

Wydział Filozofii i Socjologii UMCS

ANDRZEJ ŁUKASIK

*Niels Bohr i zagadnienie obiektywności poznania*

---

Niels Bohr and the problem of the objectivity of cognizance

Głównym punktem mej argumentacji jest teza, że do obiektywnego opisu i harmonijnego pojmowania trzeba niemal w każdej dziedzinie wiedzy wziąć pod uwagę warunki, w których zbieramy doświadczenie.

— Niels Bohr

W filozoficznej myśli Bohra podstawowe znaczenie dla zagadnienia obiektywności poznania ma zasada komplementarności, która stanowi centralną ideę sformułowanej wspólnie z Heisenbergiem kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej. Jest ona schematem interpretacji doświadczeń w dziedzinie mikrofizyki w przypadku, gdy oddziaływanie między obiektem a przyrządem pomiarowym stanowi integralną część zjawiska. Zasada komplementarności wyraża, w rozumieniu Bohra, racjonalną modyfikację aparatury pojęciowej w dziedzinie przekraczającej stosowalność pojęć fizyki klasycznej. Rozumiana jako pojęcie teoriopoznawcze, prowadzi do odrzucenia ostrego przeciwstawienia podmiot — przedmiot oraz podania w wątpliwość sensowności tradycyjnej opozycji realizm — idealizm epistemologiczny.

## I. EPISTEMOLOGICZNA LEKCJA Z FIZYKI ATOMOWEJ

W *Przedmowie* do książki *Atomic Physics and Human Knowledge*<sup>1</sup> Bohr stwierdza, że tematem tego zbioru esejów oraz wydanego wcześniej *Atomic Theory and the Description of Nature*<sup>2</sup> jest „epistemologiczna lekcja, której udzielił nam współczesny rozwój fizyki atomowej”<sup>3</sup>. Polega ona na ujawnieniu doniosłości rozważań dotyczących podstawowych założeń „na których opiera się jednoznaczność pojęć użytych w opisie doświadczenia”<sup>4</sup>. Bohr zwraca uwagę na fakt, że znaczenie nauk fizycznych dla rozwoju myśli filozoficznej polega nie tylko na rozszerzaniu wiedzy o przyrodzie, ale również na tym, że zmuszają one do ciągłej krytycznej analizy środków pojęciowych, a niekiedy nawet do ich radykalnej zmiany.

W naszym wieku — pisze on — badania nad atomistyczną strukturą materii uwidoczniły nieoczekiwanie ograniczenie zasięgu idei fizyki klasycznej i rzuciły nowe światło na postulaty naukowego tłumaczenia przyjmowanego w tradycyjnej filozofii. Rewizja podstaw, na których opiera się jednoznaczne stosowanie elementarnych pojęć, konieczna do zrozumienia zjawisk atomowych, ma więc znaczenie wykraczające daleko poza ramy fizyki.<sup>5</sup>

Odkrycia w dziedzinie fizyki atomowej prowadzą do „odrzućcia pewnych założeń dotychczas uważanych za niezbędne w fizycznym opisie zjawisk”<sup>6</sup>. Prowadzi to do prób wypracowania nowej, szerszej perspektywy opisu rzeczywistości fizycznej. Sformułowaną na podstawie badań nad atomistyczną strukturą materii zasadę komplementarności Bohr uważał właśnie za rozszerzenie obiektywnego opisu przyrody w dziedzinie wykraczającej poza stosowanie pojęcia przyczynowości i próbował stosować również poza dziedziną fizyki — w biologii czy psychologii.

Jako przykłady wykrycia dzięki rozwojowi fizyki nie zauważanych uprzednio epistemologicznych założeń Bohr podaje analizę pojęcia równoczesności, prowadzącej Einsteina do szczególnej teorii względności i rewizję problemu obserwacji w dziedzinie zjawisk atomowych zapoczątkowaną przez Heisenberga. Dla zagadnienia obiektywności szczególne znaczenie ma zasada nieoznaczoności. Dokonanie przez Plancka odkrycie kwantu działania pozwoliło na wyjaśnienie stabilności

---

<sup>1</sup> N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1958, tłum. polskie: N. Bohr, *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*. tłum. W. Staszewski, S. Szpikowski, A. Teske, Warszawa 1963.

<sup>2</sup> N. Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge 1934.

<sup>3</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 5.

<sup>4</sup> *Ibid.*, s. 11.

<sup>5</sup> *Ibid.*, s. 9.

<sup>6</sup> *Ibid.*, s. 13.

atomów i budowy okresowego układu pierwiastków, ale jednocześnie zmusiło fizyków do rezygnacji w odniesieniu do indywidualnych procesów atomowych z opisu przyczynowego, który przez wieki uznawany był za niekwestionowaną podstawę filozofii przyrody.

Związek fizyki z filozofią ma zatem charakter dwustronnych zależności. Bohr mówi zarówno o analizie podstawowych **założeń** nauk przyrodniczych, jak również o epistemologicznych **konsekwencjach** fizyki. Zadanie filozoficzne to przede wszystkim analiza podstawowych pojęć i założeń przyjmowanych w naukach przyrodniczych — „zbadanie warunków właściwego użycia środków pojęciowych, którymi wyrażamy wyniki naszych doświadczeń [oraz] określenie warunków obiektywnego opisu”<sup>7</sup>. Założenia stanowiące pojęciowy fundament fizyki klasycznej nie zawsze były *explicite* formułowane, a nawet uświadamiane, traktowane jako wręcz oczywiste dotyczyły warunków możliwości posługiwania się takimi podstawowymi pojęciami, jak „czas”, „przestrzeń” czy „przyczynowość” i wyznaczały zarazem ideał obiektywnego opisu przyrody oraz samo pojmowanie „rzeczywistości fizycznej”. Ukazane przez mechanikę kwantową nieoczekiwane ograniczenia mechanistycznej koncepcji przyrody powodują pytania „co mamy rozumieć przez naukowe wyjaśnienie i czego od takiego wyjaśnienia żądać”<sup>8</sup>. Epistemologiczna lekcja, której udzielił nam rozwój współczesnej fizyki atomowej, jest związana głównie z występowaniem w procesach atomowych pewnych **własności całościowych**. To zaś wymaga ponownego przebadania warunków możliwości obiektywnego opisu przyrody, a więc i warunków właściwego użycia podstawowych pojęć.

## 2. ZASADA KOMPLEMENTARNOŚCI

Zasada komplementarności została sformułowana przez Bohra po raz pierwszy w pracy *The quantum postulate and the recent development of atomic theory*<sup>9</sup>. Opiera się na niej podana wspólnie z Heisenbergiem **kopenhaska interpretacja mechaniki kwantowej**, która jest historycznie pierwszą próbą nadania fizycznego sensu kwantowomechanicznemu formalizmowi.

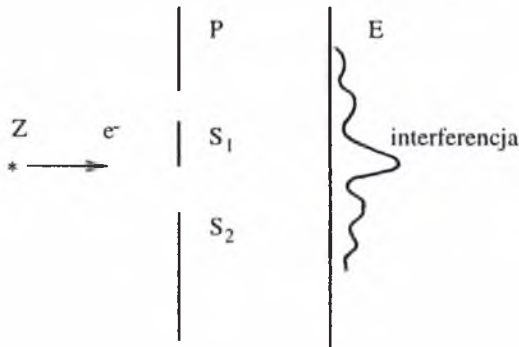
Wiadomo, że mikroobiekty przejawiają dość niezwykle „korpuskularno-falowe” własności, które nie mają żadnych analogii w świecie makroskopowym. Rozważmy przykład „archetypowego” eksperymentu z dziedziny mikrofizyki, który

<sup>7</sup> *Ibid.*, s. 10.

<sup>8</sup> *Ibid.*, s. 145.

<sup>9</sup> N. Bohr, *The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory*, Supplement to „Nature” 1928, No. 121, April 14, s. 580–590.

m.in. był przedmiotem osławionej dyskusji Bohra z Einsteinem dotyczącej interpretacji mechaniki kwantowej<sup>10</sup>. Einstein uznawał mechanikę kwantową za teorię tymczasową i przedstawiał coraz to nowe eksperymenty myślowe, mające ukazać jej niekompletność, Bohr natomiast systematycznie je obalał.



Na rysunku zaznaczono:  $Z$  — źródło światła;  $P$  — przesłona z dwiema wąskimi szczelinami  $S_1$  i  $S_2$ ;  $E$  — ekran (lub np. klisza fotograficzna). Odległość między szczelinami jest dużo większa, niż długość fali  $\lambda$ . Światło (monochromatyczne) emitowane jest ze źródła  $Z$  i po przejściu przez przesłonę  $P$  trafia w ekran  $E$ .

