

Ks. Wojciech Piotr GRYGIEL
 Uniwersytet Papieski Jana Pawła II

CZY HAWKING I PENROSE SPIERAJĄ SIĘ O TO SAMO, CO EINSTEIN Z BOHREM?

Nikogo nie trzeba przekonywać, iż kontrowersje pomiędzy wielkimi myślicielami i naukowcami stanowią ożywczy element w historii intelektualnego wysiłku człowieka. Co więcej, te kontrowersje, które pozostawiły po sobie istotny ślad, były kontrowersjami w kwestiach fundamentalnych, dotyczących zagadnień, których rozstrzygnięcie mogło istotnie zaważyć nad kierunkami filozoficznej refleksji przyszłych pokoleń. Niektóre z nich pozostały nierozwiązane do dziś, czego najlepszym dowodem jest wskrzeszony w kontekście współczesnej filozofii matematyki *spór o uniwersalia*¹ Inne natomiast, jak choćby słynny spór Leibniza z reprezentującym poglądy Izaaka Newtona, Samuelem Clarkiem, dotyczący kwestii rozumienia czasu i przestrzeni, znalazł swoje rozwiązanie w uściślonej i uogólnionej teorii fizycznej, jaką była ogólna teoria względności Alberta Einsteina² Chyba też nie bez podstawy jest twierdzenie, iż spory bywają zwiastunami znaczących przełomów myślowych, owocujących pogłębieniem rozumienia badanych rzeczywistości. W centrum takiego przełomu znalazł się jeden z najbardziej osławionych sporów fizyki początku XX w. – spór pomiędzy Albertem Einsteinem i Nielsem Bohrem. Sytuacja, w której pojawiły się dwie nowe teorie, rewolucjonizujące dotychczasowy obraz świata – *mechanika kwantowa* oraz wspomniana już *ogólna teoria względności* – niewątpliwie stanowiła moment szczególnego napięcia, kiedy szereg podstawowych pojęć fizyki klasycznej, takich jak *czas*, *przestrzeń* czy też *determinizm* musiało ulec istotnym przeobrażeniom. Choć prowadzony w kontekście raso-

¹ Por. W. V. O. Quine, *O tym, co istnieje*, [w:] *Z punktu widzenia logiki*, Warszawa 1969, s. 26. Por. także M. Heller, W. Skoczny, J. Życiński, *Spór o uniwersalia a nauka współczesna*, Kraków 1991 lub: R. Murawski, *Filozofia matematyki: zarys dziejów*, Warszawa 2001, s. 177–181.

² Por. M. Heller, *Filozofia przyrody: zarys historyczny*, Kraków 2006, s. 77–112.

wej” fizyki, spór Einsteina z Bohrem wyrósł na gruncie na wskroś filozoficznym, kiedy w wątpliwość podany został absolutny determinizm, utrwalony w umysłach fizyków od czasów Newtona. Protest Einsteina przeciwko indeterminizmowi mechaniki kwantowej, wyrażony w słynnym stwierdzeniu, iż „Pan Bóg nie gra w kości”, świadczy o konceptualnej wadze przytaczanych argumentów.

We wstępie do książki Stephena Hawkinga i Rogera Penrose’a, zatytułowanej *Natura czasu i przestrzeni*, stanowiącej zapis debaty między nimi w ramach serii wykładów w Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences w Cambridge University w 1994 r., znany matematyk brytyjski, Michael Atiyah, stwierdza, że:

w pewnym sensie debata pomiędzy Penrose’em i Hawkingiem stanowi kontynuację wcześniejszej kontrowersji, gdzie Penrose odgrywa rolę Einsteina natomiast Hawking Bohra³.

Oczywiście, nietrudno zgodzić się z Atiyahem, że zagadnienia dyskutowane współcześnie przejawiają dużo wyższy stopień pojęciowej złożoności, angażując nie tylko ściśle techniczne rozstrzygnięcia, ale także i argumenty natury filozoficznej. W grę wchodzi bowiem kwestia przewyciężenia pojęciowych rozbieżności mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności i zunifikowania ich w jedną spójną teorię *kwantowej grawitacji*. Skojarzenie Hawkinga z Bohrem może wydawać się wręcz automatyczne choćby ze względu na dokonaną przez niego trawestację wspomnianego powyżej *dictum* Einsteina, iż

Pan Bóg nie tylko gra w kości, ale czasem także myli nas, wrzucając je tam, gdzie ich nie widać⁴

Bacniejsza analiza granic, po których przebiega kontrowersja między Hawkingiem i Penrose’em, wskazuje jednak, iż postrzeganie jej jako kontynuacji sporu Bohr – Einstein nie jest do końca adekwatne. Innymi słowy, Penrose’a nie sposób do końca uważać za uosobienie Einsteina, a stanowisko Hawkinga nie jest wierną repliką czy też nawet rozszerzeniem naukowego profilu Nielsa Bohra. Celem niniejszej pracy jest więc wnikliwe rozważenie tezy Michaela Atiyaha, czemu posłuży szczegółowa analiza sporu Stephena Hawkinga z Rogerem Penrose’em z wyakcentowaniem istotnych rozbieżności w fizycznym warsztacie oraz filozoficznych preferencjach tych dwóch wielkich bohaterów współczesnej fizyki.

³ S. Hawking, R. Penrose, *The Nature of Space and Time*, Princeton 1996, s. VII.

⁴ Tamże, s. 26.

DLACZEGO ZAISKRZYŁO POMIĘDZY BOHREM I EINSTEINEM?

