

*Andrzej Łukasik*  
Instytut Filozofii  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

## Mechanika kwantowa a problem obiektywności

**Abstrakt.** W artykule argumentuję, że odróżnienie epistemologicznego i ontologicznego pojęcia obiektywności, oraz radykalnej obiektywności ontologicznej od obiektywności ontologicznej zrelatywizowanej do przyrządu pomiarowego pozwala na adekwatną analizę sytuacji poznawczej w mechanice kwantowej i przeciwstawienie się subiektywistycznym interpretacjom mechaniki kwantowej.

**Słowa kluczowe:** mechanika kwantowa, obiektywność, pomiar

## Quantum Mechanics and Objectivity Problem

**Abstract.** In the article I argue that distinction between the epistemological notion and objectivity from ontological notion of objectivity, as well as radical ontological objectivity and ontological objectivity relative to the measuring instrument allows us for an adequate analysis of the cognitive situation in quantum mechanics and undermines the subjectivist interpretations of it.

**Keywords:** quantum mechanics, objectivity, measurement

Jeżeli wykonamy doświadczenie dotyczące zjawiska, które w zasadzie wykracza poza obręb fizyki klasycznej, to jego wyniku nie można interpretować jako informacji o niezależnych własnościach przedmiotu; wynik doświadczenia jest bowiem z natury rzeczy związany z określoną sytuacją i do charakterystyki tej sytuacji wchodzi jako czynnik istotny przyrządu pomiarowe oddziałujące z przedmiotami.

Niels Bohr (Bohr 1963, 44)

## Wstęp

Matematyczne przyrodoznawstwo od XVII wieku uchodziło za paradygmat obiektywnego opisu przyrody, a fizykę Newtona powszechnie uznawano za wzór, do którego należy upodobnić wszelkie pozostałe nauki. Na początku XX wieku dwie wielkie rewolucje naukowe związane z powstaniem teorii względności i mechaniki kwantowej ukazały istotne ograniczenia pojęć fizyki klasycznej. Wiemy współcześnie, że chociaż fizyka klasyczna nadal może być z powodzeniem stosowana w sferze makroskopowej, to jednak całkowicie zawodzi w świecie atomów i cząstek elementarnych, gdzie została zastąpiona przez mechanikę kwantową, która

jest uznawana za jedną z dwóch (obok ogólnej teorii względności Einsteina) fundamentalnych teorii fizyki współczesnej.

Mechanika kwantowa wprowadziła do fizyki szereg przełomowych idei, takich jak kwant działania, superpozycja stanów, nieoznaczoność, kwantowe splątanie, przez co wiedzie do „obrazu świata” całkowicie obcego naszym zdroworozsądkowym wyobrażeniom, pełnego paradoksów i tajemnic. Właściwie trudno nawet mówić tu o jakimś „obrazie świata”, ponieważ jak dotąd nie wypracowano jednej, powszechnie przyjętej interpretacji mechaniki kwantowej, a kontrowersje wokół jej podstaw poznawczych są dziś równie żywe, jak w latach trzydziestych XX wieku, kiedy tworzono jej podstawy. Mechanika kwantowa postawiła również w nowym świetle jeden z fundamentalnych problemów filozoficznych, a mianowicie problem obiektywności poznania. Zdaniem wielu autorów mechanika kwantowa „nie pozwala nam opisać przyrody w sposób całkowicie obiektywny” (Heisenberg 1965, 99), zawiera „elementy subiektywne” (Heisenberg 1965, 33), ponieważ wymaga uwzględnienia w opisie zjawisk fizycznych świadomości obserwatora,<sup>1</sup> zaprzecza obiektywnej rzeczywistości mikroobiektów (Heisenberg 1979, 113), i prowadzi do antyrealizmu w filozofii nauki, zgodnie z którym atomy i cząstki elementarne to jedynie użyteczne fikcje, matematyczne modele pozwalające opisać doświadczenia wykonywane za pomocą makroskopowych przyrządów pomiarowych, za którymi to konstrukcjami nie kryje się jednak żadna obiektywna rzeczywistość (Pais 2012, 405).