Jeżeli otwarte są obydwie szczeliny  $S_1$  i  $S_2$  — na ekranie pojawia się charakterystyczny obraz interferencyjny składający się z jasnych i ciemnych pasm. Interferencja (nakładanie się fal) jest typowym zjawiskiem dla ruchu falowego. Stosując obraz światła oparty na klasycznej elektrodynamice Maxwella, wyniki powyższego eksperymentu wyjaśnić można następująco: fala elektromagnetyczna docierając do przesłony ulega ugięciu na szczelinach  $S_1$  i  $S_2$ , które stają się

<sup>10</sup> Einstein nigdy nie zaakceptował kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej. Dyskusja Bohra z Einsteinem rozpoczęła się na V. Konferencji Instytutu Solvaya w październiku 1927 roku w Brukseli i trwała prawie 30 lat. Heisenberg wspominając dyskusje prowadzone na sławnych kongresach Solvay'a (szczególnie na piątym kongresie Electrons and Photons w dn. 24–29 października 1927 r. i szóstym Magnetism w dn. 10–25 października 1930 r. w Brukseli), że Bohr zawsze subtelnymi argumentami obalał finezyjne zarzuty Einsteina, tak więc z dyskusji Einstein wychodził zawsze pokonany, ale nigdy — przekonany. (Por. W. Heisenberg, *Foreword*, [w:] J. Mehra, *The Solvay Conferences on Physics. Aspects of the Development of Physics Since 1911*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland/Boston-U. S. A, 1975, p. V-VII; N. Bohr, *Discussion with einstein on epistemological problems in atomic physics*, [w:] A. P. Schilpp (ed.), *Albert Einstein Philosopher — Scientist*, Vol. 1, Harper & Brothers Publishers, New York 1959, p. 199–241; N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 53–102).

źródłem nowych fal kulistych. Jeżeli w danym punkcie ekranu spotykają się fale zgodne w fazie, wtedy wzmacniają się i obserwujemy jasne pasmo (interferencja konstruktywna), w przeciwnym wypadku, tzn. gdy grzbiet jednej fali spotyka się z doliną drugiej — fale ulegają wygaszeniu i obserwujemy ciemne pasmo (interferencja destruktywna). Jest to dobrze znane zjawisko charakterystyczne dla wszelkiego ruchu falowego — można je obserwować na przykład po wrzuceniu dwóch kamieni do stawu. Warto jednak podkreślić, że efekty interferencyjne zachodzą również, gdy zamiast światła użyjemy wiązki elektronów, czy nawet całych atomów — wszystkie mikroobiekty posiadają w jakimś sensie własności falowe. Równie dobrze mogą to być nawet — przynajmniej w zasadzie — przedmioty makroskopowe<sup>11</sup>.

Powróćmy jednak do światła. Wiadomo również, że światło w pewnych zjawiskach, takich jak np. efekt fotoelektryczny, wykazuje własności typowo korpuskularne. Einstein podając wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego (wybijanie elektronów z powierzchni metalu pod wpływem padającego światła) zmuszony był założyć, że światło należy traktować nie jako ciągłą falę elektromagnetyczną, ale jako poruszające się z prędkością  $c$  „cząstki” — fotony, z których każdy niesie energię  $E = h\gamma$ . Zjawisko fotoelektryczne można bowiem wyjaśnić jedynie zakładając, że emisja elektronów z powierzchni metalu spowodowana jest zderzeniem pojedynczego fotonu z pojedynczym elektronem. W naszym eksperymencie kwantowe cechy światła uwidaczniają się podczas detekcji fotonów na ekranie: zawsze rejestruje się ściśle zlokalizowany pojedynczy foton, tzn. zawsze rejestruje się cały kwant albo nic.

Powstaje więc pytanie, czy światło jest ciągłą falą elektromagnetyczną, czy też zbiorem dyskretnych cząstek-fotonów. Sytuacja jeszcze bardziej komplikuje się, jeżeli zauważyć, że efektu interferencyjnego nie można interpretować jako rezultatu kolektywnego ruchu fotonów. Załóżmy, że zmniejszamy natężenie wiązki światła, to znaczy — biorąc pod uwagę kwantowy charakter światła — liczbę fotonów emitowanych przez źródło w jednostce czasu. Natężenie może być tak małe, że w zadanej jednostce czasu przez cały układ przechodzi tylko jeden foton. Mimo to — jeżeli otwarte są obydwie szczeliny — nadal obserwuje się obraz interferencyjny (oczywiście po odpowiednio długim czasie). Zatem obraz na ekranie nie jest prostą sumą efektów pochodzących od pojedynczych fotonów przechodzących niezależnie przez szczelinę  $S_1$  albo przez szczelinę  $S_2$  i wygląda to tak, jakby, chociaż przez układ w odpowiednio długich odstępach czasu

<sup>11</sup> W przypadku doświadczeń z przedmiotami makroskopowymi mechanika kwantowa przewidywa, że w zasadzie również następuje interferencja, ale obserwowany obraz interferencyjny ulega „statystycznemu wygładzeniu” i uśrednieniu. Por. R. P. Feynman, R. B. Leighton., M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, tłum. A. Jurewicz, M. Grynberg, M. Kozłowski, T. Buttler, t. I, cz. 2, PWN, Warszawa 1974, s. 184 n.

przechodzą pojedyncze fotony — obraz na ekranie — tzn. to, czy obserwujemy interferencję, czy też nie, zależał od tego, czy druga szczelina jest otwarta. (Oczywiście w przypadku, gdy tylko jedna szczelina jest otwarta nie występuje interferencja).

Fotony rejestrowane są jako pojedyncze kwanty: a obraz na ekranie jest taki, jak dla fali. To, że przez układ przechodzi każdorazowo pojedynczy foton, można sprawdzić na przykład w ten sposób, że jeśli umieścimy między  $Z$  i  $E$  szereg detektorów, to zawsze reaguje tylko jeden. Nie można zatem twierdzić, że jeden foton przechodzi przez szczeliny  $S_1$  i  $S_2$  równocześnie — jeśli umieścimy detektory w pobliżu szczelin reaguje zawsze jeden. Nie można również twierdzić, że foton przechodzi albo przez  $S_1$ , albo przechodzi przez  $S_2$ , ponieważ wówczas nie byłoby interferencji. Lokalizacja fotonu na szczelinie, tzn. obserwacja, czy przeszedł przez  $S_1$  czy przez  $S_2$  jest możliwa, ale niszczy obraz interferencyjny<sup>12</sup>.

W związku z tymi „dziwnymi” wynikami eksperymentu często zadaje się dość irytujące pytanie: skąd foton „wie”, czy druga szczelina jest otwarta i dlaczego fotony zachowują się inaczej, gdy na nie „patrzmy”, niż gdybyśmy tego nie robili?<sup>13</sup> Rezultatów eksperymentu interferencyjnego nie można w żaden sposób wyjaśnić na podstawie mechaniki klasycznej i w tym sensie zawiera się w nim cała istota mechaniki kwantowej.

<sup>12</sup> Fizycy mówią wówczas o interferencji prawdopodobieństw. Zgodnie z mechaniką kwantową, amplituda prawdopodobieństwa zdarzenia, które może zajść na kilka różnych sposobów, jest ich liniową superpozycją  $|\Psi\rangle = a_1|\Psi_1\rangle + a_2|\Psi_2\rangle + \dots$ . Wówczas prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest proporcjonalne do kwadratu modułu sumy zespolonych amplitud prawdopodobieństwa  $|a_1|\Psi_1\rangle + a_2|\Psi_2\rangle + \dots|^2$ . Występuje interferencja prawdopodobieństw i prawdopodobieństwo zdarzenia mogącego zajść na kilka różnych sposobów nie jest równe sumie prawdopodobieństw odpowiadających każdej z możliwości oddzielnie — należy dodawać zespolone amplitudy, a nie prawdopodobieństwa. Jeśli w doświadczeniu można określić, która z możliwości zachodzi, wtedy prawdopodobieństwo zdarzenia jest sumą prawdopodobieństw dla każdej z możliwości. Wynika to stąd, że w formalizmie mechaniki kwantowej postępujemy się (zespolonymi) amplitudami prawdopodobieństwa, a nie samymi prawdopodobieństwami. (Por. np. R. P. Feynman, R. B. Leighton., M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. I, cz. 2, s. 186, R. Penrose, Nowy umysł cesarza. *O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, tłum. P. Amsterdamski, PWN, Warszawa 1995, s. 268 n., E. H. Wichmann, *Fizyka kwantowa*, tłum. W. Gorzkowski, A. Szymacha, PWN, Warszawa 1975, s. 276).

Jeżeli amplitudę prawdopodobieństwa odpowiadającą możliwości przejścia fotonu (elektronu) przez szczelinę  $S_1$  określimy jako, amplitudę prawdopodobieństwa odpowiadającą możliwości przejścia fotonu (elektronu) przez szczelinę  $S_2$  — jako, wówczas — jeżeli otwarte są obydwie szczeliny — prawdopodobieństwo zdarzenia, że foton wyemitowany z punktu  $Z$  trafia w określony punkt ekranu  $E$  jest proporcjonalne do  $|a_1|\Psi_1\rangle + a_2|\Psi_2\rangle + \dots|^2$ . Matematycznie jest to dość proste, ale ponieważ po obliczeniu prawdopodobieństwa występują człony interferencyjne, zawierające zarówno  $|\Psi_1\rangle$  jak i  $|\Psi_2\rangle$ , to zdania tego właściwie nie da się wyrazić w języku potocznym.