Polemice pomiędzy Nielsem Bohrem a Albertem Einsteinem, która rozgorzała na początku lat 20. ubiegłego stulecia, poświęcono bardzo wiele opracowań⁵. Stanowi ona bowiem fascynujący zapis zmagania się tych badaczy z zupełnie nowymi i pojęciowo obcymi narzędziami opisu, wniesionymi do fizyki wraz z powstaniem mechaniki kwantowej. W takich momentach z jednej strony doprecyzowaniu ulega zakres funkcjonowania pojęć klasycznych, z drugiej jednak wyeksponowana zostaje ich nieadekwatność w penetrowaniu rzeczywistości mikroświata. Może się jednak okazać, iż przyzwyczajenie do paradygmatu fizyki klasycznej jest tak silne, iż stwarza ono istotną przeszkodę w zaakceptowaniu conceptualnego przełomu, jakiego wymaga nowa teoria. O ile Albert Einstein sam dokonał przełomu w newtonowskim rozumieniu czasu i przestrzeni poprzez wprowadzenie pojęcia czasoprzestrzeni o zmiennej geometrii, o tyle nigdy nie wyswobodził się z przekonania, iż prawa fizyki muszą podlegać ścisłemu *determinizmowi* oraz spełniać warunek *ciągłości*. Determinizm rozumiany jest tutaj jako jednoznaczność trajektorii danego układu w czasie przy zadanych warunkach początkowych oraz równaniu ewolucji czasowej. Natomiast warunek ciągłości implikuje istnienie dowolnych *punktowych* położenia badanych obiektów w czasoprzestrzeni, przez co stają się one rozróżnialne i uzyskują swoją tożsamość. Pozwala to także na wprowadzenie pojęcia przyczynowości, które rozumiane jest jako możliwość przesłania sygnału wewnątrz stożka światła wzdłuż krzywych *czasopodobnych*. Taka specyfika praw fizyki wynika ze struktury matematycznej klasycznych różniczkowych równań pola, które dają rozwiązania w postaci gładkich funkcji klasy C^n . Ogólna teoria względności wykorzystuje te własności, które w uogólnionej postaci, występują w matematycznej strukturze tej teorii, jaką jest *czterowymiarowa rozmaitość różniczkowa*⁶. Wbrew panującej wówczas pozytywistycznej hegemonii Einstein żywił przekonanie, iż teoria nie jest jedynie formalną strukturą matematyczną, pozwalającą na systematyzowanie oraz przewidywanie wyników pomiarów, ale że dostarcza swoistego „okna na świat”. Stąd też bierze się Einsteinowski realizm, w myśl którego

jeżeli bez jakiegokolwiek zaburzenia systemu, możemy z pewnością (to jest z prawdopodobieństwem równym jedności) przewidzieć wartość wielkości fizycznej, wówczas istnieje element rzeczywistości fizycznej odpowiadający tej wielkości⁷

⁵ Por. M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of QM in historical perspective*, John Wiley and Sons 1974, s. 471–474.

⁶ Por. M. Heller, *Some Mathematical Physics for Philosophers*, Rome 2005.

⁷ A. Einstein, B. Podolski, N. Rosen, *Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?*, „Physical Review” 47:1935, s. 777.

Niels Bohr natomiast należał do grona badaczy, dla których bardziej istotne znaczenie posiadał eksperymentalny fakt, niż elegancja matematycznej struktury teorii, dlatego też potraktował wszystkie osławione eksperymenty początku XX w. (promieniowanie ciała doskonale czarnego, efekt fotoelektryczny, efekt Comptona), prowadzące do dualizmu korpuskularno-falowego, jako zwiastuny odmiennych własności na poziomie mikroświata. Z uwagi jednak na fakt, iż formalizm mechaniki nie umożliwiał na fizyczne zinterpretowanie abstrakcyjnych elementów teorii (np. *funkcja falowa*), Bohr zasugerował, aby na mocy *zasady korespondencji* jedynym prawomocnym opisem był język fizyki klasycznej. Adekwatność tego języka napotyka jednak na bardzo istotne ograniczenie, ze względu na *dyskretny* (nieciągły, niepodzielny) charakter kwantu działania $\hbar\nu$, który pozwala dokonywać pomiarów jedynie ze skończoną dokładnością, wynikającą z zasady nieoznaczoności Heisenberga. Argumentację Bohra w przejrzysty sposób podsumowuje Max Jammer⁸: 1) niepodzielność kwantu działania; 2) nieciągłość (niepodzielność) procesów elementarnych; 3) niekontrolowalność oddziaływania pomiędzy badanym układem i urządzeniem pomiarowym; 4) brak możliwości czasoprzestrzennego, a przez to przyczynowego opisu; 5) odrzucenie klasycznego sposobu opisu rzeczywistości kwantowej. Innymi słowy, dokonanie pomiaru na układzie kwantowym powoduje redukcję opisującego go wektora falowego, a otrzymane wartości obserwabli są jedynie *odpowiedziami* układu na pomiar, nie dając wglądu w stan układu pomiędzy pomiarami⁹ Co więcej, oddziaływanie pomiędzy badanym układem a urządzeniem pomiarowym wnosi do wyników pomiarów element probabilistyczny, wskutek czego wartości obserwabli otrzymywane są z odpowiednimi prawdopodobieństwami, zadanymi zgodnie z regułą Maksa Borna przez *kwadrat amplitudy* funkcji falowej. Oparta na wymienionych przesłankach *interpretacja kopenhaska* mechaniki kwantowej stanowiła istotne wyzwanie dla determinizmu, będącego dziedzictwem teorii klasycznych, tak bliskich w swoich założeniach Albertowi Einsteinowi. W swoim nacisku na aspekt empiryczny badanych zjawisk, interpretacja kopenhaska ewidentnie pozostaje w nurcie *pozytywistycznym* i nie rości sobie pretensji do „otwierania okien na świat kwantowy” Jej twórcy: Bohr, Heisenberg oraz Born, uważali tak zinterpretowaną mechanikę kwantową za teorię ostateczną, niewymagająca dalszej modyfikacji.

⁸ M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics...*, s. 101.

⁹ Por. N. Bohr, *Quantum Mechanics and Physical Reality*, „Nature” 136:1935, s. 1025.

