

*ANDRZEJ WISZNIEWSKI*  
Akademia Medyczna w Gdańsku

FIZYCZNE GRANIE POZNAWALNOŚCI PRZYRODY  
CZ. 1. GRANICE POZNAWALNOŚCI MIKROŚWIATA

WSTĘP

Mimo, iż problem występowania granic poznawalności przyrody jest jednym z głównych zagadnień filozofii i to nieomal od początku jej istnienia, to w ujęciu fizycznym uwypuklił się on dopiero wraz z powstaniem mechaniki kwantowej oraz teorii względności. Konkretnie związane było to z wprowadzeniem zasady nieoznaczoności Heisenberga oraz wykazaniem przez Einsteina niemożności przekroczenia prędkości światła. Ograniczenia stąd wynikające dotyczą zarówno mikroświata — między innymi brak możliwości równoczesnego wyznaczenia pędu i położenia cząstki, względnie czasu i energii, z dowolną dokładnością, jak też i makroświata — istnienie skończonego promienia poznawalnego Wszechświata, uniemożliwiającego uzyskiwanie informacji o obiektach zbyt odległych. Mechanika kwantowa wykazuje też niemożność cząstkowego rozpatrywania zjawisk, które w swojej naturze mają wyłącznie charakter probabilistyczny, a więc wymagają opisu statystycznego. Wiąże się to z występowaniem tak zwanego indeterminizmu czasowego oraz indeterminizmu wyboru stanu własnego. Z kolei efekty te, jak i wszystkie zjawiska związane z teoretycznym indeterminizmem, również utożsamiane są z ograniczeniem możliwości poznawczych. Innym tego typu ograniczeniem, wiążącym się już z ogólną teorią względności, jest problem występowania tzw. stanów osobliwych, których nie można rozpatrywać w oparciu o znane prawa fizyki. Stany te mogły istnieć we wczesnych etapach rozwoju Wszechświata, a obecnie mogą pojawiać się w obiektach zwanych „czarnymi dziurami”. Czy jednak te wszystkie wymienione powyżej ograniczenia są rzeczywistymi barierami dla możliwości poznawczych człowieka? Intensywny rozwój fizyki teoretycznej oraz kosmologii spowodował, że w ostatnich latach pojawiły się co do tego poważne wątpliwości, mimo iż prawa mechaniki kwantowej, jak również i teorii grawitacji wcale nie zostały naruszone. Wręcz przeciwnie, badania doświadczalne wciąż potwierdzają ich słuszność (niejasna jest co najwyżej sprawa Dopplerowskiej interpretacji obserwowanego u galaktyk przesunięcia ku czerwieni). Wydaje się jednak, że na pewnym etapie rozwoju mechaniki kwantowej oraz kosmologii wyciągnięto zbyt daleko idące wnioski, dotyczące wspomnianych tu ograniczeń poznawczych. Świadczyłaby o tym wyraźnie zmieniająca się ostatnio interpretacja równań fizycznych, z których ograniczenia te miały wynikać. Pierwsza i druga część niniejszej

pracy jest właśnie próbą wykazania, iż wymienione bariery (z których zasada nieoznaczoności Heisenberga stała się już „klasykiem” ograniczeń możliwości poznawczych fizyki), mogą być tylko pozorne. Rozważane są tu natomiast inne granice poznania, wynikające na przykład z określonego stosunku złożoności aparatu badawczego i badanego obiektu. Także w odniesieniu do zasady nieoznaczoności, niniejsza praca rozpatruje skutki braku możliwości uzyskania interpretacji niektórych praw fizycznych otrzymanych w oparciu o formalizm matematyczny. Wynika z nich bowiem fakt niemożności rozwikłania zagadnienia determinizmu oraz indeterminizmu w przyrodzie (przynajmniej w oparciu o te prawa), czyli problemu o fundamentalnym znaczeniu dla filozofii. W efekcie ogranicza to możliwości poznawcze w sposób znacznie bardziej istotny, niż niemożność równoczesnego wyznaczenia niektórych parametrów fizycznych cząstek elementarnych.