<sup>13</sup> Por. R. P. Feynman, R. B. Leighton., M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. I, cz. 2, s. 182–183.

### Bohr argumentuje następująco:

Właśnie fakt, że stoimy przed alternatywą, mając do wyboru *albo* wyznaczenie toru cząstki, *albo* obserwowanie interferencji, uwalnia nas od paradoksalnego wniosku, który bez tego byłby nieunikniony, a mianowicie od wniosku, że zachowanie się elektronu (lub fotonu) zależy od obecności otworu w przesłonie, przez który elektron na pewno nie przeszedł. Mamy tu typowy przykład ilustrujący, jak zjawiska komplementarne zachodzą w wyłączających się nawzajem warunkach [...]; widzimy też wyraźnie, że w rozpatrywaniu zjawisk kwantowych nie można nakreślić ostrej linii granicznej między niezależnym zachowaniem się obiektów atomowych a ich oddziaływaniem z przyrządem pomiarowym, służącym do określenia warunków, w których zachodzą zjawiska.<sup>14</sup> [...] Gdybyśmy zachowanie się fotonu chcieli przedstawić w sposób poglądowy, natrafilibyśmy na następującą trudność: musielibyśmy powiedzieć z jednej strony, że foton wybiera zawsze jedną z obu dróg — z drugiej strony, że zachowuje się tak, jakby przeszedł obiema drogami.<sup>15</sup>

Jeżeli urządzenie pomiarowe pozwala określić, czy foton przeszedł przez szczelinę  $S_1$  czy przez  $S_2$ , można wówczas stosować opis korpuskularny i powiedzieć, że foton przeszedł przez  $S_1$  albo przez  $S_2$  — wtedy nie występuje interferencja. Jeżeli rezygnuje się z eksperymentalnego określenia, przez którą szczelinę przeszedł foton, można stosować opis falowy, ale nie można sensownie utrzymywać, że przeszedł przez  $S_1$  albo przez  $S_2$ . Zatem pojęciu toru fotonu nie można przypisać określonego sensu, jeżeli eksperymentalne warunki nie pozwalają na jego określenie, a w konsekwencji kwantów świetlnych nie wolno uważać za klasyczne cząstki<sup>16</sup>. Błędna jest argumentacja oparta na poglądowych schematach mechaniki klasycznej, że chociaż w pewnych warunkach nie jesteśmy w stanie określić toru fotonu (np. wtedy, gdy obydwie szczeliny są otwarte), to jednak po jakimś ściśle określonym torze foton przecież poruszać się musi. Taki obraz zjawiska wykluczałby możliwość interferencji, która jednak jest obserwowana.

Zasada komplementarności stwierdza, że w dziedzinie atomowej nie można rozdzielić zachowania się badanych obiektów od zachowania się przyrządów pomiarowych: warunki obserwacji wywierają istotny wpływ na przebieg obserwowanych zjawisk, co powoduje wzajemne wykluczanie się informacji potrzebnych do opisu całości zjawiska. Dwa klasycznie wykluczające się opisy zjawiska fizycznego są komplementarne, jeżeli dla poznania całości potrzebne są obydwa, ale znajomość jednego aspektu wyklucza znajomość drugiego. Komplementarne opisy uzupełniają się i wyczerpują wszelką możliwą wiedzę o układzie — np. opis falowy i fotonowy zdają sprawę z równie ważnych aspektów światła i nie ma między nimi sprzeczności *in actu*, ponieważ zastosowanie mechanicznych pojęć korpuskuły i fali odnosi się do wzajemnie wykluczających się układów doświadczalnych<sup>17</sup>. Ponieważ nie możemy bezpośrednio obserwować zjawisk kwan-

<sup>14</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 74.

<sup>15</sup> *Ibid.*, s. 79.

<sup>16</sup> Por. *Ibid.*, s. 15.

<sup>17</sup> *Ibid.* s. 15.

towych, nasz intuicyjny obraz fizycznej rzeczywistości ma charakter klasyczny i opis rezultatów doświadczeń podany jest zawsze w języku fizyki klasycznej<sup>18</sup>. Jednak opis mikroobiektów (np. światła) jako korpuskuł albo jako fal nigdy nie jest w pełni adekwatny — podaje jedynie jeden z komplementarnych aspektów mikroświata.

Zasada komplementarności zawiera więc trzy zasadnicze idee<sup>19</sup>:

1. Niepodzielność (całościowość, indywidualność) zjawisk atomowych: nie można opisać zjawisk atomowych niezależnie od opisu aparatury służącej do ich obserwacji. Założenie to jest sprzeczne z fizyką klasyczną, w której oddziaływanie przyrząd-obiekt może być dowolnie małe;

2. Klasyczność aparatury pomiarowej: opis aparatury pomiarowej musi być podany w języku fizyki klasycznej (stanowi to warunek intersubiektywnej komunikowalności rezultatów doświadczeń nad atomami);

3. Niewspółmierność przyrządów pomiarowych: nie istnieje aparatura pomiarowa służąca do jednoczesnego określenia wielkości komplementarnych. Relacje nieoznaczoności Heisenberga uniemożliwiają jednoczesny pomiar z dowolną dokładnością takich par wielkości fizycznych jak np. składowa położenia  $x$  i odpowiadająca jej składowa pędu  $P_x$ , energia  $E$  i czas  $t$ ,  $\Phi$  składowe wektora spinu  $S_i$ ,  $S_j$ .

Punkt widzenia komplementarności prowadzi między innymi do wniosku, że „ani długo obowiązujące przekonanie o falowym charakterze światła, ani Einsteińskie twierdzenia, oparte na kwantowej hipotezie o cząsteczkowej naturze światła, nie muszą być jedynie słuszne”<sup>20</sup>. Opis światła jako fali elektromagnetycznej (Maxwell) i jako cząstki — fotonu (Einstein) nie są sprzeczne ze sobą, ponieważ te dwa klasyczne opisy kwantowej rzeczywistości odnoszą się do komplementarnych (a więc wykluczających się nawzajem i jednocześnie dopełniających) sytuacji eksperymentalnych. Korpuskularno-falowy opis dotyczy wszelkich zjawisk atomowych — zgodnie z koncepcją de Broglie’a również korpuskuły (np. elektrony) mogą przejawiać własności falowe.

<sup>18</sup> Por. L. M. Krauss, *Fizyka podróży międzygwiazdnych. Wędrówka po świecie Star Trek*, tłum. E. L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 1996, s. 157. Krauss pisze jednak: „Jeżeli będziemy się upierać przy interpretacji zjawisk kwantowych za pomocą pojęć klasycznych, w nieunikniony sposób niektóre zjawiska wydadzą się nam paradoksalne lub niemożliwe. Tak właśnie powinno być. Mechanika klasyczna nie może poprawnie wyjaśnić zjawisk kwantowych, nie ma więc powodu, aby klasyczne opisy miały sens.”

<sup>19</sup> Por. J. Misiek, *Komplementarności zasada*, [w:] Z. Cackowski, J. Kmita, K. Szaniawski, P. J. Smoczyński (red.), *Filozofia a nauka. Zarys encyklopedyczny*, Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź 1987, s. 305–313.

<sup>20</sup> U. Röseberg, *Niels Bohr a filozofia*, [w:] S. Butryn (red.), *Z zagadnień filozofii nauk przyrodniczych*, Wyd. PAN, Warszawa 1991, s. 74.



Świat opisywany przez mechanikę klasyczną jest łatwy do wyobrażenia. Newtonowskie równania ruchu wraz z warunkami początkowymi (jednoczesny pomiar położenia i pędu) pozwalają na ściśle deterministyczny, czasoprzestrzenny opis dowolnego układu fizycznego. Obowiązujące w mechanice kwantowej relacje nieoznaczoności uniemożliwiają jednoczesny pomiar wielkości komplementarnych. Konsekwencją tej sytuacji jest, że rezultatów obserwacji dokonanych w wyłączających się nawzajem warunkach nie można już połączyć w taką całość, jak w fizyce klasycznej: czasoprzestrzenny opis układu fizycznego jest komplementarny względem opisu przyczynowego. Należy zatem odrzucić mechanistyczne pojmowanie mikroobiektów — nie można ich sobie wyobrazić na wzór Demokrytejskich atomów, czy Newtonowskich korpuskuł (twardych, nieprzenikliwych ciał, zakreślających w przestrzeni jednoznacznie zdeterminowane trajektorie). Mechanika kwantowa prowadzi więc do wniosku, że poglądów opartych na „zdrowym rozsądku” i potocznym doświadczeniu nie można bezkrytycznie przenosić w dziedzinę mikroświata.