PENROSE I HAWKING: FIZYCY RÓŻNIE FILOZOFUJĄCY

Wielu znaczących fizyków wzbrania się przed uprawianiem filozofii, uważając, iż jedynie fizyka dostarcza wiedzy wiarygodnej, natomiast filozofia jest domeną fantastów. Choćby na podstawie powyższych rozważań nietrudno się jednak przekonać, iż tak Albert Einstein¹⁰, jak i Niels Bohr¹¹ zajmowali konkretne stanowiska filozoficzne, wynikające z ich głębokiej refleksji nad szerszym kontekstem dokonywanych przez nich odkryć naukowych, a także nad samą metodą, jaką posługuje się współczesna fizyka. Warto pamiętać, iż nawet, jeśli to jest stanowisko *pozytywistyczne*, jakiemu bliski (lecz nie do końca) był Niels Bohr, to kryje się za nim sprecyzowany pogląd na poznawalność rzeczywistości fizycznej (lub jej brak), a także ontologiczny status teorii, wykorzystywanej do jej opisu. Stąd też uzasadniona wydaje się teza, iż uprawianie fizyki z reguły implikuje mniej lub bardziej uświadomione stanowiska filozoficzne.

Teza Michaela Atiyaha, iż kontrowersja pomiędzy dwoma wybitnymi współczesnymi fizykami: Rogerem Penrose'm i Stephenem Hawkingiem jest w pewnym sensie kontynuacją sporu pomiędzy Einsteinem i Bohrem z pewnością inspirowana jest podobieństwem filozoficznych zapatrywań Einsteina i Penrose'a oraz Bohra i Hawkinga. Patrząc w znacznym uproszczeniu, można stwierdzić, iż Penrose jest kontynuatorem realizmu Einsteina, natomiast Hawking wpisuje się w pozytywistyczne tendencje, nie zawsze słusznie kojarzone z postacią Bohra. Bliższa analiza problemu pokaże jednak, iż polaryzacja filozoficznych stanowisk Penrose'a i Hawkinga jest znacznie silniejsza niż w przypadku ich zacnych prekursorów, o czym przekonują liczne ich wypowiedzi, akcentujące wyraźnie ich filozoficzne poglądy, którym obecnie poświęcimy nieco uwagi.

Określenie filozoficznej postawy Rogera Penrose'a mianem *realizmu* wydaje się o tyle adekwatne, iż lektura kilku fundamentalnych pozycji jego autorstwa, takich jak choćby *Nowy umysł cesarza*¹², *Cienie umysłu*¹³ czy też *Droga do rzeczywistości*¹⁴, niezmiennie utwierdza w przekonaniu o istnieniu trzech oddzielnych światów: świata *matematyki*, świata *fizycznego* oraz świata *umysłu*¹⁵. Nietrudno jednak przekonać się,

¹⁰ Por. np. A. Einstein, *Pisma filozoficzne*, Warszawa 1999.

¹¹ Por. np. N. Bohr, *Philosophical Writings*, t. 1–4, Woodbridge 1987.

¹² R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, tłum. P. Amsterdamski, Warszawa 2000.

¹³ Tenże, *Cienie umysłu*, tłum. P. Amsterdamski, Poznań 2000.

¹⁴ Tenże, *Droga do rzeczywistości*, tłum. J. Przysławka, Warszawa 2006.

¹⁵ Tenże, *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*, New York 2005, s. 1029.

iż realizm ten nie ma nic wspólnego z realizmem *substancjalnym*, w którym zakłada się istnienie rozróżnialnych (indywidualnych) obiektów w świecie fizycznym. Kładąc tak wielki nacisk na matematyczną strukturę praw fizyki, Penrose poszukuje drogi do rzeczywistości poprzez skonstruowanie ogólnej teorii, pozwalającej na zrozumienie całokształtu praw rządzących Wszechświatem.

Swoistą „matrycę” dla praw fizyki stanowi, zdaniem Penrose’a, platoński świat struktur matematycznych, istniejący niezależnie od świata fizyki i będący w stosunku do niego bardziej pierwotny. Można wręcz odnieść wrażenie, iż Penrose w swoich filozoficznych zapatrywaniach nawiązuje do *pitagoreizmu*, traktującego liczby naturalne jako podstawowe tworzywo rzeczywistości (*arche*). Próbuje on bowiem wykazać, iż zbiór liczb *zespoleonych* stanowi najbardziej „utrafioną”, czy wręcz daną przez Boga strukturę matematyczną w opisie rzeczywistości fizycznej¹⁶ Również stworzona przez niego teoria *twistorów*, którą Penrose wykorzystuje do skonstruowania teorii kwantowej grawitacji, oparta jest na algebrze liczb zespolonych¹⁷ Innymi słowy, ostateczne dotarcie do najbardziej fundamentalnego poziomu rzeczywistości równoważne będzie odgadnięciu pełnej matematycznej struktury praw, które nią rządzą. W takim postawieniu sprawy Penrose wyraża swoje pełne przekonanie, iż istnieje obiektywny przedmiot badań fizyki, do którego dostęp umożliwia matematyka. Stwierdza on bowiem jasno:

potrzebujemy pojęcia rzeczywistości fizycznej, nawet jeśli ma to być pojęcie tymczasowe lub przybliżone. Bez niego bowiem nasz obiektywny Wszechświat, a z nim całość nauki, po prostu wyparowują sprzed naszego kontemplacyjnego oglądu¹⁸

Przykładowo, jak wskazano już w osobnym opracowaniu dotyczącym interpretacji mechaniki kwantowej¹⁹, ontologię – czyli modelowaną strukturę rzeczywistości fizycznej – stanowi dla Penrose’a matematyczny formalizm, odpowiadający danej interpretacji. Stanowisko takie można bez wahania określić mianem *naukowego realizmu*, zgodnie z którym naukowa teoria dobrze odwzorowuje strukturę rzeczywistości fizycznej²⁰

Przedstawione powyżej filozoficzne poglądy Rogera Penrose’a wydają się korespondować z tezami głoszonymi przez Alberta Einsteina, co

¹⁶ Por. R. Penrose, *The Road to Reality...*, s. 71–102, 1035.

¹⁷ Por. np. S. Hawking, R. Penrose, *The Nature of Space...*, s. 105–120.

¹⁸ R. Penrose, *The Road to Reality...*, s. 508.

¹⁹ W. P. Grygiel, *Interpretacje mechaniki kwantowej jako ontologii mikroświata w ujęciu Rogera Penrose’a*, „Logos i Ethos” 1:2008, s. 59–72.