### 1. ZASADA NIEOZNACZONOŚCI

Mimo upływu kilkudziesięciu lat od momentu jej ogłoszenia, zasada nieoznaczoności Heisenberga wciąż stanowi przedmiot polemiki zarówno dla fizyków, jak też i filozofów. Sama literatura dotycząca tego zagadnienia jest tak obszerna, że nawet jej skrótowne omówienie znacznie przekraczałoby ramy niniejszej pracy. Problem będzie więc tu ograniczony wyłącznie do znalezienia odpowiedzi na pytanie, dlaczego ta teoria wywołała i wciąż wywołuje tyle kontrowersji?

Istotą zasady nieoznaczoności Heisenberga jest stwierdzenie, iż jednoczesny pomiar niektórych wielkości fizycznych z dowolną dokładnością, jest niemożliwy. Dotyczy to przede wszystkim pomiaru położenia i pędu dowolnego obiektu (szczególnie cząstki elementarnej), co wyrazić-można wzorem:

$$\Delta p \cdot \Delta x > h \quad (1)$$

oraz energii i czasu:

$$\Delta E \cdot \Delta t > h \quad (2)$$

gdzie  $h$  oznacza stałą Plancka podzieloną przez  $2\pi$ . Przyczyną tej niemożności jest natomiast fakt, że każdy obserwator, dokonując pomiaru, wprowadza pewne zaburzenie stanu początkowego. Tym samym nie można więc oczekiwać dowolnie dokładnych wartości współrzędnych położenia cząstki, skoro równocześnie dokonało się pomiaru pędu, który to pomiar jej położenie początkowe zmienił. Problem wygląda podobnie przy równoczesnym pomiarze energii i czasu, chociaż sens interwału  $\Delta t$  we wzorze (2) trzeba tu uściślić. Nie ma on bowiem charakteru nieokreśloności pomiaru czasu, ale jest długością trwania doświadczenia, które daje możliwość przypisania energii wartości obciążonej nieokreślonością rzędu  $AE$  [4]. Tak czy inaczej istotne jest tu to, że obserwacja zmienia stan pierwotny układu, opisywany w mechanice kwantowej przez tzw. funkcję stanu. W konsekwencji, ze względu na pobabilistyczny charakter tej funkcji, doprowadza to do konieczności opisywania całego mikroświata wyłącznie w oparciu o prawa statystyki. Wszystkie te fakty zdają się jednoznacznie potwierdzać występowanie granicy fizycznego poznania mikroświata właśnie w związku z istnieniem zasady nieoznaczoności. Dotyczy to bowiem zarówno wniosków wypływających ze ściśle określonych nierówności (1) i (2), jak też i z charakteru funkcji stanu. W powszechnym bowiem odczuciu (niekoniecznie

ślusznym — o czym dalej) możliwość uzyskania tylko probabilistycznego opisu jakiegoś zjawiska jest też ograniczeniem możliwości poznawczych. Jeżeli jednak idea zasady nieoznaczoności jest tak dobrze znana i rozpatrywana szeroko nie tylko od strony fizycznej, ale też i filozoficznej, np. u Białobrzeskiego [2], to dlaczego dotąd budzi ona wspomniane kontrowersje? Problem wyraźnie wynika tu z faktu, że fizyka ciągle jednoznacznie nie jest w stanie zdefiniować pojęcia obserwatora (v. Neumann [17] zwrócił na to uwagę już kilkadziesiąt lat temu). O ile bowiem przy konkretnym rozdzielaniu układu obserwowanego i aparatury badawczej sprawa jest jednoznaczna, to jednak komplikuje się ona przy połączeniu tych elementów w jeden układ. Formalnie przecież nic nie stoi temu na przeszkodzie. W dodatku, jak to właśnie zaproponował v. Neumann, granicę tę można przesunąć jeszcze dalej — do mózgu obserwatora. Tym samym, w jakimś sensie, obserwator przestaje istnieć, chociaż w przebiegach procesów fizycznych nic się, w gruncie rzeczy, nie zmienia. Konsekwencją tych rozważań jest przyjęcie za Einsteinem, przytoczonego przez de Broglie'a [3], poglądu o możliwości zajęcia jednego z dwóch stanowisk:

1. Chociaż korpuskuła ma w każdej chwili określone położenie oraz pęd, to jednak zaburzenie wywołane aktem pomiaru, które opisują relacje Heisenberga, uniemożliwia dokładne równoczesne wyznaczenie tego położenia i stanu ruchu; z tego powodu nie możemy osiągnąć nic więcej niż przewidywanie prawdopodobieństw.
2. Korpuskuła stowarzyszona z ciągiem fal nie jest ściśle umiejscowiona w przestrzeni i w czasie; w pewnym sensie jest ona obecna w całej rozciągłości ciągu falowego (według Bohra korpuskuły „są to niejasno określone indywidua wewnątrz skończonych obszarów przestrzenno-czasowych” — *unsharply defined individuals within space-time regions*).

I w tym właśnie momencie pojawia się dla filozofii problem o fundamentalnym znaczeniu — sprawa determinizmu oraz indeterminizmu na poziomie fizyki świata atomowego (przez determinizm należałoby tu rozumieć obiektywne istnienie ściśle określonych trajektorii przestrzenno-czasowych wszystkich cząstek elementarnych, czego konsekwencją byłby ustalony ciąg zdarzeń w przyrodzie wykluczający, między innymi, możliwość występowania wolnej woli). Wynika to z faktu, że przyjęcie pierwszego wymienionego powyżej stanowiska (pomijając chwilowo zjawiska związane z indeterminizmami: czasowym oraz wyboru stanu własnego, o czym dalej), narzuca w zasadzie pełny determinizm zjawisk zachodzących w mikroświecie. Możliwość (choć wcale nie konieczność) istnienia w przyrodzie indeterminizmu wystąpi tylko przy przyjęciu stanowiska drugiego. Niestety, z samej idei zasady nieoznaczoności wynika, że nigdy nie będziemy wiedzieli, która z dwóch podanych tu możliwości jest słuszna. Jeżeli bowiem prawdziwe jest stanowisko pierwsze — posiadanie przez korpuskuły ściśle określonych parametrów fizycznych, to i tak sprawdzenie tego wymagałoby przeprowadzenia określonego pomiaru, a więc zaburzenia układu. W efekcie otrzymano by wyniki obciążone określonym błędem, czyli równoważne tym, jakie występowałyby przy prawdziwości stanowiska drugiego — realny brak umiejscowienia korpuskuły w przestrzeni i czasie. Konsekwencją tego, przy uwzględnieniu poprzednio podanych tu uwag, jest więc stwierdzenie, iż zasada nieoznaczoności Heisenberga uniemożliwia przede wszystkim rozstrzygnięcie problemu determinizmu i indeterminizmu mikroświata.