W bogatej literaturze dotyczącej jednego z najbardziej fundamentalnych problemów interpretacyjnych mechaniki kwantowej, a mianowicie problemu pomiaru, często spotykamy się z twierdzeniami, że obiekty mikroświata *nie istnieją*, dopóki nie zostanie wykonany pomiar. Na poparcie takiego stanowiska przytacza się zwykle postulat redukcji wektora stanu, zgodnie z którym przed wykonaniem pomiaru obiekt kwantowy znajduje się na ogół w stanie superpozycji wszystkich możliwych stanów, natomiast w rezultacie przeprowadzonego pomiaru następuje nagły przeskok do jednej określonej wartości własnej. Zauważyć jednak należy, że nawet wówczas, gdy akceptujemy postulat redukcji wektora stanu,<sup>2</sup> to wynika z niego tylko tyle, że w rezultacie pomiaru pewna *cecha* mikroobiektu (na przykład rzut spinu elektronu na pewien kierunek w przestrzeni, czy polaryzacja fotonu) ulega takiej „aktualizacji”, a nie *istnienie* tegoż obiektu. *Obiektywne istnienie* przedmiotu należy odróżnić od *obiektywnego istnienia cech* tego przedmiotu.

W tradycji filozoficznej cechy uznaje się za *niesamoistne* elementy rzeczy, wśród nich zaś wyróżnia się, między innymi, cechy wewnętrzne, czyli *własności* i cechy zewnętrzne – *relacyjne*, powstające w wyniku relacji wobec innych

<sup>1</sup> Najbardziej radykalne stanowisko zajął w tej kwestii Eugene Wigner (Wheeler, Zurek 1993).

<sup>2</sup> Co nie jest jedynym możliwym rozwiązaniem – w wielkoświatowej interpretacji mechaniki kwantowej sformułowanej przez Everetta postulat redukcji nie występuje (Everett 1957).

rzeczy. Oto prosty przykład z fizyki: w mechanice Newtona masę uznawano za wewnętrzną (absolutną) cechę wszystkich ciał, zgodnie ze szczególną teorią względności Einsteina masa jest *względna*, co znaczy, że zależy od prędkości ciała i w tym znaczeniu jest cechą relacyjną. Byłoby jednak nadużyciem języka uznać ją za subiektywną, podobnie jak nadużyciem byłoby zależność masy ciała od prędkości uznać za ograniczenie obiektywności poznania.

W dalszej części niniejszego szkicu zamierzam wykazać, że źródłem przekonania o rzekomych „subiektywistycznych konsekwencjach” mechaniki kwantowej jest po pierwsze brak należytych rozróżnień terminologicznych, a po drugie nadmierne zawężenie pojęcia obiektywności opisu.

## 1. Główne znaczenia „obiektywności”

Po pierwsze, zgodnie ze słownikową definicją, „obiektywny” to tyle co „bezsronny”, „postawa badawcza wolna od uprzedzeń” (Kopaliński 1983, 298), a jego przeciwieństwo „subiektywny”, to tyle, co „kierowanie się osobistymi względami, upodobaniami, obawami, uprzedzeniami i pragnieniami w ocenie faktów” (Kopaliński 1983, 402). Metodologiczna reguła obiektywizmu oznacza, że w każdym badaniu myślenie powinno być skierowane wyłącznie na przedmiot poznania z całkowitym wyłączeniem tego wszystkiego, co subiektywne, to znaczy osobistych uczuć, życzeń, czy uprzednio powziętych nastawień (Bocheński 1992, 30). Tak pojmowana obiektywność, którą można określić mianem *obiektywności metodologicznej*, stanowi jedną z podstawowych reguł metody naukowej w ogóle i rezultaty mechaniki kwantowej po prostu nie mają z powszechnie przyjętym w społeczności uczonych wymogiem jej stosowania nic wspólnego.