²⁰ Por. M. Heller, *Filozofia nauki: wprowadzenie*, Kraków 1992, s. 43–44.

manifestuje się w dwóch istotnych aspektach. Pierwszy z nich dotyczy przekonania, iż teoria fizyczna nie jest, jak twierdzą pozytywiści, jedynie narzędziem do systematyzowania oraz przewidywania wyników pomiarów, ale stanowi swoiste „okno na świat”, które dostarcza informacji o strukturze obiektywnie istniejącej rzeczywistości fizycznej. Drugi natomiast uwzględnia możliwość wykorzystania pojęć estetycznych, takich jak *piękno* czy *prostota* struktury matematycznej, jako wyznaczników adekwatności teorii²¹. Choć metafizyczny charakter tych kryteriów zdecydowanie wykracza poza pozytywistyczny paradygmat empirycznej weryfikowalności, to jednak ich znaczenie podkreślane było także przez innych czołowych fizyków, takich jak przykładowo Paul Dirac:

ważniejsze jest, aby w równaniach widać było piękno, niż aby odpowiadały eksperymentom²²

W przeciwieństwie do przedstawionych poglądów Einsteina i Penrose'a, nawet pobieżna lektura wypowiedzi Stephena Hawkinga zdradza jego pozytywistyczną orientację w uprawianiu fizyki. W swojej debacie z Rogerem Penrose'm, zamieszczonej w ramach podsumowania *Natury czasu i przestrzeni*, Hawking stwierdza, co następuje:

Te wykłady wykazały bardzo jasno różnicę pomiędzy mną a Rogerem. On jest platonikiem, a ja jestem pozytywistą. Przejmuje się on tym, że kot Schrödingera znajduje się w stanie kwantowym, w którym jest na pół żywy i na pół zdechły. Rogerowi wydaje się, że to nie może odpowiadać rzeczywistości. Ale mi to nie przeszkadza. Nie wymagam, aby teoria odpowiadała rzeczywistości, ponieważ nie wiem, co to jest. Rzeczywistości nie można testować papierkiem lakmusowym. Interesuje mnie jedynie, aby teoria pozwalała przewidywać wyniki doświadczeń²³

Powyższa deklaracja Hawkinga, korespondująca na pierwszy rzut oka z *idealistyczną* formą pozytywizmu, zgodnie z którą jedyny przedmiot poznania mogą stanowić wrażenia zmysłowe, wydaje się być całkowitym zanegowaniem jakiegokolwiek postaci *realizmu*. Ocena tej tezy z perspektywy podejścia, jakie do mechaniki kwantowej prezentował Niels Bohr, jest jednak o tyle korzystna, iż pozwoli na ukazanie istotnych podobieństw filozoficznych stanowisk tych badaczy. Powszechnie wiadomo, iż *neopoztywizm* pierwszej połowy XX w., kiedy to powstały wiodące prace Bohra, nie przekreślał całkowicie poznawalności

²¹ Por. R. Penrose, *The Road to Reality...*, s. 1040.

²² P. A. M. Dirac, *The Evolution of the Physicist's Picture of Nature*, „Scientific American” 208:1963, s. 47.

²³ S. Hawking, R. Penrose, *The Nature of Space...*, s. 121.

materialnych obiektów fizycznych²⁴ W efekcie stawał się on *de facto fizykalizmem*, zgodnie z którym jedynymi prawomocnymi wypowiedziami z punktu widzenia fizyki są wypowiedzi określające stan ciał fizycznych. W takiej perspektywie czytelne staje się nazwanie filozoficznej postawy Bohra mianem *realizmu bytowego* (ang. *entity realism*), a nie *realizmu teorii*²⁵ Teoria stanowi jedynie narzędzie do systematyzowania i przewidywania wyników pomiarów. Sięgając do *Krótkiej historii czasu* Stephena Hawkinga, nietrudno przekonać się, iż prezentuje on bardzo zbliżony pogląd:

[...] teoria jest po prostu modelem wszechświata lub jego części oraz zbiorem reguł wiążących wielkości tego modelu z obserwacjami, jakie można wykonać. Teoria istnieje wyłącznie w naszych umysłach i nie można jej przypisywać żadnej innej rzeczywistości (cokolwiek miałyoby to znaczyć). Dobra teoria naukowa musi spełniać dwa warunki: musi poprawnie opisywać rozległą klasę obserwacji, opierając się na modelu, zawierającym tylko nieliczne dowolne elementy, i musi umożliwiać precyzyjne przewidywanie wyników przyszłych pomiarów²⁶

Postawa taka szczególnie dobrze przyjęła się na gruncie wczesnej mechaniki kwantowej, ponieważ abstrakcyjny charakter formalizmu przestrzeni Hilberta nie pozwalał na bezpośrednie skorelowanie tego formalizmu z elementami makroskopowej rzeczywistości fizycznej (zagadnienie *interpretacji* teorii). Zdaniem Nielsa Bohra tylko *zasada korespondencji* pozwala na próbę penetracji rzeczywistości mikroświata przy pomocy języka fizyki klasycznej, który jest jedynym poprawnym językiem opisu fizykalnego. Natomiast mechanika kwantowa, jako teoria, jest jedynie wytworem ludzkiego umysłu i nie odwzorowuje struktury świata kwantów.

Rzadko zwraca się jednak uwagę na fakt, iż tak samo jak kiedyś Bohr, tak i obecnie Hawking odnosi wyniki swoich teoretycznych przewidywań do obiektów fizycznych takich, jak *cząstki elementarne czy atomy*, powszechnie przyjmowanych jako realnie istniejące. Stopień złożoności aparatu matematycznego stosowanego przez Hawkinga, który z oczywistych względów wielokrotnie przewyższa pod tym względem kwantowy formalizm Nielsa Bohra, tym bardziej zachęca do tego, by nie doszukiwać się żadnych korelacji pomiędzy strukturą teorii a strukturą badanej przez nią rzeczywistości fizycznej i pozostać na poziomie

²⁴ Por. np. K. Ajdukiewicz, *Zagadnienia i kierunki filozofii. Teoria poznania, metafizyka*, Kęty 2003, s. 62–67.