Przytoczone powyżej rozumowanie dotyczy problemu przyczynowości. Otwartym natomiast zaganiemieniem pozostają ograniczenia związane z równoczesnym wyznaczaniem niektórych parametrów fizycznych. Fakt istnienia alternatywnych, przytoczonych tu dwóch stanowisk, pozwala jednak wyciągnąć pewne wnioski dotyczące i tego problemu. Istotne bowiem staje się to, iż przyjęcie stanowiska drugiego jest równoważne stwierdzeniu, że ograniczenia wynikające z zasady nieoznaczoności nie są ograniczeniami rzeczywistymi. Nie związane z istnieniem obserwatora „rozmycie” korpuskuły w czasie i w przestrzeni powoduje bowiem konieczność jej opisu za pomocą interwałów położenia i czasu, a nie ściśle określonych wartości liczbowych. Można tu użyć analogii matematycznej: położenie punktu na osi liczbowej opisuje jedna wartość, ale dla odcinka potrzebne jest użycie już dwóch liczb. Nikt jednak nie utożsamia tego z ograniczeniem możliwości matematyki, czy też geometrii. Podobnie, gdyby „rozmycie” korpuskuły było realnym zjawiskiem fizycznym, to zasada nieoznaczoności odzwierciedlałaby tylko ten właśnie fakt. Niestety nie byłoby to już prawdziwe przy słuszności stanowiska pierwszego: zakłócenie określonych parametrów korpuskuły ze względu na istnienie obserwatora. Opierając się więc na teoretycznej niemożności stwierdzenia, które z dwóch podanych przez de Broglie’a i przytoczonych tu stanowisk jest poprawne, trzeba stwierdzić, że wniosek, iż z zasady nieoznaczoności automatycznie wynikają granice możliwości poznania mikroświata, zasadniczo nie jest słuszny. Uwzględniając wszystkie uwagi zawarte w tym rozdziale należałoby zatem przyjąć wniosek następujący: nie wiadomo i nigdy nie będzie wiadomo, czy z zasady nieoznaczoności Heisenberga wynikają granice poznawalności parametrów mikroświata. Zasada ta narzuca jedynie fakt niemożności rozwikłania problemu determinizmu oraz indeterminizmu.

## 2. INDETERMINIZM CZASOWY

Zasada nieoznaczoności Heisenberga nie jest uważana za jedyne ograniczenie możliwości poznawczych mikroświata. Inne mają wynikać z występowania tak zwanego indeterminizmu czasowego oraz indeterminizmu wyboru stanu własnego (będzie on omówiony w rozdziale 3 niniejszej pracy). Rzeczywiście, jakikolwiek indeterminizm uniemożliwia ściśle wyznaczenie związanych z nim parametrów. W przypadku zjawisk zachodzących w mikroświecie sprawa ta nie jest już jednak taka jednoznaczna i dlatego wymaga ona osobnego rozpatrzenia.

Najprostszym przykładem indeterminizmu czasowego jest rozpad atomów pierwiastków promieniotwórczych (tzw. oddziaływanie słabe). Dysponując określoną ilością takiego pierwiastka można wyznaczyć czas połowicznego rozpadu, czyli okres, po którym połowa jego atomów ulegnie przekształceniu w inny pierwiastek (np. dla polonu jest on równy 138 dni). Te odcinki czasu są więc znane, ale zachowanie się poszczególnych atomów w każdej chwili nie jest zdeterminowane — uważa się, iż nie istnieje przyczyna, która by sprawiała, że dany atom przekształci się w ciągu najbliższej minuty, a nie po upływie roku, czy też innego okresu. Ściśle znane jest tylko prawdopodobieństwo rozpadu każdego atomu w ciągu określonego czasu. Z punktu widzenia mechaniki kwantowej prawidłowość rozpatrywanego zjawiska jest więc tu czysto statystyczna, oparta na prawie

wielkich liczb teorii prawdopodobieństwa. Identyczny rodzaj indeterminizmu czasowego występuje podczas emisji promieniowania atomów wzbudzonych, czyli posiadających nadwyżkę energii w stosunku do stanu podstawowego.