Po drugie, możemy mówić o wiedzy w sensie obiektywnym w odróżnieniu od wiedzy w sensie subiektywnym. Wiedza w sensie subiektywnym, to wiedza „składająca się ze stanów umysłu lub świadomości” (Popper 1992, 152), wiedza obiektywna to wiedza „składająca się z problemów, teorii i argumentów jako takich” (Popper 1992, 152). W tym znaczeniu mechanika kwantowa, rozpatrywana jako element świata nr 3 w sensie Poppera jest tak samo obiektywna, jak każda inna teoria fizyczna. W dyskusjach nad filozoficznymi zagadnieniami mechaniki kwantowej, podobnie zresztą jak we wszystkich dyskusjach w filozofii nauki, mówi się nie o subiektywnych stanach umysłu czy przekonaniach, ale o obiektywnych treściach teorii i obiektywnych sytuacjach problemowych, które mogą zawierać się w teoriach nawet wówczas, gdy nikt sobie tego nie uświadamia.

Po trzecie, należy rozróżnić ontologiczne i epistemologiczne pojęcie obiektywności. W pierwszym znaczeniu termin „obiektywny” uzyskuje odniesienie przedmiotowe, w drugim odnosi się natomiast do rezultatów poznawczych (Ingarden 1971, 425). Ingarden rozróżnia kilka typów ontologicznej obiektywności. *Ontologiczna obiektywność w radykalnym sensie* zawiera najdalej idące

postulaty, pozostałe zaś typy ontycznej obiektywności związane są z kolejnym „osłabianiem” nałożonych warunków. Radykalna obiektywność ontologiczna zdefiniowana jest przez następujące warunki (Ingarden 1971, 478): 1) autonomia bytowa przedmiotu; 2) autonomia bytowa cechy, która ma być „obiektywna”; 3) efektywne miejsce, w którym cecha istnieje w przedmiocie; 4) miejsce, w którym dana cecha pojawia się w przedmiocie; 5) niezależność bytowa danej cechy od wszelkich przeżyć ludzkiego podmiotu; 6) niewrażliwość tej cechy na zmianę wszelkich przeżyć ludzkiego podmiotu, które pozostają w jakimkolwiek związku z przedmiotem; 7) wystarczające uwarunkowanie danej cechy w przedmiocie; 8) jednoznaczne ustalenie bytu tej cechy i przedmiotu; 9) jednoznaczność uposażenia przedmiotu i cechy; 10) jedyność przedmiotu wziętego razem z cechą.

*Ontologiczna obiektywność w osłabionym sensie* odróżniona jest od ontologicznej obiektywności w radykalnym sensie przez to, że zamiast punktu (7) mamy następujące warunki: 7a) niewystarczające uwarunkowanie cechy przez sam przedmiot; 7b) wystarczające uwarunkowanie tej cechy w systemie powiązanych ze sobą bytów, do których należy przedmiot, przy czym *człowiek poznający do tego systemu nie należy* (Ingarden 1971, 477).

Terminologia Ingardena przy rozważaniach dotyczących obiektywności w mechanice kwantowej w zasadzie nie jest stosowana. W dalszym ciągu wyводу nie będę się ściśle trzymał stanowiska Ingardena, w szczególności zaś kolejnych „relatywizacji” pojęcia obiektywności, ponieważ prowadzą one ostatecznie do zupełnego rozmycia zakresu pojęcia obiektywności w sensie ontologicznym. Wykorzystam natomiast rozróżnienie obiektywności epistemologicznej i obiektywności ontologicznej, a w ramach tej ostatniej rozróżnienie obiektywności ontologicznej radykalnej i obiektywności ontologicznej w osłabionym sensie. Tę ostatnią proponuję określić mianem *obiektywności ontologicznej zrelatywizowanej do przyrządu pomiarowego*, co, jak się okazuje, adekwatnie odzwierciedla sytuację poznawczą w mechanice kwantowej.