²⁵ Por. H. Folse, *The Philosophy of Niels Bohr. The Framework of Complementarity*, Amsterdam 1985.

²⁶ S. Hawking, *Krótką historia czasu*, Poznań 2000, s. 21.

„czarnej skrzynki” przewidującej wyniki pomiarów. Nie da się ukryć, iż w takim podejściu tkwi znacząca metodologiczna niekonsekwencja, wynikająca z faktu, iż wartości wielkości fizycznych, przewidywanych przez teorię, przypisuje się obiektom, których istnienie nie jest w żaden sposób przez jej formalizm warunkowane, a jedynie zapożyczone z przedstawień, wypracowanych w ramach wcześniejszych koncepcji²⁷. Zagadnienie to poddane zostanie szczegółowej analizie i w osobnym opracowaniu.

Warto również zauważyć, iż omówiona różnica pomiędzy filozoficznym stanowiskiem Rogera Penrose’a i Stephena Hawkinga przyczyniła się zasadniczo do zdecydowanie innych strategii metodologicznych w potraktowaniu przez nich problemu *kwantowej grawitacji*. Obserwacja ta może nie wydawać się na wstępie oczywista, zwłaszcza, iż obaj ci fizycy (a także wielu innych) bardzo często podejmują zagadnienie *teorii wszystkiego*, w którym wyraża się ich przekonanie o jedności fizycznego świata (np. unifikacja oddziaływań). Filozoficzne przekonania Rogera Penrose’a o obiektywnym istnieniu platońskiego świata matematyki kazały mu przede wszystkim preferować rozwiązania, w których prawa przyrody zostaną wyrażone w postaci jednej, ogólnej struktury matematycznej (teoria *twistorów*), pozwalających na skonstruowanie tak podstawowych pojęć fizyki, jak czasoprzestrzeń. W takim podejściu swoje echo znajduje hipoteza Penrose’a, iż ostateczna teoria fizyczna będzie strukturą *niealgorytmiczną*. W odróżnieniu od Penrose’a, ostateczna teoria, poszukiwana przez Hawkinga, powinna posiadać charakter *algorytmiczny*, wynikający z faktu, iż stara się on stopniowo adaptować klasyczne metody do nowych zagadnień, wiedząc, iż metody zostały już uprzednio przetestowane (np. całkowanie po trajektoriach Feynmana). O tym jednak, że do podjęcia takiej strategii przekonują Hawkinga względy bardziej praktyczne, niż teoretyczne, niech poświadczy następujący fragment z *Krótkiej historii czasu*:

Bardzo trudno jest za jednym zamachem sformułować teorię, opisującą cały Wszechświat. Postępujemy więc inaczej, dzielimy problem na kawałki i wymyślamy różne teorie cząstkowe. Każda teoria opisuje pewien ograniczony zbiór obserwacji, pomijając inne wielkości lub opisując je w sposób uproszczony za pomocą paru liczb. Takie podejście może okazać się całkowicie fałszywe. Jeśli każde zjawisko we Wszechświecie połączone jest fundamentalnymi zależnościami ze wszyst-

²⁷ Jedną z metod przezwycięzenia tej trudności jest, w myśl sugestii ks. Michała Hellera, zastosowanie ontologii języków formalnych W. V. O. Quine’a do teorii fizycznych. Por. np. M. Heller, *Ontologiczne zaangażowania współczesnej fizyki*, [w:] *Filozofia i wszechświat*, Kraków 2006, s. 137–156 lub: tenże, *Kilka uwag o języku i ontologii*, [w:] tenże *Filozofia i wszechświat*, Kraków 2006, s. 157–160.

kimi innymi, to zapewne niemożliwe jest znalezienie pełnego rozwiązania przez badanie poszczególnych części problemu w izolacji. Niemniej jednak, postępując w ten sposób w przeszłości, osiągnęliśmy na pewno cenne rezultaty²⁸

KOŚĆ NIEZGODY: CO ZROBIĆ Z MECHANIKĄ KWANTOWĄ?

Teza Michaela Atiyaha, iż kontrowersja pomiędzy Rogerem Penrose'm a Stephenem Hawkingiem jest kontynuacją sporu pomiędzy Nielsem Bohrem i Albertem Einsteinem, napotyka na kolejną, skądinąd napomkniętą już przez niego samego, trudność. O ile bowiem spór Einsteina z Bohrem dotyczył natury mechaniki kwantowej jako nowo powstającej teorii, o tyle debata między Penrose'm i Hawkingiem dotyczy *de facto* zmagania o kształt przyszłej teorii *kwantowej grawitacji*, w której zjawiska kwantowe odgrywają fundamentalną rolę. Z uwagi jednak na fakt, iż w zmaganiach tych nie chodzi o samą mechanikę kwantową, ale o jej unifikację z ogólną teorią względności, zasadnicze pytanie w kontrowersji pomiędzy Penrose'm i Hawkingiem dotyczy kwestii, która z teorii musi ulec modyfikacjom, a która w swoim niezmiennym kształcie zostanie wchłonięta przez teorię kwantowej grawitacji. Z tego też powodu problemu tego nie powinno rozważać się osobno ani z punktu widzenia mechaniki kwantowej, ani teorii względności, ale z punktu widzenia potrzeb nowej teorii. Niemniej jednak, aby lepiej dostrzec jak spór Einsteina z Bohrem przekłada się na kontrowersję Penrose – Hawking, dalsza analiza przeprowadzona zostanie z punktu widzenia recepty na to, jak mechanikę kwantową „umieścić” w uogólnionym kontekście kwantowej grawitacji. Taka strategia analizy uzasadniona jest o tyle, iż tak Penrose, jak i Hawking, jasno deklarują swoje preferencje w tym zakresie, a to znacznie ułatwi sprecyzowanie, na ile kontrowersja między nimi kontynuuje różnice zdań, powstałe między Bohrem i Einsteinem.