W szczególności — pisze Bohr — każda procedura, jaką moglibyśmy obmyślić do przestrzennego i czasowego skoordynowania elektronów w atomie opierałaby się w sposób nieunikniony na nie dającej się skontrolować wymianie energii i pędu pomiędzy atomem a urządzeniem mierzącym, co całkowicie zniszczyłoby charakterystyczne prawidłowości stanu atomu, za które odpowiedzialny jest kwant działania. Odwrotnie, każde badanie związków, w których opisie występuje prawo zachowania energii i pędu wymaga z natury rzeczy rezygnacji z czasoprzestrzennego opisu poszczególnego elektronu w atomie. Te aspekty zjawisk kwantowych występujące w doświadczeniach przeprowadzanych we wzajemnie wykluczających się warunkach, nie są bynajmniej ze sobą sprzeczne, lecz uzupełniają się w pewien nowy sposób — są „komplementarne”. Punkt widzenia „komplementarności” żadną miarą nie oznacza arbitralnej rezygnacji z analizowania zjawisk atomowych, lecz wręcz przeciwnie, wyraża racjonalną syntezę różnych badań, w dziedzinie przekraczającej granicę stosowalności pojęcia przyczynowości.<sup>21</sup>

To, że współczesna fizyka, w szczególności zaś mechanika kwantowa, zerwała z poglądowym przedstawianiem opisywanych zjawisk, jest rzeczą powszechnie znaną. Zamiast mechanicznego modelu rzeczywistości fizycznej i porównania świata do maszyny, czy też zegara, oferuje ona jedynie matematyczny, a więc abstrakcyjny model rzeczywistości. Jednakże nadal pozostaje otwarta kwestia pojęciowego uchwycenia realności fizycznej. Otóż zasada komplementarności wyraża, jak się wydaje, coś więcej, niż tylko kres możliwości wyobrażania sobie mikroświata, wyraża ona niemożliwość jego pojęciowej reprezentacji w tradycyjnych kategoriach, a przynajmniej konieczność pewnej relatywizacji znaczeń wiązanych z takimi terminami, jak „zjawisko” i „rzeczywistość fizyczna”. Bohr podkreśla, że

<sup>21</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 103.

[...] jeżeli wykonamy doświadczenie, dotyczące zjawiska, które w zasadzie wykracza poza obręb fizyki klasycznej, to jego wyniku nie wolno interpretować jako informacji o niezależnych własnościach przedmiotu; wynik doświadczenia jest z natury rzeczy związany z określoną sytuacją i do charakterystyki tej sytuacji wchodzi, jako czynnik istotny, przyrządy pomiarowe oddziałujące z przedmiotami. Te okoliczności tłumaczą z miejsca pozorne sprzeczności występujące, gdy wyniki doświadczeń, dotyczące obiektu atomowego, uzyskane różnymi układami eksperymentalnymi, próbujemy złożyć w samoistny obraz obiektu.<sup>22</sup>

Otóż zgodnie z zasadą komplementarności klasycznych obrazów kwantowej rzeczywistości (np. korpuskularnego i falowego obrazu światła i materii, opisu czasoprzestrzennego i deterministycznego) nigdy nie uda nam się złożyć w taką całość, jak w fizyce klasycznej i stworzyć tym samym poglądowy model procesów atomowych. Odpowiedzialny za ten stan rzeczy jest język fizyki klasycznej, który jest jedynym narzędziem komunikacji wiedzy naukowej.

Zdaniem Bohra mechanika kwantowa w interpretacji kopenhaskiej nie prowadzi do idealizmu teoriopoznawczego, ale nie jest również teorią realistyczną. Jest obiektywnym opisem zjawisk atomowych, przy czym wyjaśnić trzeba, jak Bohr rozumie „obiektywność” oraz „zjawisko”.

### 3. OBIEKTYWNOŚĆ — WEDŁUG BOHRA

Bohr przez obiektywny opis przyrody rozumie opis, który pozwala uczonym na „jednoznaczną wymianę informacji”<sup>23</sup>. Podstawowym narzędziem opisu i komunikacji jest zawsze mało precyzyjny język potoczny. W języku fizyki zastosowanie formalizmu matematycznego umożliwia jednoznaczne określenie sensu używanych pojęć i eliminację „pierwiastka subiektywnego”, co oznacza, że w ten sposób „unika się wszelkiego odwoływania się do świadomego podmiotu, co ma miejsce w języku potocznym”<sup>24</sup>. Podkreślić trzeba, że Bohr nie utożsamia obiektywności poznania z klasycznym realizmem naukowym, tzn. reprezentacją resp. obrazowaniem rzeczywistości, poznaniem „istoty rzeczy”, ani też z takim opisem przyrody, dla którego opis warunków przeprowadzonego eksperymentu nie byłby istotnym składnikiem sytuacji poznawczej. Zdaniem Bohra celem nauki nie jest dociekanie „realnej istoty zjawisk” (*the real essence*)<sup>25</sup>, ale „ustanowienie ilościowych zależności między wynikami pomiarów”<sup>26</sup>.

<sup>22</sup> *Ibid.*, s. 44.

<sup>23</sup> *Ibid.*, s. 103.

<sup>24</sup> *Ibid.*, s. 104

<sup>25</sup> N. Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge 1934, p. 118.

<sup>26</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 105.

Opis obiektywny w rozumieniu mechanistycznej koncepcji nauki abstrahuje od tego, że obserwator jest istotą fizyczną usytuowaną wewnątrz opisywanego przezeń świata i posługuje się materialnymi narzędziami podlegającymi prawom tego świata. W koncepcji nauki Laplace'a opis jest obiektywny w tej mierze, „w jakiej obserwator jest z niego wyłączony, a sam opis jest dokonywany z punktu leżącego *de iure* na zewnątrz świata, to jest z boskiego punktu widzenia”.<sup>27</sup> Według fizyki klasycznej można poznać świat nie zaburzając prawidłowego (deterministycznego) biegu przyrody. Działalność materialna podmiotu nie może w istotny sposób wpływać na wynik obserwacji i w tym sensie struktura pojęciowa fizyki klasycznej może być rozumiana jako reprezentacja rzeczywistości takiej, jaką ona jest absolutnie niezależnie od przeprowadzanych obserwacji i eksperymentów. Według Bohra, pojęć mechaniki kwantowej nie można rozumieć jako reprezentacji realności fizycznej absolutnie niezależnej od układu eksperymentalnego, służącego do określenia fizycznych charakterystyk mikroobjektów: „Mówiąc o ramach pojęciowych mamy na myśli tylko jednoznaczne logiczne przedstawienie zależności pomiędzy doświadczeniami”.<sup>28</sup> „Głównym punktem mej argumentacji jest teza, że do obiektywnego opisu i harmonijnego pojmowania trzeba niemal w każdej dziedzinie wiedzy wziąć pod uwagę warunki, w których zbieramy doświadczenie”.<sup>29</sup>

#### 4. POJĘCIE ZJAWISKA

Bohr podkreśla, że w mechanice kwantowej nie można w absolutnie jednoznaczny sposób oddzielić zachowania się obiektu atomowego od jego interakcji z przyrządem pomiarowym. Podczas oddziaływania przyrząd i obiekt tworzą nierozzerwalną całość i oddziaływanie przyrządu wpływa w istotny sposób na przebieg zjawisk, zatem nie można w sposób absolutny oddzielić badanego przedmiotu od urządzenia pomiarowego. Jednak rozróżnienie badanego obiektu i urządzenia pomiarowego jest konieczne w opisie każdego eksperymentu. Bohr proponuje zatem pewną „relatywizację”<sup>30</sup> terminu „zjawisko”<sup>31</sup>. Píše on nastę-

<sup>27</sup> I. Prigogine, I. Stengers, *Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z przyrodą*, tłum. K. Lipszyc, PIW, Warszawa 1990, s. 65.

<sup>28</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 104.

<sup>29</sup> *Ibid.*, s. 11.

<sup>30</sup> Por. N. Bohr, *On the notions of causality and complementarity*, „Dialectica. International Review of Philosophy of Knowledge” 1948, 7/8, Vol. 2, No. 3–4, s. 317.

<sup>31</sup> Relatywizacja, którą proponuje Bohr odnosi się oczywiście do znaczenia terminu „zjawisko” przyjmowanego w naukach przyrodniczych. Oznaczał on zwykle obiektywny i zmysłowo obserwowalny proces w przestrzeni i czasie. W filozofii natomiast używa się tego terminu w sposób wieloznaczny. Może znaczyć obserwowalny przejaw rzeczywistości, wszystko, co może być

pująco: „Jeśli chodzi o obiektywny opis, to właściwiej jest zarezerwować słowo ‘zjawisko’ dla obserwacji otrzymanych w warunkach, których opis uwzględnia cały układ eksperymentalny”<sup>32</sup>. Opis ten z konieczności wyrażany jest pojęciami fizyki klasycznej, które nie są jednak w pełni adekwatne do głębszego poziomu rzeczywistości — rzeczywistości kwantowej, stanowiącej podstawę świata klasycznego.