*Epistemologiczne pojęcie obiektywności* odnosi się natomiast do *rezultatów poznawczych*. Rezultat poznania (treść sądów i teorii o rzeczywistości) uznaje się za obiektywny, jeżeli po pierwsze odnosi się do obiektywnej rzeczywistości, a po drugie jest do niej adekwatny (Hempoliński 1989, 530). Wiedza zawiera się w sądach egzystencjalnych (uznających istnienie czegoś) lub orzecznikowych (orzekających o czymś istniejącym określoną cechą). Sądy są poznawczo wartościowe, gdy odnoszą się do przedmiotów istniejących niezależnie od myślenia pojęciowego, będącego ich źródłem (obiektywność wiedzy) oraz gdy są adekwatne do przedmiotów, których dotyczą (prawdziwość) (Hempoliński 1990, 13–14). Jak podkreśla Ingarden, w odróżnieniu od wielu pojęć obiektywności ontologicznej, istnieje *tylko jedno* pojęcie obiektywności epistemologicznej, które ściśle wiąże

się z pojęciem prawdy. Zaprzeczenie obiektywności w sensie epistemologicznym znaczyłoby, że rezultat poznania jest „nieobiektywny”, to znaczy „subiektywny”, czyli po prostu fałszywy (Ingarden 1971, 489).<sup>3</sup>

## 2. Obiektywność a sytuacja poznawcza w mechanice klasycznej

W mechanice klasycznej sytuacja poznawcza jest dość prosta i dlatego właściwie nigdy nie była przedmiotem filozoficznych kontrowersji. Dynamikę układu opisują deterministyczne równania Newtona. Stan układu fizycznego reprezentowany jest przez wielkości fizyczne mierzalne, takie jak pędy i położenia cząstek. Przyjmuje się, najzupełniej zgodnie ze zdrowym rozsądkiem i stanowiskiem realizmu metafizycznego, że obiekty fizyczne istnieją i posiadają pewne własności całkowicie niezależnie od tego, czy są one obserwowane czy też nie. Używając zaproponowanej w tym szkicu terminologii można powiedzieć, że cechom obiektów fizycznych będącym przedmiotem badań mechaniki klasycznej można przypisać radykalną obiektywność ontologiczną. Jeżeli wykonamy pomiar pewnej wielkości fizycznej, to otrzymamy po prostu informację na temat tego, jaka *jest* wartość tej wielkości fizycznej i jaka *była* przed przeprowadzeniem pomiaru i całkowicie niezależnie od pomiaru. Każdy pomiar jest oczywiście związany z pewnym materialnym oddziaływaniem w badany układ, każdy pomiar obarczony jest pewnym błędem, lecz fakt ten nie ma istotnego epistemologicznego znaczenia. Zgodnie z fizyką klasyczną dokładność pomiarów można zwiększać – teoretycznie rzecz biorąc – w zasadzie nieograniczenie (na przykład przez zastosowanie coraz to lepszych przyrządów pomiarowych) a w matematycznej strukturze mechaniki klasycznej nie ma niczego, co uniemożliwiłoby wyczerpujące poznanie wszystkich własności fizycznych badanego przedmiotu, na przykład określenie położenia i pędów wszystkich cząstek wchodzących w skład badanego układu.

W fizyce klasycznej obiektywny opis przyrody pojmowano jako opis, który nie bierze pod uwagę środków obserwacji (Heisenberg 1979, 111), opis dokonywany niejako z zewnętrznej perspektywy, całkowicie pomijający fakt, że w naukach przyrodniczych wiedzę o świecie fizycznym uzyskujemy przy pomocy materialnych przyrządów pomiarowych wchodzących w jego skład. Fizyka klasyczna pozwalała na konstrukcję prostego modelu świata, całkowicie zgodnego ze stanowiskiem realizmu metafizycznego i potocznym przekonaniem, że przedmioty fizyczne istnieją i mają określone własności całkowicie niezależnie od tego, czy są obserwowane, czy też nie.