Penrose: Einstein, ale nie do końca

Bardzo łatwo zasugerować się stwierdzeniem, iż tak Albert Einstein, jak i Roger Penrose traktują mechanikę kwantową jako teorię *niekompletną*. Obydwaj bowiem utrzymują, iż mechanika kwantowa w postaci, w jakiej była im znana, nie nadawała się na teorię poprawnie opisującą rzeczywistość fizyczną. Sprzeciw Alberta Einsteina względem tez głoszonych przez Bohra dotyczył przede wszystkim *indeterminizmu me-*

²⁸ S. Hawking, *Krótką historia czasu*, s. 22.

chaniki kwantowej, który stał w jawnej sprzeczności z einsteinowską, ściśle deterministyczną filozofią fizyki, zaprezentowaną w jednym z powyższych akapitów. Kwintesencja oporu Einsteina w stosunku do wizji praw przyrody, postulowanych przez formalizm mechaniki kwantowej, zawiera się w sformułowanym przez niego oraz jego współpracowników słynnym paradoksie EPR²⁹ Ujmując rzecz w największym skrócie, Einstein traktował jako paradoksalną możliwość efektów *nie-lokalnych*, sprzecznych z ograniczeniami, jakie na rozchodzenie się sygnałów w przyrodzie nakłada szczególna teoria względności. W takim podejściu wyraża się *konserwatyzm* Einsteina, usiłujący utrzymać klasyczny paradygmat fizyki. Jego zdaniem muszą istnieć dodatkowe zmienne ukryte (ang. *hidden variables*), które zagwarantują klasyczny charakter mechaniki kwantowej w jej ostatecznej, kompletnej formie.

W przeciwieństwie do opinii większości współczesnych fizyków, Roger Penrose klasyfikuje mechanikę kwantową jako teorię *niekompletną*, która w swoim obecnym kształcie nie może dostarczać pełnego obrazu rzeczywistości fizycznej. W tym momencie kończy się jednak zbieżność poglądów Penrose'a z Einsteinowskimi, ponieważ po propozycję rozwiązań sięga on bardzo śmiało poza klasyczny paradygmat fizyki. Matematyczna niespójność mechaniki kwantowej w jej obecnym kształcie jest, zdaniem Penrose'a, efektem nieusuwalnej niekompatybilności procesu unitarnej i odwracalnej ewolucji U wektora falowego z procesem jego nieodwracalnej redukcji R , jaka ma miejsce w momencie pomiaru³⁰ Niekompatybilność ta zniknie w ramach uogólnionej teorii kwantowej grawitacji, w której proces redukcji wektora falowego R ma być, według oczekiwań Penrose'a, *efektem grawitacyjnym*³¹ Nie ulega wątpliwości, iż uwzględnienie takiego mechanizmu wymaga znaczących korekt w formalizmie mechaniki kwantowej. Innymi słowy, to ogólna teoria względności ma dostarczyć wskazówek, jak zmodyfikować mechanikę kwantową dla potrzeb teorii kwantowej grawitacji.

Zdecydowanie nowatorski charakter rozwiązania Penrose'a ma swoje źródło również na bardziej fundamentalnym poziomie, jaki stanowi proponowana przez niego *struktura czasoprzestrzeni* w kwantowej teorii grawitacji. Większość współczesnych wysiłków unifikacyjnych, takich jak na przykład *zapętłona kwantowa grawitacja* czy też *przyczynowa dynamiczna triangulacja*³² prowadzi do koncepcji *dyskretnej (skwanto-*

²⁹ Por. przyp. 7

³⁰ Por. np. R. Penrose, *Road to Reality...*, s. 816.

³¹ Por. tamże, s. 842 n.

³² Por. R. Loll, *The Emergence of Spacetime, or Quantum Gravity on Your Desktop*, „Classical and Quantum Gravity” 11: 2008, arxiv.org/abs/0711.0273.

wanej) struktury czasoprzestrzeni na poziomie Plancka, gdy w opisie zjawisk grawitacyjnych nie można pominąć efektów kwantowych. Tymczasem w swojej propozycji, opartej na *teorii twistorów*, Roger Penrose odchodzi od klasycznego punktowego modelu czasoprzestrzeni, właściwego ogólnej teorii względności, twierdząc, iż czasoprzestrzeń wyłoni się dopiero z bardziej pierwotnych obiektów, jakimi, w jego mniemaniu, są twistory³³. Paradoksalnie jednak zabieg taki można w pewnym sensie traktować jako radykalizację stanowiska Einsteina, ponieważ zbiór liczb rzeczywistych, stanowiący podstawę opisu czasoprzestrzeni w teorii względności, zastąpiony zostaje przez Penrose'a w teorii twistorów zbiorem *liczb zespolonych*, stanowiących, jego zdaniem, fundament fizykalnego opisu rzeczywistości. Szersza analiza tego intrygującego projektu wykracza jednak poza ramy niniejszego opracowania i będzie przedmiotem przyszłych, szczegółowych badań.

Hawking: Bohr, ale nie do końca

Określenie Stephena Hawkinga mianem kontynuatora szkoły uprawiania fizyki, reprezentowanej przez Nielsa Bohra, wydaje się na pierwszy rzut oka niemal tak samo oczywiste, jak to miało miejsce w przypadku Penrose'a i Einsteina. Istotnie, jeśli wziąć pod uwagę ich pozytywistyczne preferencje w sposobie uprawiania fizyki, a także poglądy na status mechaniki kwantowej, to analogie narzucają się same. Tak w jednym, jak i w drugim przypadku, teoria ta traktowana jest bowiem jako *ostateczny* zestaw reguł, służący do opisu i przewidywania *zjawisk* na poziomie mikroświata, bez potrzeby jakichkolwiek odniesień ontologicznych do struktury badanej rzeczywistości. W konstrukcji kwantowej teorii grawitacji Stephen Hawking śmiało wykorzystuje sprawdzone techniki kwantowe w celu wprowadzenia odpowiednich modyfikacji do struktury ogólnej teorii względności. Co więcej, osiąga tą metodą znaczne sukcesy, jakimi są *promieniowanie Hawkinga* (parowanie czarnych dziur) oraz *model kwantowego stworzenia Wszechświata*. Jego zdaniem są to wskazówki co do głównych charakterystycznych cech przyszłej, zunifikowanej teorii. Na tym poziomie analizy można śmiało stwierdzić, iż strategia ta stanowi dokładne przeciwieństwo opisanych powyżej teoretycznych poczynań Rogera Penrose'a, dla którego mechanika kwantowa, a nie teoria względności, wymaga modyfikacji w procesie kwantowania grawitacji.