Statystyczny charakter opisanych powyżej zjawisk może być łatwo utożsamiony z granicą możliwości poznawczych zachowania się pojedynczego atomu. Czy jednak jest to stanowisko słuszne? Przede wszystkim nie tylko atomy, ale również i cząstki elementarne dawno już przestały być traktowane jako „najmniejsze niepodzielne elementy materii”. Nie istnieje wprawdzie jeszcze pełna teoria unifikacji oddziaływań fizycznych, ale tryumfy święci coraz bardziej rozwijana teoria kwarków. W dużym stopniu wyjaśniła ona zjawiska związane z oddziaływaniami słabymi, a niektóre doświadczenia, wykazujące efekt łamania symetrii, sugerują, iż indeterminizm czasowy może być tylko pozorny. Przemawiałyby za tym (wykonane już w 1956 roku, przez amerykańskich fizyków Tsung-Dao Lee, Chen Ning Yanga oraz Chien-Siung Wu), doświadczenia z emisją elektronów przez pierwiastki promieniotwórcze. W doświadczeniach tych jądra atomowe zostały uporządkowane za pomocą pola magnetycznego tak, by ich spiny ustawione były w jednym kierunku. Okazało się wówczas, że istnieją kierunki wyróżnione, dla których emisja elektronów pochodzących z rozpadów promieniotwórczych jest większa, niż w kierunkach przeciwnych. W oddziaływaniach słabych nie występuje więc zjawisko zachowania symetrii i tym samym można stwierdzić, że przynajmniej „indeterminizm przestrzenny” nie jest już pełny. Może to sugerować, iż także wspomniany indeterminizm czasowy jest pozorny i wynika on tylko z niepełnego opisu zjawisk fizycznych zachodzących w mikroświecie.

Wspomniany powyżej efekt niezachowania symetrii może, ale nie musi, być związany z indeterminizmem czasowym. W oddziaływaniach słabych jest bowiem zachowywana symetria kombinowana CTP. Jeżeli jednak odrzuci się nawet związaną z tym wątpliwość co do przypadkowości momentów emisji cząstek przez poszczególne atomy, to i tak sprawa indeterminizmu czasowego nie jest jasna. W jego opisie tkwi bowiem wyłącznie korpuskularny obraz budowy atomów. Ścisłej mówiąc, jest on nawet jeszcze bardziej uprymitywniony, gdyż podany tu, i zwykle stosowany opis, narzuca nam podświadomie obraz efektu promieniowania w postaci „kulki wylatującej z drugiej kulki”. A przecież już Heisenberg [11] stwierdził, że atomy są tylko składnikami sytuacji obserwowalnych; składnikami mającymi co najwyżej wysoką wartość objaśniającą dla analizy konkretnych zjawisk („atomy nie są rzeczami, ani przedmiotami”; można to uzupełnić stwierdzeniem Wittgensteina, że „świat to zbiór faktów, a nie rzeczy”). W przypadku oddziaływań słabych ich korpuskularny obraz nie musi być więc już poprawny. W konsekwencji jego użycie może powodować wystąpienie wyłącznie pozornych granic poznawczych, właśnie w postaci indeterminizmu czasowego (wszystko to dotyczy również zjawiska emisji kwantów promieniowania przez atomy wzbudzone). Taką hipotezę potwierdza w jakimś stopniu możliwość opisu stanów za pomocą macierzy gęstości. Stosuje się ją w przypadku, gdy układ znajduje się w tak zwanym stanie mieszanym, tj. w stanie, któremu nie można przypisać żadnej funkcji falowej (przykładem może być tu właśnie wiązka niespolaryzowanych fotonów, względnie kwantów promieniowania  $\gamma$ , emitowana przez wzbudzone atomy, czy też jądra atomów promieniotwórczych). Stan mieszany można uważać za niekoherentną mieszaninę stanów czystych z określoną wagą statystyczną, które to

elementy teoretycznie można wyznaczyć z dowolną dokładnością. Stąd też możliwe jest utworzenie macierzy gęstości pozwalającej obliczyć wartość średnią dowolnej wielkości fizycznej, charakteryzującej dany układ. Wartość tę można następnie uważać za opis zjawiska, pozbawiony już ściśle określonych granic fizycznego poznania. Przykładem takiego podejścia może być temperatura ciała. Wiadomo, że jest to parametr związany z energiami kinetycznymi cząstek, z których dane ciało jest zbudowane. Oczywiście, dla pojedynczych cząsteczek, energii tych z dowolną dokładnością wyznaczyć nie można (choćby ze względu na zasadę nieoznaczoności), ale przecież nie wynika z tego żadna fizyczna granica możliwości poznania temperatury ciała. Po prostu z samej definicji parametr ten ma charakter tylko statystyczny. Tak samo można więc traktować emisję cząstek z jąder promieniotwórczych atomów, czy też fotonów z atomów wzbudzonych.

