elementarne podlegają o wiele rzędów wielkości większym oddziaływaniom elektromagnetycznym, słabym czy silnym. Również dlatego oddziaływania te są widoczne tylko wtedy, gdy masy są wystarczająco duże – my czujemy oddziaływanie grawitacyjne Ziemi, ale oddziaływanie mojej masy na np. lampę jest całkowicie nieistotne.

Dzięki tej niewyjaśnionej zupełnie słabości oddziaływania grawitacyjnego, Słońce, Ziemia i inne ciała kosmiczne mogą być tak duże – gdyby oddziaływanie

grawitacyjne protonów było podobnie silne jak ich odpychanie kulombowskie, to Słońce składałoby się najwyżej z kilkuset protonów...

Jednym z największych osiągnięć Ogólnej Teorii Względności była możliwość globalnego opisu Wszechświata. Einstein od razu to zauważył i stworzył statyczny model Wszechświata, zresztą całkowicie niezgodny z późniejszymi obserwacjami. Stworzony później model tzw. Wszechświata Friedmanna-Robertsona-Walkera opisuje Wszechświat rozszerzający się, który kiedyś był gorący i gęsty, a teraz jest zimny i bardzo rzadki. (Żeby sobie uzmysłowić jak rzadki, można powiedzieć, że wypełnienie całej kuli ziemskiej średnią gęstością, jaką ma Wszechświat, dałoby w sumie masę małego kryształka soli).

Tu napotykaamy drugą z granic naszej niewiedzy: czy cofając się w czasie umiemy opisać Wszechświat aż do najwcześniejszych chwil? Okazuje się, że dla chwil wcześniejszych niż  $10^{-12}$  s, odpowiadających energiom, jakich już nie jesteśmy w stanie wytworzyć w akceleratorach, nie wiemy jaki był skład Wszechświata, choć potrafimy opisać jego ekspansję. Ta niewiedza nie wydaje się być niewiedzą fundamentalną.

Prawdziwy problem napotykaamy jednak dla chwil wcześniejszych niż  $10^{-42}$  s (ten czas jest tak mały ze względu na wspomnianą wyżej słabość oddziaływania grawitacyjnego), kiedy energie cząstek były tak wielkie, że oddziaływanie grawitacyjne było równie silne jak inne oddziaływania. Istnieją bardzo przekonujące argumenty, że musi załamać się Ogólna Teoria Względności, a nie mamy ogólniejszej teorii, żeby móc Wszechświat w tak wczesnym okresie opisać – nawet nie wiemy czy wcześniej istniał czas, żeby w ogóle zapytać, co było wcześniej! Ten okres nazywa się erą Plancka (który pierwszy zwrócił uwagę, że przy takich energiach powinna pojawić się nowa fizyka) i w powszechnym przekonaniu fizyków związany jest z zupełnie nowymi prawami tzw. kwantowej teorii grawitacji, której szukamy od kilkadziesiąt lat z bardzo umiarkowanymi sukcesami. W związku z tym nie możemy na podstawie obecnie znanych teorii powiedzieć, czy Wszechświat miał początek, czy też może ma on znacznie dłuższą historię niż te 13,8 mld lat, które teraz obserwacyjnie widzimy. Ten problem uważany jest za największe wyzwanie stojące przed fizyką teoretyczną.

Ostatnie obserwacje kosmologiczne sugerują, że dominujący wkład do energii Wszechświata dają obiekty na pewno nienależące do znanych cząstek czy pól – tzw. ciemna materia i ciemna energia (tak nazwane, gdyż albo w ogóle nie emitują, ani nie absorbują fotonów, albo czynią to tak słabo, że nie mogło do tej pory zostać wykryte). Wynika z tego, że znamy do tej pory jedynie ok. 4 % składu Wszechświata, a 96 % pozostaje do odkrycia.

O ile istnieją różne propozycje, jakie nowe, nieznanne dotąd cząstki mogą stanowić ciemną materię (czyli około 28 % energii Wszechświata), to prawdziwą zagadkę stanowi ciemna energia. Stanowi obecnie około 68 % energii Wszechświata i ma zdumiewające własności – przy rozszerzającym się Wszechświecie ma stałą gęstość i w dodatku stałe ujemne ciśnienie. Nie znamy na Ziemi jakiegokolwiek układu czy substancji choć w przybliżeniu mających takie

własności. Tu należy wspomnieć fakt, że w OTW nie ma zasady zachowania energii i dla odpowiednich pól grawitacyjnych energia może się efektywnie rodzić z niczego i znikać (takie same własności ma wprowadzona przez Einsteina do jego równań tzw. stała kosmologiczna). Jednak z punktu widzenia fizyki niezwykle trudno jest uzasadnić obecność takiej stałej we Wszechświecie – jakiegokolwiek próby oszacowania jej wielkości dają wartości o kilkadziesiąt rzędów większe niż rzeczywiście obserwowana. Wielu (w tym ja) uważa, że wyjaśnienie, czym jest ciemna energia i dlaczego ma tak małą wartość, będzie wymagało tego, co jest również konieczne do opisu najwcześniejszego Wszechświata, mianowicie zrozumienia kwantowej grawitacji. Choć spodziewam się, że stworzenie kwantowej teorii grawitacji całkowicie zmieni nasze rozumienie fizyki, w szczególności czasu i przestrzeni, to nie wydaje się, że napotkamy tutaj granicę ostateczną inną, niż wynikająca z samego faktu, że będzie to teoria kwantowa.