³³ Por. R. Penrose, *The Road to Reality...*, s. 962 n.

Głębsza analiza analogii pomiędzy Bohrem i Hawkingiem wymaga jednak bardziej szczegółowego przyjrzenia się różnicom, jakie zarysowują się w obrębie ich, wydawałoby się dość zbliżonych, pozytywistycznych stanowisk. O ile bowiem pozytywizm Bohra nie prowadził do całkowitej negacji obiektywnej rzeczywistości fizycznej, opisywanej przy pomocy klasycznego języka fizyki, o tyle Stephen Hawking jednoznacznie optuje za wizją fizyki w jej pełnym, pozytywistycznym wydaniu. Uwidacznia się to szczególnie w jego potraktowaniu zagadnienia czasu w kwantowym modelu stworzenia świata:

To sugeruje, że czas urojony jest naprawdę rzeczywisty, a to, co dziś uważamy za czas rzeczywisty, stanowi jedynie wytwór naszej wyobraźni. W rzeczywistym czasie wszechświat zaczyna się i kończy osobliwościami stanowiącymi brzeg czasoprzestrzeni, w których załamują się wszelkie prawa fizyki. Natomiast w urojonym czasie nie ma żadnych osobliwości ani brzegów. Być może zatem czas urojony jest bardziej podstawowy, a to, co nazywamy czasem rzeczywistym jest tylko koncepcją do opisu wszechświata. Zgodnie z moim stanowiskiem metodologicznym teoria naukowa to tylko matematyczny model służący do opisu obserwacji i istniejący w naszych umysłach. Nie ma zatem sensu pytać, co jest rzeczywiste: czas „rzeczywisty” czy „urojony”. Problem sprowadza się do tego, który z nich jest wygodniejszy do opisu zjawisk³⁴

Programowy brak ontologicznych odniesień oraz potraktowanie formalizmu teorii wyłącznie jako wytworu ludzkiego umysłu daje Hawkingowi nieograniczoną swobodę w dobieraniu stosownych narzędzi badawczych. Jedyne kryterium selekcji tych narzędzi jest ich udokumentowana skuteczność, stwarzająca perspektywę, że okażą się one użyteczne w rozstrzygnięciu problemów kwantowania grawitacji. Przykładowo, w swoim inauguracyjnym wykładzie, otwierającym *Naturę czasu i przestrzeni*, jasno stwierdza, że:

Pomimo, iż pojawiały się sugestie, iż czasoprzestrzeń może mieć strukturę dyskretną, nie widzę powodu dla porzucenia teorii ciągłych, które odniosły tak wielkie sukcesy. Ogólna teoria względności jest piękną teorią, która zgadza się ze wszystkimi dokonanymi obserwacjami³⁵

Intrygującym przykładem tego typu strategii, gdzie ciągłą czasoprzestrzeń poddaje się standardowym regułom kwantowania poprzez całkowanie po trajektoriach Feynmana, jest wspomniany powyżej *kwantowy model stworzenia świata Hartle-Hawkinga*³⁶, oparty na pojęciu funkcji

³⁴ S. Hawking, *Teoria wszystkiego...*, s. 89.

³⁵ S. Hawking, R. Penrose, *The Nature of Space...*, s. 4.

³⁶ Por. J. Hartle, S. W. Hawking, *Wave Function of the Universe*, „Physical Review” 28:1983, s. 2960–2975; filozoficzne i teologiczne implikacje modelu przedstawione są sze-

falowej Wszechświata. Nie wnikając w szczegóły jego matematycznego formalizmu, można bez większego trudu spostrzec w nim kilka teoretycznych zabiegów, podyktowanych czysto pragmatycznymi względami. Fakt ten trafnie podsumowuje ks. Michał Heller:

Przede wszystkim należy uświadomić sobie, iż model Hartle'a-Hawkinga nie jest kosmologicznym zastosowaniem dobrze ustalonej teorii kwantowej grawitacji (jak tego byśmy chcieli), lecz sam jest próbą (wysoco hipotetyczną) zastąpienia takiej teorii doraźnym modelem. Jest to model „hybrydowy”, nie wynikający z żadnych ogólnych zasad, lecz będący wynikiem wymuszenia na dwóch różnych metodach (całkowanie po drogach i geometria czasoprzestrzeni), by współpracowały ze sobą. Co więcej, model ten opiera się na trzech dość arbitralnie przyjętych założeniach³⁷

Z punktu widzenia niniejszego opracowania godny podkreślenia jest fakt, iż zastosowany przez Hartle'a i Hawkinga model czasoprzestrzeni jest sferycznym modelem czterowymiarowej przestrzeni, w której Wszechświat jest *przestrzennie zamknięty*. Nie jest to bynajmniej model, za którym przemawiałyby obecne badania eksperymentalne. W konsekwencji tak przestrzenie chwilowe, jak i „czasoprzestrzenne tuby”, konstruowane do łączenia przestrzeni odległych w czasie, z matematycznego punktu widzenia nie odbiegają zasadniczo niczym od ciągłego modelu ogólnej teorii względności Alberta Einsteina. Paradoksalnie więc, pragmatyzm Hawkinga prowadzi go zatem do wykorzystania modeli ściśle klasycznych, które usiłuje uzgodnić ze sprawdzonymi metodami kwantowania. Co więcej, kolejnym zabiegiem, który *de facto* niweluje czasoprzestrzeń *lorentzowską*, jest przemnożenie współrzędnej czasowej przez jednostkę urojoną *i* (zabieg stosowany często w kwantowej teorii pola). O ile z technicznego punktu widzenia pozwala to „zasklepić” tuby przestrzenne i uniknąć osobliwości w stanie odpowiadającym „nicości”, o tyle w interpretacji fizycznej implikuje to zanik różnicy pomiędzy czasem i współrzędnymi przestrzennymi w momencie „stworzenia” Model traci wówczas walor względności, powracając do czasoprzestrzeni, opisywanej metryką *riemannowską*, gdzie wszystkie współrzędne noszą ten sam znak. Nietrudno się więc dziwić, iż strategia Hartle'a i Hawkinga określana jest przez niektórych autorów mianem *euklidesowej kwantowej grawitacji*³⁸ W świetle takiego wyboru, choć podyk-

roko w: C. J. Isham, *Creation of the Universe as a Quantum Process*, [w:] R. J. Russell, W. R. Stoeger, G. V. Coyne, *Physics, Philosophy and Theology: A Common Quest for Understanding*, Vatican City 2000, s. 375–408.