<sup>3</sup> Szerzej o relacji między obiektywnością w sensie epistemologicznym a prawdziwością por. (Dębow-ski 2015).

### 3. Obiektywność a sytuacja poznawcza w mechanice kwantowej

Sytuacja poznawcza w mechanice kwantowej komplikuje się ze względu na zagadnienie pomiaru. W mechanice kwantowej stan układu jest reprezentowany przez wektor stanu  $|\Psi\rangle$ , który jest czysto abstrakcyjną wielkością matematyczną – wektorem z przestrzeni Hilberta. Przestrzeń Hilberta, będąca przestrzenią stanów mechaniki kwantowej, jest liniową przestrzenią wektorową nad ciałem liczb zespolonych. Konsekwencją liniowości przestrzeni Hilberta jest *zasada superpozycji stanów*, która odróżnia kwantowe zachowanie mikroobiektów od zachowania obiektów dostępnych naszemu bezpośredniemu doświadczeniu zmysłowemu i opisywanych przez fizykę klasyczną. Zgodnie z zasadami mechaniki kwantowej, jeżeli układ może się znaleźć w stanie opisanym przez wektory stanu  $|\Psi_1\rangle, |\Psi_2\rangle, |\Psi_3\rangle, \dots$ , to może się znaleźć w stanie opisanym dowolną kombinacją liniową takich stanów:

$$|\Psi\rangle = \sum_i c_i |\Psi_i\rangle,$$

gdzie współczynniki  $c_i$  są dowolnymi liczbami zespolonymi, zwanymi *amplitudami prawdopodobieństwa*.

W odróżnieniu od przedmiotów dostępnych nam w codziennym doświadczeniu i opisywanych przez fizykę klasyczną, obiekty kwantowe na ogół nie znajdują się w dobrze określonym stanie, lecz właśnie w stanie superpozycji wszystkich kwantowych możliwości, reprezentowanych przez wektor stanu  $|\Psi\rangle$ .

Wektor stanu  $|\Psi\rangle$  spełnia deterministyczne równanie Schrödingera i w tym sensie mechanika kwantowa jest równie deterministyczna, jak mechanika Newtona. Równanie Schrödingera nie opisuje jednak procesu pomiaru – proces ten opisany jest przez osobny postulat, zwany *redukcją wektora stanu*. Rezultatem pomiaru wielkości fizycznej mierzalnej (zwanej w mechanice kwantowej *obserwabłą*) jest zawsze określona wartość (technicznie rzecz ujmując – wartość własna odpowiedniego operatora hermitowskiego reprezentującego wielkość fizyczną mierzalną). Oznacza to, że w rezultacie przeprowadzonego pomiaru stan układu kwantowego w sposób nieciągły i natychmiastowo się zmienia – spośród wszystkich kwantowomechanicznych możliwości realizuje się jedna, stanowiąca rezultat pomiaru. Zgodnie z interpretacją Borna można obliczyć jedynie *prawdopodobieństwo* uzyskania określonej wartości własnej. Względne prawdopodobieństwo uzyskania  $i$ -tej wartości własnej jest proporcjonalne do kwadratu modułu amplitudy prawdopodobieństwa:

$$p(i) = |c_i|^2.$$

W odróżnieniu od ontologicznego modelu świata fizyki klasycznej, w którym przypisywano przedmiotom fizycznym radykalną obiektywność ontologiczną, pojęcie obiektywności ontologicznej zrelatywizowanej do przyrządu pomiarowego wydaje się adekwatne do takich cech mikroobektów, które uzyskują wystarczające uwarunkowanie w systemie bytów, do których należy *badany przedmiot i przyrząd pomiarowy*, przy czym *człowiek poznający do tego systemu nie należy*. Odrzucenie w odniesieniu do niektórych cech radykalnej obiektywności ontologicznej nie oznacza jednak w żadnym wypadku, że należy je uznać za nie-obiektywne, a tym bardziej za subiektywne.