Istnieje inna bardzo poważna granica naszej wiedzy. W opisie fizyki na poziomie fundamentalnym występuje kilkadziesiąt stałych – np. masa elektronu, masy kwarków, stałe sprzężenia oddziaływań, których nie jesteśmy w stanie w jakikolwiek sposób „wyjaśnić”, tzn. znaleźć między nimi związków, wynikających z jakiejś np. zasady symetrii. Jednocześnie wartość (w każdym razie niektórych) z tych stałych jest absolutnie kluczowa dla naszego istnienia i, na tyle na ile potrafimy to przewidzieć, odejście od tych wartości w którąkolwiek stronę dałoby zupełnie inny Wszechświat i na pewno nie moglibyśmy się tu spotkać. Np. zmiana wartości masy elektronu spowodowałaby, że Słońce albo gwałtownie by się spaliło albo w ogóle by się nie zapaliło; większa siła oddziaływania kulombowskiego spowodowałaby, że neutron byłby lżejszy niż proton, więc nie byłoby we Wszechświecie wodoru; nieznaczne zwiększenie siły oddziaływania jądrowego spowodowałoby, że neutron rozpadałby się znacznie szybciej, więc we Wszechświecie byłby tylko wodór; mała zmiana tej siły zmieniałaby poziomy energetyczne jądra węgla, więc wszystkie gwiazdy kończyłyby ewolucję na helu lub nie istniałby deuter, więc nawet helu by nie było itd. Nie starcza nam wyobraźni, żeby opisać wszystkie konsekwencje takich zmian stałych, ale z całą pewnością byłyby one dla nas katastrofalne.

Takie nawet niezwykle małe zmiany wpłynęłyby również na ewolucję Wszechświata – jak wskazują obliczenia Wszechświat taki, jakim go znamy, niezbyt gęsty, ale i niezbyt rzadki jest bardzo czuły na warunki początkowe i niezwykle łatwo może wpaść albo w zbyt szybkie rozszerzanie, kiedy nie mogą powstać gwiazdy ani żadne inne struktury, albo zbyt wolne, kiedy bardzo szybko zaczyna się zapadać – w obydwu przypadkach nie byłoby nas tutaj.

Oprócz granic naszej wiedzy związanych stricte z fizyką, istnieją pytania, które można w sposób prawomocny zadać, ale na które odpowiedź wykracza poza naukę – są już one poza tą ostateczną granicą poznania, o której mówiliśmy we wstępie.

Jednym z takich pytań – sensownych, ale bez możliwości odpowiedzi na gruncie nauki – jest, dlaczego w ogóle istnieją prawa fizyki? Jeżeli zastanowimy

się nad tym, to jest całkowicie niezrozumiałe dlaczego świat podlega jakimkolwiek, a tym bardziej obowiązującym zawsze i wszędzie, prawom. Stanem naturalnym jest chaos, a nie porządek. Gdyby jednak światem materialnym rzeczywiście rządził chaos, to nie tylko byśmy natychmiast przestali istnieć, ale również, co dla mnie znacznie gorsze, niczego nie byłibyśmy w stanie zrozumieć. Wystarczy sobie wyobrazić co by się stało, gdyby choć na chwilę grawitacja zmieniła kierunek i z przyciągającej zmieniła się na odpychającą... Fakt, będący podstawą naszego istnienia, przewidywania i w ogóle racjonalności – taki oto, że świat materialny jest uporządkowany i logiczny, jest całkowicie niewytłumaczalny i powinien budzić nasze najwyższe zdumienie. Gdyby ktoś mnie spytał, co w nauce może być wskazówką, że istnieje jakaś transcendentja („trans” + „scandere”), to bym powiedział, że właśnie sam fakt, że nauka w ogóle może istnieć. Jaka jest ta transcendentja, czy jest to osobowy Bóg, pozostaje w każdym przypadku kwestią wiary.

Chciałbym zakończyć niezwykle głębokim zdaniem Einsteina:  
„Najbardziej niezrozumiałe jest to, że w ogóle cokolwiek daje się zrozumieć...”.

## **Abstract**

### **Limits of Knowledge**

Considering the incredible progress in physics and technology, we may be surprised to realize that there are limits to scientific knowledge. Quantum mechanics indicates indeterminism of the world. General Relativity Theory allows global description of the Universe – but when we try to discover its history, we cannot go back to the earliest moments of its existence. Cosmology suggests that we know only 4% of what the Universe consists of – the rest is called “dark matter” and “dark energy”.

Science is not able to explain why several basic constants in physics have such specific value. Even a slight change would make the existence of life impossible. And finally – there are many reasonable and important questions which don't have answers in the realm of science. For example – why at all are there any laws of physics?

### **Nota o autorze**

Krzysztof A. Meissner jest absolwentem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Pracuje w Instytucie Fizyki Teoretycznej na Wydziale Fizyki UW. Rozprawę habilitacyjną obronił w 1997 roku; tytuł profesora otrzymał w roku 2007. W swojej pracy naukowej zajmuje się głównie teorią cząstek elementarnych. Uczestniczy m.in. w badaniach Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN. Jest autorem książki „Klasyczna teoria pola”. Wielokrotnie (ponad 100 razy) wygłaszał wykłady w Europie, Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. Jest również znanym popularyzatorem nauki.