## 5. JEDNOŚĆ ŚWIATA I DUALIZM JĘZYKA

W opisie zjawisk z dziedziny mechaniki kwantowej niezmiernie istotne jest rozróżnienie badanego obiektu i urządzenia pomiarowego „określającego w języku pojęć klasycznych warunki, w których zjawiska występują”<sup>33</sup>. Bohr podkreśla, że opis doświadczenia nad mikroobiektami musi być zawsze wyrażony w języku fizyki klasycznej, chociaż same mikroobiekty nie podlegają prawom fizyki klasycznej, ale bardziej podstawowym i istotnie się od nich różniącym prawom teorii kwantów. Każde „jednoznaczne użycie czasoprzestrzennych pojęć sprowadza się do rejestrowania obserwacji dotyczących śladów na kliszach fotograficznych lub innych praktycznie nieodwracalnych wyników wzmacniania”<sup>34</sup>. Dla wyrażenia takiej informacji konieczne jest używanie języka, który zawiera takie podstawowe kategorie, jak „czas”, „przestrzeń” czy „przyczynowość”. Oznacza to, że struktura fizyki klasycznej stanowi formę, w której zawsze wyraża się opis doświadczenia. Takiemu opisowi powinien podlegać również przyrząd pomiarowy, który służy do badania własności mikroobektów. Chociaż mechanika kwantowa jest teorią bardziej podstawową i ogólniejszą niż fizyka klasyczna, a więc *ex definitione*

„przedmiotem możliwego doświadczenia” w odróżnieniu od „ukrytej istoty rzeczy” (w szczególności: „fenomen” jako pojęcie przeciwstawiane „rzeczy samej w sobie” w filozofii Kanta); pozór rzeczywistości, złuda; w fenomenologii Husserla: przedmiot fenomenologicznego oglądu, dane świadomości — to, co się jawi podmiotowi poznającemu rozpatrywane jako immanentny przedmiot świadomościowy, resp. korelat aktów świadomych — fenomenologiczne pojęcie zjawiska, które Heidegger określa jako to, co ukazuje-się-w-sobie-samym (*das Sich-an-sich-selbst-zeigende*) (J. M. Bocheński, *Współczesne metody myślenia*, tłum. J. Judycki, W drodze, Poznań, 1992, s. 35.) Niektórzy filozofowie utożsamiają „zjawisko” z „faktem” (Por. M. Kaiser 1995, *The independence of scientific phenomena*, „Poznań Studies in the Philosophy of Sciences and the Humanities” 1995, Vol. 44, p. 179–200); „zdarzeniem”, „regularnością” (I. Hacking, *Speculation, calculation and the creation of phenomena*, [w:] G. Munevar (ed.), *Beyond Reason*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1991, p. 141). Inni natomiast zdecydowanie to pojęcie odróżniają, wiążąc np. pojęcie zjawiska z „tendencją pewnych obiektów (niekoniecznie przedmiotów materialnych) do zachowania się w określony sposób” (Por. E. Katuszyńska, *Kreowanie czy produkowanie zjawisk?* (maszynopis), 1995, s. 2.

<sup>32</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 111–112.

<sup>33</sup> *Ibid.*, s. 78.

<sup>34</sup> *Ibid.*, s. 80.

i jakkolwiek przyrząd pomiarowy powinien podlegać jej prawom, to jednocześnie przyrząd musi być na tyle „ciężki” (resp. makroskopowy), aby przy jego opisie można było pominąć efekty kwantowe (np. superpozycję stanów); musi zawierać sztywne pręty miernicze i zsynchronizowane zegary, musi być postrzegalny i na podstawie jego stanów powinniśmy móc jednoznacznie wnioskować na temat zaobserwowanych mikroprocesów. „Bohr — pisze von Weizsäcker — uważał język fizyki klasycznej za ten, którym opisujemy nasze bezpośrednie dane zmysłowe. Nasza wiedza empiryczna musi być wobec tego sformułowana w języku klasycznym”.<sup>35</sup> Sam Bohr ujmuje natomiast rzecz następująco: „również wówczas, gdy zjawiska wykraczają poza zakres klasycznej fizyki, opis urządzeń eksperymentalnych i wyniki obserwacji muszą być podane w prostym zrozumiałym języku, odpowiednio uzupełnionym techniczno-fizyczną terminologią. Jest to jasne i logiczne żądanie, ponieważ samo słowo ‘doświadczenie’ odnosi się do sytuacji, w której możemy powiedzieć innym, czegośmy dokonali i czegośmy się nauczyli”.<sup>36</sup>

Pewien paradoks leżący u podstaw kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej polega na tym, że fizyka klasyczna nie stosuje się do mikroświata, w którym fundamentalną rolę odgrywa zasada nieoznaczoności. Jest ona wnioskiem z kwantomechanicznego formalizmu, który *de facto* nie da się jednoznacznie wyrazić w kategoriach zaczerpniętych z języka potocznego, a więc i z systemu pojęciowego fizyki klasycznej. Bohr zwraca uwagę na fakt, że stojemy tu przed wyborem języka, w którym należy mówić o występowaniu zjawisk wykraczających poza jednoznaczne stosowanie kategorii fizyki klasycznej. Piśze on: „Tak na przykład powiedzenie «nie możemy znać równocześnie pędu i położenia obiektu atomowego» nasuwa natychmiast pytanie: czy przypisywane atomom własności są obie fizycznie realne. Lecz na to pytanie można odpowiedzieć tylko zakładając po pierwsze jednoznaczny opis czasoprzestrzenny, po drugie prawa zachowania dynamiki.”<sup>37</sup> Relacje nieoznaczoności uniemożliwiają jednak równoczesny czasoprzestrzenny i dynamiczny opis układu kwantowego. Podobnie niewłaściwe jest mówienie o „zaburzeniu zjawiska przez obserwację”, resp. „stwarzaniu atrybutów przedmiotów fizycznych przez dokonanie pomiaru”<sup>38</sup>. W przypadku doświadczeń z dziedziny mikrofizyki znaczenie takich terminów jak „zjawisko”, „obserwacja”, „atrybut” i „pomiar”<sup>39</sup> nie pokrywa się z ich znacze-

<sup>35</sup> C. F. von Weizsäcker, *Jedność przyrody*, tłum. K. Napiórkowski, J. Prokopiuk, H. Tomasik, K. Wolicki, PIW, Warszawa 1978, s. 183.

<sup>36</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 65.

<sup>37</sup> *Ibid.*

<sup>38</sup> *Ibid.*, s. 95.

<sup>39</sup> Szczególnie jaskrawym przykładem jest to, że jeśli zaobserwujemy pewną cechę mikroobiekta (tzn. wykonamy pomiar kwantowy), nie możemy twierdzić, że istniała ona przed dokona-

niem w języku potocznym. Przede wszystkim dlatego, że ze względu na istnienie kwantu działania, nie jest spełniony istotny dla klasycznego opisu doświadczenia i jednoznacznego stosowania powyższych kategorii warunków o zaniedbywalności materialnego oddziaływania między instrumentem pomiarowym a mierzonym obiektem.

Taki stan rzeczy sprawia, że struktura pojęciowa fizyki klasycznej przestaje być adekwatna do opisu doświadczeń nad atomami i stajemy przed koniecznością jej racjonalnej modyfikacji. Zasada komplementarności jest właśnie — jak stwierdza Bohr — odpowiedzią na pytanie, „w jaki sposób można zachować obiektywność opisu, gdy narastające doświadczenie wykracza poza zdarzenia życia codziennego”<sup>40</sup>, a więc i poza możliwość opisanego go w kategoriach języka potocznego i fizyki klasycznej.

Należy podkreślić, że dualizm (np. cząstka-fala) w interpretacji kopenhaskiej jest dualizmem dotyczącym wyłącznie języka opisu doświadczenia, gdy posługujemy się językiem fizyki klasycznej, a nie jest związany z dualistycznym charakterem samych obiektów kwantowych. Jeżeli już coś można twierdzić na temat samych zjawisk mikroświata, to — zgodnie ze stanowiskiem Bohra — mają one charakter jednolity. „Światło i materia — pisze Heisenberg — są jednolitymi zjawiskami fizycznymi, ich pozorna dwoista natura ma swe źródło w istotnej nieudolności (*wesentlichen Unzulänglichkeit*) naszego języka”<sup>41</sup>.

Ten, kto naprawdę zrozumiał teorię kwantów — pisze Heisenberg relacjonując stanowisko Bohra — nie wpadnie na pomysł mówienia w tym miejscu o dualizmie. Uważać będzie teorię za jednolity opis zjawisk atomowych, który może wyglądać różnie tylko tam, gdzie jest przekładany na język potoczny w celu opisanego eksperymentów. Teoria kwantów jest więc wspaniałym przykładem tego, że można z pełną jasnością zrozumieć jakąś treść i jednocześnie wiedzieć, że potrafi się ją wyrazić tylko za pomocą obrazów i przypowieści.<sup>42</sup>

Obrazy i przypowieści to tutaj pojęcia klasyczne, czyli takie, jak „fala” i „cząstka”. Nie pasują one dokładnie do rzeczywistego świata wzajemnie są również w stosunku komplementarnym i przez to pozornie przeczą sobie. Jeżeli mówimy o „cząstkach”, czy „falach” nie znaczy to, że mikroobiekty są cząstkami lub falami (w znaczeniach przypisywanych tym terminom w fizyce klasycznej), ale jedynie to, że pewne eksperymenty dopuszczają taki sposób mówienia, jak

---

niem pomiaru. Por. J. S. Bell, *On the problem of hidden variables in quantum mechanics*, „Reviews of Modern Physics” 1966, Vol. 38, No. 3, p. 447–452; A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, *Experimental test of Bell's inequalities using time varying analyzers*, „Physical Review Letters” 1982, Vol. 49, No. 25, p. 1804–1807.