W mechanice kwantowej mikroobektom przypisuje się takie cechy, jak masa czy ładunek elektryczny, które – podobnie jak w fizyce klasycznej – traktowane są jako wewnętrzne cechy mikroobektów i ich wartości *nie zależą* od przeprowadzanych pomiarów, a ponadto parametry dynamiczne, takie jak położenie, pęd czy rzut spinu na pewien kierunek przestrzeni, których określone wartości mogą być przypisane mikroobektowi jedynie jako *rezultat przeprowadzonego pomiaru*. Na przykład stwierdzenie, że elektron na spin skierowany „w górę” można rozumieć tylko w ten sposób, że w rezultacie przeprowadzonego pomiaru uzyskano wartość spinu „w górę”. Ponieważ przed pomiarem kierunek spinu jest na ogół nieokreślony (zgodnie z zasadą superpozycji stanów), określona własność (spin „w górę” lub „w dół”) pojawia się w systemie powiązanych ze sobą bytów, do których należy również przyrząd pomiarowy. Odpowiednią kategorią jest w tym wypadku nie radykalna obiektywność ontologiczna, ale ontologiczna obiektywność zrelatywizowana do przyrządu pomiarowego. Ponieważ jednak pomiary mogą być (i na ogół są) przeprowadzane w sposób całkowicie zautomatyzowany i związane są z pewnym nieodwracalnymi zmianami w przyrodzie – wzmocnieniem efektów kwantowych do poziomu klasycznego, nie ma żadnego powodu, aby w układ ten włączać poznającego człowieka, a tym bardziej rozważania dotyczące świadomości podmiotu poznającego. Stwierdzenie, że w rezultacie pomiaru wartość rzutu spinu elektronu (czy jakakolwiek inna cecha relacyjna) jest obiektywna w sensie obiektywności zrelatywizowanej do przyrządu pomiarowego jest obiektywne w sensie epistemologicznym, natomiast nieobiektywne (w sensie epistemologicznym) byłoby traktowanie tego typu cech przedmiotów jako obiektywnie ontologicznych w radykalnym sensie. W ramach mechaniki klasycznej wszystkie cechy przedmiotów traktowano jako obiektywne w sensie radykalnym. Mechanika kwantowa pokazuje jednak, że *observable* należy traktować jako cechy relacyjne, ale mimo to obiektywne.

Dla koncepcji obiektywności epistemologicznej w fizyce klasycznej, zwanej najczęściej „obiektywnością w Newtonowskim sensie”, konstytutywne jest całkowicie pominięcie sposobu obserwacji zjawisk, w szczególności zaś wpływu na badane zjawiska materialnych przyrządów pomiarowych. Tak rozumiana obiektywność opisu zjawisk była (i jest nadal) adekwatna dla sytuacji poznawczej

w fizyce klasycznej, ponieważ w przypadku badania przedmiotów makroskopowych, oddziaływanie przyrządów pomiarowych na badany układ można w zasadzie całkowicie zaniedbać, zupełnie natomiast załamuje się w mechanice kwantowej, w której oddziaływanie przyrządu pomiarowego z obiektem stanowi integralną część zjawiska. Trudno jednak zgodzić się z twierdzeniem, że mechanika kwantowa nie jest obiektywnym opisem zjawisk (a tym bardziej, że zawiera „elementy subiektywne”), ponieważ (poza strukturą matematyczną) jedyny *dostęp poznawczy* do mikroświata zapewnia używanie materialnych przyrządów pomiarowych i adekwatna dla sytuacji poznawczej w mechanice kwantowej koncepcja obiektywności powinna ten fakt uwzględnić. To raczej nasza koncepcja obiektywności wymaga modyfikacji i dostosowania do sytuacji poznawczej w nauce współczesnej. Mikroświat z natury rzeczy pozostanie zawsze niedostępny naszej percepcji zmysłowej i użycie materialnych przyrządów pomiarowych jest tu *warunkiem możliwości poznania*, a nie przeszkodą. Jak napisał kiedyś Eddington, „nie przypisujemy sobie wiedzy o tym, jakby się świat przedstawiał, gdyby go badano w jakiś nadnaturalny sposób, przy pomocy narzędzi nie wchodzących w jego skład” (Eddington 1934, 209).