Przedstawione powyżej rozumowanie nie jest jedynym, które poddaje w wątpliwość realne istnienie indeterminizmu czasowego. Jest to o tyle istotne, że niektórzy fizycy są skłonni upierać się, iż statystyczny charakter takich makroskopowych parametrów, jak temperatura i statystyczny charakter praw przyrody wynikający z dualizmu korpuskularno-falowego materii, to dwie zupełnie różne sprawy. Przyjęcie takiego punktu widzenia też jednak nie pozwala usunąć wątpliwości co do występowania w mikroświecie indeterminizmu czasowego. Współczesne fizyka wprowadziła bowiem do opisu mikro- i makroświata teorie, które cząstki elementarne, a nawet czas, przedstawiają w sposób częściowo, lub nawet całkowicie likwidujący wspomniany tu prymitywny schemat emisji w postaci „kulki wylatującej z drugiej kulki”. Przykładami takich opisów są preferowane obecnie teorie strun oraz membran (wyraźnie wypierają one teorię supergravitacji). Podstawowymi obiektami nie są już w nich cząstki zajmujące w przestrzeni pojedyncze punkty, lecz obiekty mające pewną długość (struny), względnie powierzchnie (membrany). Dotychczas cząstkę w każdej chwili można było określić poprzez podanie punktu, a więc jej zachowanie opisywała linia w czasoprzestrzeni („linia świata”). Natomiast w teorii strun zachowanie się cząstki jest już opisywane dwuwymiarową powierzchnią (zwaną „powierzchnią świata”), a w teorii membran trójwymiarową objętością. Teoria strun opracowana została w 1984 roku przez Michaela Greena z Queen Mary College w Londynie i Johna Schwarza z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego. Wywołała ona wówczas duże poruszenie, gdyż okazało się, że za jej pomocą możliwe jest usunięcie pewnych anomalii występujących w opisach oddziaływań fizycznych, a polegających na pojawieniu się niezgodności w momencie uwzględniania efektów kwantowych. Wprowadzenie pojęcia strun doprowadza bowiem do tego, że anomalie wynikające z kwantowej teorii gravitacji kasują się z anomaliami wywołanymi przez pozostałe siły. Z punktu widzenia problemu indeterminizmu czasowego teoria strun jest jednak ważna przede wszystkim dlatego, że jej rozwinięciem jest wspomniana teoria membran, w której parametr czasu staje się usuwalny. Jest ona przy tym chyba bliższa prawdy, gdyż mimo rozwiązania wielu zagadnień opis świata przy użyciu strun, wydaje się być niepełny. Wątpliwości nasuwa przede wszystkim to, że obiekty te mogą poruszać się jedynie w czasoprzestrzeni 10-wymiarowej [9]. Maksymalna ilość wymiarów, która dopuszcza jeszcze supersymetrię, wynosi natomiast 11. To właśnie było podstawą teorii podanej przez J. B. Hartlego i S. W. Hawkinga, którzy do opisu mikroświata wprowadzili dwuwymiarowy obiekt, ewoluujący w czasie w 11-wymiarowej supersymetrycznej