<sup>40</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 103.

<sup>41</sup> W. Heisenberg, *Die physikalischen Principien der Quantentheorie*, Verlag von S. Hirzel, Leipzig 1930, s. 7.

<sup>42</sup> W. Heisenberg, *Część i całość. Rozmowy o fizyce atomu*, tłum. K. Napiórkowski, PIW, Warszawa 1987, s. 264.

gdyby był on cząstką, inne natomiast — jak gdyby był on falą. Charakterystyki te przestają mieć sens w oderwaniu od konkretnych sytuacji obserwacyjnych.

Nieadekwatność pojęć języka fizyki klasycznej, z którymi wiążemy pewne ustalone wyobrażenia zmysłowe i konieczność metaforycznego, a nie dosłownego użycia języka nie jest zatem, zdaniem Bohra, w żadnym wypadku przeszkodą w zrozumieniu mikroświata. Zresztą nie tylko zdaniem Bohra. „Prawdziwa, fizyczna cząstka — pisze Wichmann — jest nieprzywiedlnym obiektem, a jej własności falowe i korpuskularne są objawami różnych aspektów jej wewnętrznej natury.”<sup>43</sup> Cooper podważa ponadto samą potrzebę poglądowych wyobrażeń w fizyce pisząc, że:

[...] światło jest falą lub cząsteczką w stopniu nie większym, niż ten, w jakim siła jest wektorem a kamyki liczbami. Znajomość matematycznej struktury fal i nasze obserwacje światła, nasuwają nam przekonanie, że możemy połączyć z fizyczną rzeczywistością, jaką jest światło, twór matematyczny znany nam jako fala i że struktura i relacje matematyczne fal w ich świetle, są w jakiś sposób odbiciem struktury i relacji światła w świecie realnym<sup>44</sup>.

Zdaniem Eddingtona, jakiegokolwiek pojęcie, zanim zostanie zaliczone do struktury pojęciowej fizyki, musi zostać właśnie oczyszczone z wszelkich dotychczasowych, poglądowych wyobrażeń, jakie z nim wiązaliśmy<sup>45</sup>. Tę samą myśl Planck wyraził jeszcze dosadniej: „Dziś by po prostu wyśmiano każdego, kto by oświadczył, że brak poglądowości jest rzeczowym argumentem”<sup>46</sup>.

Stanowisko większości fizyków w odniesieniu do zagadnienia języka w mechanice kwantowej dobrze wyraża następująca wypowiedź: „Chociaż do opisu mechaniki kwantowej używam narzędzi matematycznych, podobnie jak inni fizycy mogę się uciekać jedynie do klasycznego obrazu, ponieważ moje bezpośrednie doświadczenie ma charakter klasyczny”<sup>47</sup>. Kiedy Bohr otrzymał tytuł szlachecki, na zaprojektowanym przez siebie herbie rodowym umieścił symbole *yin* i *yang* oraz napis *contraria sunt complementa*<sup>48</sup>. Zawarte w języku potocznym przeciwieństwa nie pozwalają na jednoznaczne stosowanie tych kategorii do

<sup>43</sup> E. H. Wichmann, *Fizyka kwantowa*, tłum. W. Gorzkowski, A. Szymacha, PWN, Warszawa 1975, s. 243.

<sup>44</sup> L. N. Cooper, *Istota i struktura fizyki*, tłum. J. Kozubowski, Z. Majewski, A. Pindor, J. Prochorow, PWN, Warszawa 1975, s. 270.

<sup>45</sup> A. S. Eddington, *Nowe oblicze natury*, tłum. A. Wundheiler, nakładem „Mathesis Polskiej”, Warszawa 1934, s. 236.

<sup>46</sup> M. Planck, *Jedność fizycznego obrazu świata. Wybór pism filozoficznych*, tłum. R. i S. Kernerowie, KiW, Warszawa. 1970, s. 60.

<sup>47</sup> L. M. Krauss, *Fizyka podróży międzygwiazdnych*, s. 157.

<sup>48</sup> R. Courant, *Fifty years of friendship*, [w:] S. Rozental (ed.), Niels Bohr. *His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1967, p. 304.

mikroświata, w którym pojęcia fali i korpuskuły okazują się zależne logicznie, charakteryzując jednocześnie tylko jeden aspekt zjawiska atomowego.

## 6. FILOZOFIA BOHRA A SUBIEKTYWIZM

W odniesieniu do stanowiska Bohra mamy sytuację dość paradoksalną. Jak widać z poprzednich rozważań, zasada komplementarności i kopenhaska interpretacja mechaniki kwantowej, zdaniem samego Bohra nie ma nic wspólnego z subiektywizmem epistemologicznym i jest obiektywnym opisem zjawisk fizycznych (przy przedstawionym powyżej rozumieniu terminów „obiektywność” i „zjawisko”). Zdaniem wielu fizyków i filozofów natomiast jest ona subiektywistyczna, a nawet prowadzi do zaprzeczenia istnienia rzeczywistości fizycznej niezależnej od poznającego podmiotu.

Zgodnie z interpretacją Bohra — pisze Bohm — nic nie jest mierzone w dziedzinie kwantowej. Z jego punktu widzenia nie ma tam naprawdę niczego do mierzenia, ponieważ wszystkie 'niedwuznaczne' pojęcia, które mogą być stosowane do opisu rezultatów takiego pomiaru, należą jedynie do dziedziny klasycznej. Stąd nie może być mowy o 'zaburzeniu' spowodowanym przez pomiar, skoro przede wszystkim nie ma sensu przypuszczenie, że istnieje coś, co może być zaburzone.<sup>49</sup>

Popper formułuje swoją opinię jeszcze wyraźniej, by nie powiedzieć w sposób przesadny, i pisze następująco:

Filozoficzny wpływ Machowskiego pozytywizmu został przekazany nowemu pokoleniu w sporej mierze przez młodego Einsteina. Einstein odrzucił jednak pozytywizm Machowski, po części dlatego, że z wielkim wstrząsem uświadomił sobie niektóre jego konsekwencje, które zostały nie tylko odkryte, ale także entuzjastycznie przyjęte przez kolejne pokolenie znakomitych fizyków, wśród nich Bohra, Pauliego i Heisenberga: wszyscy oni stali się subiektywistami, Einsteinowskie odrzucenie pozytywizmu nastąpiło jednak za późno. Fizyka stała się twierdzą subiektywistycznej filozofii — i tak już zostało.<sup>50</sup>

Elementy subiektywistyczne w interpretacji Bohra (a zatem i w całej kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej) tkwią — zdaniem Poppa — w subiektywistycznej interpretacji prawdopodobieństwa: w zastosowaniu do pojedynczego zdarzenia wyraża ono jedynie „naszą wiedzę subiektywną lub nasz brak wiedzy”.<sup>51</sup>

<sup>49</sup> D. Bohm, *Ukryty porządek*, tłum. M. Tempczyk, Pusty Obłok, Warszawa 1988, s. 88.

<sup>50</sup> K. Popper, *Nieustanne poszukiwania. Autobiografia intelektualna*, tłum. A. Chmielewski, Znak, Warszawa 1997, s. 213. Na marginesie — Albert Einstein urodził się 14 marca 1879 r., Niels Bohr natomiast 7 października 1885 r. Różnica sześciu lat jest chyba nieco mała, aby zaliczyć Bohra do kolejnego pokolenia fizyków po Einsteinie. Werner Heisenberg urodził się 5 grudnia 1901 r.

<sup>51</sup> *Ibid.*, s. 214.



Błochincew utrzymuje natomiast, że zasada komplementarności podkreśla nie fakt istnienia obiektów o nowym charakterze, lecz zagadnienie możliwości pomiarowych makroskopowych przyrządów pomiarowych. Zatem

[...] na pierwszy plan wysuwa się nie właściwości mikroświata, których wynikiem jest niemożliwość badania ich metodami fizyki klasycznej, lecz możliwości obserwatora operującego wielkościami i pojęciami makroskopowymi. Inaczej mówiąc, na pierwszy plan wysuwa się obserwowalność, a resztę rozpatruje się jako jej następstwa<sup>52</sup>.

Filozoficzna koncepcja komplementarności Bohra prowadzi — według Błochincewa — do zaprzeczenia obiektywności zjawisk mikroświata, do subiektywnej interpretacji funkcji falowej i pojęcia stanu kwantowomechanicznego. Funkcję falową rozpatruje się jako wyraz wiadomości obserwatora otrzymanych w wyniku pomiarów. Realność takiego czy innego stanu mikroukładu utożsamia się w takim ujęciu z wiadomościami obserwatora o mikroukładzie, tj. przekształca się z kategorii obiektywnej w subiektywną. W dalszym ciągu Błochincew utrzymuje, że „cały problem teorii kwantowej jest rozpatrywany przez Bohra jako zagadnienie wzajemnego oddziaływania przyrządu i mikroobektu — gdy zaś opuszcza on bardziej pewny grunt fizyki — jako zagadnienie wzajemnego stosunku subiektu i obiektu. W tym właśnie przejawia się główny metodologiczny błąd koncepcji komplementarności: w świetle tej koncepcji prawidłowości kwantowo-mechaniczne tracą swój obiektywny charakter, stają się prawidłowościami wypływającymi ze sposobu postrzegania przez człowieka zjawisk mikroświata. To zaś jest już idealizmem”<sup>53</sup>.