³⁷ M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia Wszechświata*, Kraków 2008, s. 96.

³⁸ Por. J. Ambjorn, J. Jurkiewicz, R. Loll, *Samoorganizujący się kwantowy Wszechświat*, „Świat Nauki” 8:2004, s. 26–33.

towanego jedynie względami pragmatycznymi, a nie ontologicznymi, Stephen Hawking plasuje się na stanowisku wręcz przedeinsteińskim, co w tym względzie również oddala go od postawy Nielsa Bohra, optującego za poprawnością kwantowego opisu mikroświata.

* * *

Próba ostatecznej odpowiedzi na pytanie, postawione w tytule niniejszej pracy, czy Hawking z Penrose'm spierają się o to samo, co Bohr z Einsteinem, nie jest, jak wykazała powyżej zaprezentowana szczegółowa analiza zagadnienia, zadaniem prostym. W pierwszym rzędzie obie te kontrowersje dotyczą *de facto* innych zagadnień, choć rola mechaniki kwantowej, o której status boje toczyli Bohr z Einsteinem, pozostaje w dyskusji Hawkinga z Penrose'm nadal problemem fundamentalnym. Nie ulega bowiem wątpliwości, iż poziom pojęciowej złożoności jest w przypadku *kwantowania grawitacji* o wiele bardziej zaawansowany i wymaga znacznie bardziej abstrakcyjnych narzędzi teoretycznych, niż to miało miejsce w momencie narodzin mechaniki kwantowej. Jasno widać również, iż źródło obydwu kontrowersji głęboko tkwi w stanowiskach filozoficznych, które w przypadku debaty pomiędzy Hawkingiem i Penrose'm ulegają istotnej radykalizacji. Penrose konstruuje obszerną (czy wręcz totalną) ontologię trzech światów w stosunku do dość umiarkowanych ontologicznych deklaracji Einsteina, natomiast w kwestii ontologicznego statusu formalizmu teorii Hawking przyjmuje postawę wykluczającą wszelkie roszczenia co do ewentualnych odniesień do struktury badanej rzeczywistości, którą programowo czyni poznawczo niedostępną. Jest to ewidentne zaostrenie stanowiska w stosunku do Nielsa Bohra, który pojęciową niedostępność świata kwantów, limitowaną *zasadą korespondencji*, traktował raczej jako konieczne ograniczenie, niż metodologiczny manifest. Jednym z naczelných rezultatów niniejszego opracowania jest jednak stwierdzenie, iż Penrose to nie „czysty” Einstein, a Hawking to nie „czysty” Bohr. Innymi słowy, choć profil Rogera Penrose'a bardziej kojarzy się z Einsteinem, to jednak wyraźnie zawiera on elementy właściwe postawie Bohra, zwłaszcza w kwestii poszukiwania radykalnie nowych rozwiązań pojęciowych, zamiast, wzorem Einsteina, kurczowo trzymać się modeli klasycznych. Podobnie Stephen Hawking, będąc w przeważającej mierze ideowym spadkobiercą Bohra, nie wzbrania się przed wykorzystywaniem modeli klasycznych, spełniających założenia matematycznej struktury teorii względności (np. *ciągłość*).

W ostatecznej konkluzji artykułu trzeba jednak zauważyć, iż przeprowadzone tutaj rozważania prezentują fundamentalną trudność natury ontologicznej. Oczywiście jest bowiem, iż niezależnie od swoich filozoficznych preferencji, tak Penrose, jak i Hawking zakładają milcząco, iż istnieje świat obiektów fizycznych, takich jak cząstki elementarne czy też atomy, będących przedmiotem opisu konstruowanych przez nich teorii. W tym momencie powstaje podstawowe pytanie o to, co uprawnia ich do powiązania tych obiektów z abstrakcyjnymi pojęciami, wykorzystywanymi przez teorie. Skąd rzeczywiście wiadomo, co naprawdę istnieje? Czy na przykład bardziej uprawnionym (i metodologicznie bezpieczniejszym) nie byłoby postulowanie istnienia jedynie tego, co warunkuje formalizm teorii? Niewykluczone, iż trzeba by się wówczas rozstać z tak zdroworozsądkowo jasnymi i wygodnymi pojęciami, jak wspomniane atomy i cząsteczki. Może warto, jeśli to pozwoli kwantować grawitację.

DO HEISEBERG AND PENROSE ARGUE ABOUT THE SAME
AS BOHR AND EINSTEIN DID?

S u m m a r y

Controversies between philosophical and scientific standpoints are known to greatly enrich the human intellectual endeavour. For example, the famous controversy on the nature of the universals appears at present in the context of the philosophy of mathematics. The issue of the ontological status of quantum mechanics gave rise to a clash between two most prominent minds of the early 20th century physics: Albert Einstein and Niels Bohr. A renowned contemporary mathematician, Michael Atiyah maintains, that the contemporary split between Roger Penrose and Stephen Hawking is to a certain degree the continuation of the Bohr – Einstein controversy. In his paper it is argued that Atiyah's thesis holds only in a very approximate way. Arguments of physical and philosophical import show that Penrose and Hawking draw from the scientific legacy of both Bohr and Einstein and thus do not mirror the scheme of the disputation of their venerable predecessors.