czasoprzestrzeni — membranę. W teorii tej wprowadzone zostało pojęcie superprzestrzeni, w której rolę punktów odgrywają przestrzenie 3-wymiarowe (3-geometrie). Tego rodzaju 3-geometrie przemieszczając się, tworzą znowu zamknięte 3-geometrie zwane tubami Hartlego-Hawkinga. Otóż czas, w takim ujęciu, staje się mało istotnym elementem obrazu, pochodzącym od sposobu włożenia tych tub do czasoprzestrzeni, czyli 4-geometrii. Aby uniezależnić się od tego rodzaju „przypadkowych” elementów, w teorii Hartlego-Hawkinga czas musiał zostać wyeliminowany z kwantowego opisu Wszechświata. W związku z tym, w metodzie tej funkcja falowa zależy od punktów superprzestrzeni (czyli od 3-geometrii), ale nie zależy od czasu. Można wtedy pytać o prawdopodobieństwo znalezienia się Wszechświata w danym punkcie superprzestrzeni, ale nie można utożsamiać przechodzenia świata z jednego stanu do drugiego jako procesu dziejącego się w czasie. Z punktu widzenia świata makroskopowego czas będzie oczywiście odczuwalny, ale wynika to z faktu, że kwantowe efekty grawitacyjne nie odgrywają w nim praktycznie żadnej roli. W momencie przechodzenia do mikroświata zawęży się on najpierw do opisu probabilistycznego, a następnie, w obrazie pełnej kwantyzacji pola grawitacyjnego, zanika zupełnie. Jak więc na tym poziomie można by w ogóle mówić o indeterminizmie czasowym? Oczywiście model Hartlego-Hawkinga nie jest jedyny, ani ostateczny. W sposób popularny, obok teorii strun, jest on przedstawiony w książce Hawkinga [10], i artykule Hellera [13], natomiast idea membran przystępnie opisana jest przez Duffa i Sultona [9]. Obecnie jest on jednak chyba najbardziej prawdopodobny (między innymi przez to, że jest jedynym, który nie zawiera anomalii i dopuszcza istnienie grawitronu — bezmasowej cząstki o spinie 2 [9]) i choćby dlatego całą sprawę indeterminizmu czasowego należy uważać jedynie za skutek nadmiernego uprzymitywnienia obrazu mikroświata. Jest to również generalna konkluzja dotycząca wszystkich rozważań zawartych w tym paragrafie.

### 3. INDETERMINIZM WYBORU STANU WŁASNEGO

Indeterminizm wyboru stanu własnego związany jest z aktem pomiaru, ściślej z zaburzeniem układu atomowego podczas pomiaru. Posiada on jednak odrębne cechy niż te, które wynikają z omówionej tu w paragrafie 1 zasady nieoznaczoności Heisenberga. Indeterminizm ten jest bowiem związany z redukcją tzw. „paczki falowej”, który to efekt wymaga dokładniejszego omówienia.

Jak wiadomo, jedną z głównych idei mechaniki kwantowej jest ograniczenie nałożone na stany układu atomowego. Układy te mogą bowiem znajdować się wyłącznie w jednym ze stanów własnych, albo być mieszaniną takich stanów (drugi z tych przypadków nazywany jest paczką falową). Wspomnianą redukcję, inaczej *zawężenie paczki falowej*, najlepiej jest rozpatrzeć na przykładzie pomiarów jakiejś wielkości fizycznej, np. energii. Dla uproszczenia przyjmijmy, że układ atomowy, na którym będzie dokonywany pomiar, w stanach stacjonarnych może posiadać wartości energii tworzące szereg nieciągły:  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_k, \dots$ . Następnym założeniem jest przyjęcie, iż układ ten nie znajduje się w stanie własnym. Z mechaniki kwantowej wiadomo natomiast, że w takim przypadku opisuje go superpozycja stanów własnych. W stosunku do energii jest więc on paczką falową. Jeżeli teraz na takim układzie wykona się pomiar energii, to jego rezultatem będzie jedna

z wartości własnych np.  $E_k$ . Paczka fal zredukuje się tym samym do jednej fali odpowiadającej  $k$ -temu stanowi. I w tym właśnie momencie pojawia się indeterminizm wyboru stanu własnego, gdyż na podstawie równania falowego nie daje się przewidzieć, który to będzie ze stanów. Przed pomiarem, w oparciu o wzór matematyczny wyrażający superpozycję stanów w paczce falowej, można poznać wyłącznie prawdopodobieństwo otrzymania każdego z nich po zakończeniu pomiaru.