W podobnym stylu utrzymana jest krytyka Focka. Sądzi on, że Bohr od początku stawia nierozwiązalne zadanie: prześledzić jednocześnie zmiany współrzędnej  $x$  i pędu  $p$  obiektu atomowego pozostając do końca wiernym mechanice klasycznej. Kiedy zaś okazuje się, że jest to niemożliwe, wynik ten przypisuje się nie falowym własnościom materii, lecz istnieniu „rzekomo niekontrolowanego oddziaływania wzajemnego” między obiektem a przyrządem. Zamiast mówić, że przy dokładnie określonej współrzędnej  $x$  pęd  $p$  jest nieokreślony, Bohr mówi, że gdy współrzędna  $x$  jest dokładnie kontrolowalna, pęd  $p$  jest niekontrolowalny. Taki sposób wyrażania się jest — zdaniem Focka — odgłosem tego dawno nieaktualnego, odrzuconego stanowiska, według którego  $x$  i  $p$  „naprawdę” mają zawsze określone wartości, ale które wskutek jakiegoś kaprysu przyrody (niekontrolowalność oddziaływania itp.) nie są jednocześnie obserwowalne<sup>54</sup>.

<sup>52</sup> D. L. Błochincew, *Krytyka idealistycznego ujęcia teorii kwantów*, tłum. Z. Kopeć, [w:] *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej*, PWN, Warszawa 1953, s. 41.

<sup>53</sup> D. L. Błochincew, *Krytyka idealistycznego ujęcia...*, s. 44.

<sup>54</sup> W. Fock, *Krytyka poglądów Bohra na mechanikę kwantową*, tłum. Z. Kopeć, [w:] *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej*, PWN, Warszawa 1953, s. 93–118.

Według kopenhaskiego punktu widzenia — pisze również Aleksandrow — wszystko to jest pomieszanane. Zależność stanu od warunków zastąpiona jest przez zależność od obserwacji. Rzeczy nieabsolutne, względne, rozumie się jako subiektywne. Obiektywne skutki miesza się z obserwacją i wielkość fizyczną rozumie się nie jako obiektywną charakterystykę zjawiska, lecz jako wynik obserwacji. Elektron uważa się właściwie za cząstkę klasyczną, informacje o niej ogranicza się „zasadą komplementarności” i dlatego (pozbawia się sensu fizycznego, pozostawiając jej jedynie rolę symbolicznego zapisu tych informacji lub „możliwych przewidywań”. W ten sposób kopenhaskie pojmowanie funkcji (oparte jest, pomijając resztą, na elementarnej gmatwaninie pojęć.<sup>55</sup>

Ostatnie dwie wypowiedzi są przykładami nieporozumień — Fock i Aleksandrow przypisują Bohrowi pojmowanie mikroobiektów jako klasycznych cząstek. Przytoczenie opinii samego Bohra powinno rozwiązać wszelkie wątpliwości w tym względzie: „W szczególności musimy podkreślić, że kwantów świetlnych nie wolno uważać za cząstki, którym można by przypisać ściśle określony tor, w rozumieniu mechaniki klasycznej”.<sup>56</sup>

Faktem jest, że współcześnie coraz częściej pojawiają się krytyczne oceny interpretacji Bohra-Heisenberga. Penrose przeciwstawiając się twierdzeniu Bohra, że istnieniu fotonu w okresie między pomiarami nie można nadać żadnego „obiektywnego znaczenia” uznaje taki pogląd na realność stanu fotonu za „zbyt pesymistyczny”<sup>57</sup>. „Bardziej optymistyczna” interpretacja Penrose’a polega na przyjęciu założenia, że ten sam foton istnieje w dwóch różnych i dowolnie odległych miejscach równocześnie. Gell-Mann utrzymuje natomiast, że „Odkrywczy mechaniki kwantowej przedstawili jej dziwnie ograniczoną i antropocentryczną interpretację”<sup>58</sup>, której nie można uznać za fundamentalną.

Oczywiście sprawa interpretacji mechaniki kwantowej jest nadal otwarta i siedemdziesiąt lat dyskusji wokół poznawczych podstaw fizyki świata atomowego spowodowało raczej powstanie wielu konkurencyjnych (już kilkunastu) interpretacji, niż ustaleniu jednej, powszechnie uznawanej.

Jeżeli jednak krytyka kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej, a więc i stanowiska Bohra, oparta jest na zarzucie, że mechanika kwantowa nie mówi, jak „naprawdę” przebiegają zjawiska mikroświata, ale stwierdza jedynie to, co na podstawie rachunków i eksperymentów możemy powiedzieć o przyrodzie, i jeżeli przez owo „naprawdę” rozumie się stwierdzenie, jak przebiegają indywidualne procesy atomowe niezależnie od faktu ich obserwacji, a ściślej — niezależnie od konkretnego układu eksperymentalnego, to na gruncie zasady komplementarności

<sup>55</sup> A. Aleksandrow, *O znaczeniu funkcji falowej* s. 131.

<sup>56</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 15.

<sup>57</sup> R. Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, tłum. P. Amsterdamski, PWN, Warszawa 1995, s.

<sup>58</sup> M. Gell-Mann, *Kwark i jaguar. Przygody z prostotą i złożonością*, tłum. P. Amsterdamski, CIS, Warszawa 1996, s. 193.

pytanie takie w ogóle traci sens. Feynman pisze nawet, że „Nikt nie potrafi «wyjaśnić» więcej [...]. Nikt nie da wam głębszej analizy sytuacji”<sup>59</sup>. Spory o to, czy należy mówić, że np. pęd mikroobiektu jest w pewnych warunkach nieokreślony, czy też niekontrolowalny są jedynie werbalne — nie możemy bezpośrednio postrzegać zjawisk atomowych, zatem gdy o nich mówimy, od razu pojawia się kategoria dostępu poznawczego. Bohr utrzymuje, że atrybuty przypisywane przedmiotom fizycznym stają się „dwuznaczne”, gdy nie można ściśle oddzielić zachowania się przedmiotu od jego oddziaływania z przyrządem pomiarowym. Za niepodzielność oddziaływania odpowiedzialne jest istnienie kwantu działania, a wyniku doświadczenia nie można już ujmować w tradycyjnej opozycji przedmiot-podmiot. Do opisu doświadczenia konieczne jest włączenie jako trzeciego elementu całego zestawu eksperymentalnego, resp. przyrządu pomiarowego. Dopiero tej całości można przypisywać wartości parametrów fizycznych. Bohr wielokrotnie podkreśla podobieństwo między argumentacją komplementarną a teorią względności Einsteina — w obydwu przypadkach rezygnuje się z absolutnego znaczenia własności przypisywanych przedmiotom. Wbrew cytowanym wyżej głosom krytycznym Bohr nie utożsamia względności z subiektywnością:

Tak, jak zasada względności wyraża istotną zależność każdego zjawiska od układu odniesienia określającego położenie w czasie i przestrzeni, tak zasada komplementarności symbolicznie wyraża zachodzące w fizyce atomowej podstawowe ograniczenie obiektywnego istnienia zjawisk niezależnych od środków ich obserwacji<sup>60</sup>

Podobnie jak w teorii względności przebieg zjawisk zależy od fizycznego układu odniesienia, a nie od subiektywności obserwatora, tak w mechanice kwantowej przebieg zjawisk atomowych zależy od materialnych układów eksperymentalnych i nie ma żadnego związku z subiektywizmem epistemologicznym rozumianym jako zależność mikroprocesów od świadomego podmiotu poznającego — fizyka-obszawatora. Ograniczenia nałożone na możliwości poznania mikroświata nie wynikają z naszych czysto ludzkich zdolności poznawczych, ale są uwarunkowane samą strukturą przyrody — przede wszystkim istnieniem kwantu działania, mają zatem charakter całkowicie obiektywny.

To, że mamy swobodę wyboru w projektowaniu doświadczenia i w podjęciu decyzji, który z aspektów (korpuskularny czy falowy) ujawnią nasze eksperymenty oznacza jedynie, że możemy wybierać, który z obiektywnie możliwych aspektów zostanie ujawniony. Trudno tu dopatrzeć się jakiegoś subiektywizmu, ponieważ gdyby dyspozycja do realizacji aspektu korpuskularnego albo falowego

<sup>59</sup> R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, tłum. A. Jurewicz, M. Grynberg, M. Kozłowski, T. Buttler, t. I, cz. 2, PWN, Warszawa 1974, s. 186.