### Wnioski

Utożsamienie obiektywności opisu zjawisk z opisem, w którym w ogóle nie bierze się pod uwagę środków obserwacji okazuje się za wąskie, ponieważ taka koncepcja obiektywności epistemologicznej okazuje się *nieadekwatna* w zastosowaniu do sytuacji poznawczej w mechanice kwantowej. Obiektywna (w znaczeniu: adekwatna dla danej sytuacji) analiza sytuacji poznawczej w mechanice kwantowej musi uwzględnić fizyczne oddziaływanie między badanym obiektem a przyrządem pomiarowym i fakt, że nie wszystkie cechy mikroobiektów charakteryzują się radykalną obiektywnością ontologiczną.

Zauważmy na zakończenie, że wpływ metody badawczej na obraz zjawisk w mechanice kwantowej upodabnia w pewnej mierze sytuację poznawczą w fizyce współczesnej do sytuacji poznawczej w naukach społecznych, takich jak socjologia czy psychologia, przez co – być może niekiedy przesadnie podkreślana – teza o radykalnej odmienności metodologicznej nauk ścisłych i społecznych okazuje się wątpliwa. Dodajmy, że współcześnie w naukach społecznych coraz szerzej stosowane są metody zaczerpnięte właśnie z mechaniki kwantowej. Na przykład teoria przestrzeni Hilberta i kwantowomechaniczne pojęcie prawdopodobieństwa von Neumanna wykorzystywane są do modelowania czynności poznawczych i procesów decyzyjnych (Bussemeyer, Bruza 2014; Haven, Khrenn 2013).



## Literatura

- Bocheński J. M., 1992, *Współczesne metody myślenia*, tłum. J. Judycki, Poznań: W drodze.
- Bohr N., 1963, *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*, tłum. W. Staszewski, S. Szpikowski, A. Teske, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Busemeyer J. R., Bruza P. D., 2014, *Quantum Models of Cognition and Decision*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Dębowski J., 2015, *O obiektywności prawdy i jej podstawach ontycznych*, „Zagadnienia Naukoznawstwa”, nr 2(204), s. 111–124.
- Eddington 1934, *Nowe oblicze natury*, tłum. A. Wundheiler, Warszawa: Mathesis Polska.
- Everett H. III, 1957, „*Relative State*” *Formulation of Quantum Mechanics*, „Reviews of Modern Physics”, Vol. 29, No. 3, p. 454–462.
- Haven E., Khrenn A., 2013, *Quantum Social Science*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Heisenberg W., 1965, *Fizyka a filozofia*, tłum. S. Amsterdamski, Warszawa: Książka i Wiedza.
- Heisenberg W., 1979, *Ponad granicami*, tłum. K. Wolicki, Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Hempoliński M., 1989, *Filozofia współczesna. Wprowadzenie do zagadnień i kierunków*, Warszawa: PWN.
- Hempoliński M., 1990, *Problem obiektywności poznania i style badań epistemologicznych*, w: Hempoliński M. (red.), *Studia epistemologiczne 1. Transcendencja i ideał poznawczy*, Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź: Ossolineum.
- Ingarden R., 1990, *Rozważania dotyczące zagadnienia obiektywności*, w: R. Ingarden, *U podstaw teorii poznania*, cz. I, Warszawa: PWN.
- Kopaliński W., 1983, *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*, Warszawa: Wiedza Powszechna.
- Pais A., 2012, *Czas Nielsa Bohra. W fizyce, polityce, filozofii*, tłum. P. Amsterdamski, Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Popper K. R., 1992, *Wiedza obiektywna. Ewolucyjna teoria epistemologiczna*, tłum. A. Chmielewski, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Wheeler J. A., Żurek W. (eds.), 1983, *Quantum Theory and Measurement*, Princeton New Jersey: Princeton University Press.