Przedstawiony powyżej efekt wiąże się na pewno z teoretycznym indeterminizmem, ale czy w tym przypadku rzeczywiście można utożsamiać go z ograniczeniem możliwości poznawczych? Wprawdzie fizyka klasyczna każdej wielkości charakteryzującej układ w danym stanie przypisuje wartość jednoznacznie określoną, ale pomiar jej także musi być zawsze obciążony pewnym błędem. Tak więc stan układu może być znany tylko z pewnym przybliżeniem (a mimo to w fizyce klasycznej zasadniczo nie mówi się o granicy możliwości poznawczych — dokładność aparatury teoretycznie nie jest przecież ograniczona). To samo, w mechanice kwantowej, pozostaje w mocy odnośnie do wielkości mających widmo ciągłe wartości własnych. W przypadku widma nieciągłego sytuacja tym bardziej wykazuje brak jakichkolwiek ograniczeń (zwrócił już na to uwagę Białobrzski [2]). Układ atomowy, będący superpozycją stanów przed pomiarem, opisuje całkowicie zestawienie funkcji stanów, a i po pomiarze można uzyskać o nim pełne informacje. W przypadku widma nieciągłego wystarczy bowiem przeprowadzić tylko pomiar tak, aby jego dokładność wystarczała do odróżnienia sąsiednich stanów. Uzyska się wówczas możliwość pełnego ustalenia, w którym stanie własnym mierzonej wielkości znajduje się układ atomowy. Tak więc trudno utożsamiać indeterminizm wyboru tego stanu z granicą możliwości poznawczych fizyki.

## Literatura

- [1] C. Bałtaj, G. Feinberg: *Phys. Rev.* 1970, D1.
- [2] Cz. Białobrzski: *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*. Warszawa 1984.
- [3] L. De Broglie: *Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire*. Paris 1930.
- [4] L. De Broglie: *Les Nouvelles Théories de la Physique*. Paris 1939, s. 83.
- [5] P. A. M. Dirac: *Nature*. 1937, A 139.
- [6] P. A. M. Dirac: *Proc. R. Soc. Lond.* 1938, A 165.
- [7] P. A. M. Dirac: *Proc. R. Soc. Lond.* 1973, A 333.
- [8] P. A. M. Dirac: *Proc. R. Soc. Lond.* 1974, A 338.
- [9] M. Duff, Ch. Sulston: *New Scientist*, 1988.
- [10] S. W. Hawking: *Krótką historia czasu*. Warszawa 1990.
- [11] H. Heisenberg: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*.  
Tłumaczenie polskie: *Część i całość*. Warszawa 1987.
- [12] M. Heller: *Ewolucja kosmosu i kosmologii*. Warszawa 1985.
- [13] M. Heller: „Problemy”. Nr 2, 1989.
- [14] Z. Klimek: *Problemy astronomii*. Warszawa 1976.
- [15] M. Kordos: *O różnych geometriach*. Warszawa 1987, s. 74.



- [16] B. Kuchowicz, J. T. Szymczak: *Dzieje materii przez fizyków odczytane*. Warszawa 1985.
- [17] J. v. Neumann: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. New York 1943.
- [18] J. Norwood: *Fizyka współczesna*. Warszawa 1982.
- [19] T. Rothman, G. F. R. Ellis: „Astronomy”. 1987, nr 2.
- [20] K. Rudnicki: *Postępy astronomii*. Warszawa 1977.
- [21] L.I. Shapiro, M. B. Smith, M. B. Ash, R. P. Ingalls, G. H. Pettengill: *Phys. Rev. Lett.* 1911, 26.
- [22] T. C. Van Flandern: *M. N. R. A. S.* 1975, 170.
- [23] A. Wiszniewski: „Zeszyty naukowe Wydziału Humanistycznego Uniwersytetu Gdańskiego”. Gdańsk 1988, 13, 107.