<sup>60</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 18.

nie była zawarta w samych mikroobiektach, choć obserwowana może być jedynie w interakcji z przyrządem pomiarowym, niemożliwe byłoby zrozumienie, jak można doprowadzić te cechy do pojawienia się i dlaczego w ściśle określonych sytuacjach eksperymentalnych mamy do czynienia np. z aspektem falowym albo korpuskularnym.

„Przyrząd pomiarowy”, o którym mowa w interpretacji Bohra, nie musi być wcale utożsamiany z przyrządem zbudowanym przez człowieka. Załóżmy, że gdzieś w przestrzeni kosmicznej wiązka elektronów trafia na kryształ, który pełni rolę siatki dyfrakcyjnej, a następnie na jakikolwiek obiekt pełniący rolę ekranu z omawianego uprzednio doświadczenia. Z całą pewnością nastąpi interferencja, chociaż układ nie został skonstruowany przez człowieka i nie ma nikogo, kto mógłby ten efekt obserwować.

## 7. PROBLEM OBSERWATORA

Bohr — przynajmniej w ostatecznej wersji kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej<sup>61</sup> — w żadnym razie nie twierdził, by do teoretycznych rozważań włączyć subiektywność (resp. psychiczność) fizyka eksperymentatora. „W eksperymencie jako obiektywnym analizatorze przyrody obserwator ma, poza możliwością dobrania materialnych środków obserwacyjnych, jedynie wolność wyboru, które z obiektywnie możliwych momentów powinny być wydobyte w konkretnym przypadku z ogólnych zależności między przedmiotami i procesami. Pojęcie komplementarności przypomina o tym, że przedmioty i procesy w tego rodzaju doświadczeniach nie są ujmowane całościowo.”<sup>62</sup> Bohr podkreśla, że jest „z pewnością niemożliwe, by obserwator wpływał na zdarzenia mogące występować w warunkach, które był obrał”<sup>63</sup>. Interpretacje niektórych wypowiedzi Bohra sugerują, że problem relacji podmiot–przedmiot jest przez niego ujmowany jako problem relacji między tym, co fizyczne, a tym, co psychiczne (tzn. aktami świadomościowymi). Interpretacje takie są uzasadnione o tyle, że Bohr wskazywał na możliwość stosowania argumentacji komplementarnej, czy też komplementarnego punktu widzenia, nie tylko w dziedzinie mikrofizyki, ale np. w psychologii (komplementarność przeżywania aktu psychicznego i refleksji nad tym aktem), czy biologii (komplementarność podejścia deterministycznego i teleologicznego).

<sup>61</sup> Zarówno stanowiska Bohra, jak i Heisenberga ulegały pewnej ewolucji, co wydaje się naturalne podczas prób poszukiwania spójnej interpretacji mechaniki kwantowej, która w radykalny sposób odchodzi od obrazu świata otrzymanego na podstawie codziennego doświadczenia, a także tego, jaki daje fizyka klasyczna.

<sup>62</sup> U. Röseberg, *Niels Bohr a filozofia*, s. 81.

<sup>63</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 80–81.

Naprawdę jednak w zasadzie komplementarności chodzi o coś zupełnie innego, a mianowicie o to, że nie można w sposób absolutny — zdaniem Bohra — przeprowadzić linii odgraniczającej między niezależnym zachowaniem się obiektów a ich oddziaływaniem z przyrządami pomiarowymi<sup>64</sup>. W interpretacji Bohra nie ma najmniejszego znaczenia, czy podczas jego realizacji będzie obecny podmiot świadomy — obserwator. Doświadczenie, jak to często bywa we współczesnej fizyce, może przebiegać w sposób całkowicie zautomatyzowany. Nie ma także znaczenia, czy rezultat eksperymentu, np. klisza fotograficzna, czy wydruk komputerowy, będzie postrzeżony bezpośrednio po zakończeniu eksperymentu, czy też, powiedzmy, za sto lat.

Być może jest nieco przesady w stwierdzeniu, że trzeba jeszcze stuleci dla pełnego przyswojenia sobie niezmiernie głębokiej treści dorobku Bohra na temat podstaw fizyki kwantowej i „podniesienia na wyższy poziom naszego abstrakcyjnego myślenia i naszego intuicyjnego odczucia, kategorii naszego umysłu, które muszą powoli dostosować się do naszego poznania przyrody”<sup>65</sup>, ale z epistemologicznego punktu widzenia niezmiernie istotne pozostaje odkrycie indywidualności, czyli niepodzielności zjawisk atomowych, bezpośrednio wynikające z istnienia kwantu działania Plancka.<sup>66</sup> Działanie instrumentu pomiarowego na badany obiekt nie może być pominięte, bo stanowi integralną część zjawiska i powoduje wzajemne wykluczanie się pewnych informacji potrzebnych do pełnego, z punktu widzenia fizyki klasycznej, opisu zjawisk. Nie jest zatem możliwa dowolnie szczegółowa analiza procesu kwantowego i w tym sensie zjawiska te są indywidualne, niepodzielne z natury rzeczy. Rezultat eksperymentu jest zawsze opisany w języku fizyki klasycznej, bo tylko taki język pozwala na jednoznaczną wymianę informacji, co Bohr utożsamia z obiektywnością opisu. Ale o rezultacie eksperymentu możemy mówić jedynie wtedy, gdy badany układ kwantowomechaniczny przestaje być układem izolowanym i w konsekwencji rezultat obserwacji daje się wyrazić jedynie jako wartość oczekiwana zmiennej losowej<sup>67</sup>.

Niepodzielność procesów atomowych oznacza, że rezultat eksperymentu nie zawiera informacji o własnościach samych obiektów kwantowomechanicznych, ale o całości, do której należy również przyrząd pomiarowy. Dlatego też w interpretacji Bohra mechanika kwantowa nie może być rozumiana jako pojęciowe odzwierciedlenie rzeczywistości „samej w sobie”. Ale czy jakakolwiek teoria fizyczna była? Odkrycie dzięki rozwojowi mechaniki kwantowej pewnych ograni-

<sup>64</sup> *Ibid.*, s. 81.

<sup>65</sup> R. S. Ingarden, *Fizyka i fizycy. Studia i szkice z historii i filozofii fizyki*, Wyd. UMK, Toruń 1994, s. 254–255.

<sup>66</sup> N. Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung*, Berlin 1931, s. 35, cyt. [w:] U. Röseberg, *Niels Bohr a filozofia*, s. 74.

<sup>67</sup> U. Röseberg, *op. cit.*, s. 75.

czeń poznania — niemożliwości jednoczesnego określenia z dowolną dokładnością wielkości komplementarnych — jest przecież odkryciem pewnych obiektywnych warunków, jakie na możliwość uzyskania wiedzy o świecie narzuca sama rzeczywistość fizyczna. Istnienie takich ograniczeń — jak podkreśla Bohr — nie wynika bynajmniej z naszych arbitralnych decyzji. Jeżeli przez obiektywny opis przyrody, jak chciał Laplace, rozumieć będziemy opis zjawisk fizycznych absolutnie niezależny od materialnych i konceptualnych środków, jakimi dysponujemy, opis świata „z punktu widzenia Pana Boga”, to mechanika kwantowa z pewnością nie jest w tym sensie obiektywna. Lecz takie pojęcie obiektywności poznania jest wyrazem bezkrytycznego podejścia do zagadnienia statusu teorii naukowych i jest wyrazem prymitywnej koncepcji wiedzy jako swego rodzaju spisu z natury. Wydaje się ono zdecydowanie przewyżczone między innymi dzięki filozoficznej myśli Nielsa Bohra.

Za cenę rezygnacji z wymogów tradycyjnego wyjaśniania uzyskaliśmy logiczne środki do objęcia szerszej dziedziny doświadczeń, musimy jednak przy tym zwracać baczność uwagę na to, gdzie leży linia rozgraniczająca przedmiot i podmiot. W literaturze filozoficznej mówi się czasem o różnych stopniach subiektywności i obiektywności, a nawet rzeczywistości; w związku z tym musimy podkreślić, że zarówno na pojęcie jakiegos ostatecznego podmiotu, jak też na pojęcia takie, jak realizm i idealizm nie ma miejsca w obiektywnym opisie takim, jaki zdefiniowaliśmy wyżej; nie daje to jednak powodu do jakiegokolwiek zasięgu naszych rozważań.<sup>68</sup>

#### SUMMARY

Quantum mechanic, since its origin, implies many philosophical problems, both epistemological and ontological. One of the most important problems is connected with the epistemological problem of objectivity. In this paper I discuss Niels Bohr answer to the question: Can the quantum-mechanical description of physical reality be considered objective? A point of view termed “complementarity” recognize that, however the phenomena transcend the scope of classical physical explanation, the account of all evidence must be expressed in classical terms. This crucial point implies the impossibility of any sharp separation between the behaviour of atomic objects and the interaction with the measuring instruments, which serve to define the conditions under which the phenomena appear. This recognition was to show that the viewpoint of complementarity may be regarded as a rational generalization of the causality.

---

<sup>68</sup> N. Bohr, *Fizyka atomowa*, s. 120.