



ANDRZEJ ŁUKASIK

ORCID: 0000-0001-9939-9135

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

email: andrzej.lukasik@mail.umcs.pl

## Pojęcie obiektu kwantowego z perspektywy teorii integracji pojęciowej a problem ontologii mikroświata

Słowa kluczowe: cząstki, fale, indywidua, mechanika kwantowa, metafory,  
teoria amalgamatów pojęciowych

Keywords: particles, waves, individuality, quantum mechanics, metaphors,  
blending theory

### The Concept of Quantum Object from the Perspective of the Conceptual Blending Theory and the Problem of Ontology of the Microworld

#### Abstract

The article shows the inadequacy of understanding micro-objects in terms of the ontologies of substantial individual beings and the irreducible metaphorically of such concepts as „particle”, „wave” or „individual object”. An attempt was made to construct the concept of a quantum object as a conceptual blend, using the blending theory.

#### Wprowadzenie

Obecność metafor w nauce została dostrzeżona w latach sześćdziesiątych XX wieku (Black, 1954; Hesse, 1966). W literaturze przedmiotu dokonano klasyfikacji różnych rodzajów metafor i szczegółowo przeanalizowano ich funkcje w nauce (Czarnecka, Mazurek 2012; Zawisławska, 2011; Fojt, 2009).

Można również spotkać tezy, że całe nasze myślenie jest z natury metaforyczne (Lakoff, Johnson, 1988), a podstawową rolę pełni tworzenie amalgamatów pojęciowych (Fauconnier, Turner, 2019). Metafory są nie tylko środkiem wyrazu literackiego, ale pełnią również ważną funkcję poznawczą.

Szczególnie interesująca jest obecność metafor w języku mechaniki kwantowej (QM). QM jest uznawana za jedną z dwóch fundamentalnych teorii fizyki współczesnej obok ogólnej teorii względności Einsteina (OTW). Już to, że fizycy dysponują dwiema teoriami uznawanymi za fundamentalne, stanowi poważny problem dla ontologii świata realnego. Po pierwsze, OTW – współczesna teoria grawitacji – nie jest teorią kwantową, natomiast model standardowy fizyki cząstek elementarnych zbudowany na gruncie QM w ogóle nie uwzględnia grawitacji. Wprawdzie oddziaływanie grawitacyjne jest o wiele rzędów wielkości słabsze niż oddziaływanie elektromagnetyczne czy jądrowe (silne i słabe) i model standardowy stanowi efektywną teorię oddziaływań cząstek elementarnych, nie zmienia to jednak faktu, że QM i OTW są niewspółmierne ontologicznie, co uniemożliwia konstrukcję jednolitego ontologicznego modelu świata. Po drugie, QM jest powszechnie uważana za najdokładniejszą teorię fizyczną, jaką kiedykolwiek zbudowano – precyzja zgodności jej przewidywań teoretycznych z danymi empirycznymi i bogactwo jej zastosowań praktycznych są imponujące. Z tym już niemal 100 lat trwającym pasmem sukcesów osobliwie kontrastuje to, że istnieje współcześnie kilkanaście różnych, empirycznie równoważnych interpretacji QM, z których każda postuluje odmienną ontologię<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Najnowsze filozoficznie interesujące analizy wybranych interpretacji QM zawierają prace Freire, 2022; Mauldin, 2019; Ney, 2021, a w języku polskim praca Łobejko, Lamża, 2019. Zauważyć jednak należy, że w przypadku QM nie istnieje jedna struktura matematyczna, którą można uznać za reprezentację struktury mikroświata, lecz są cztery różne – ujęcie w przestrzeni Hilberta (a w jego ramach trzy tzw. obrazy – Schrödingera, Heisenberga i Tomonagi–Diraca); ujęcie Feynmana całek po trajektoriach; ujęcie przy pomocy  $C^*$ -algebry; ujęcie przy pomocy macierzy gęstości. Są one empirycznie równoważne, ale matematycznie nie – to zupełnie różne struktury matematyczne, które implikują różne ontologie (Heller, 2014, s. 167–172). Niektóre interpretacje, jak np. GRW (Ghirardi–Rimini–Weber) nie są empirycznie równoważne standardowej. Gdy mamy do czynienia z modyfikacją formalizmu matematycznego, nie jest jasne, czy mamy do czynienia z interpretacją QM, czy też z konkurencyjną teorią. Również w przypadku interpretacji nazywanej kopenhaską istnieją głębokie różnice w filozoficznych poglądach reprezentujących ją fizyków, a ponadto poglądy te ulegały ewolucji w trakcie kilkudziesięciu lat dyskusji nad poznawczymi podstawami fizyki świata atomowego. Stanowisko samego

Najpowszechniej przyjmowana kopenhaska interpretacja QM ma wyraźnie antyrealistyczny charakter, co eliminuje zagadnienia o charakterze ontologicznym z pola dociekań uczonych. Niels Bohr twierdził, że w mechanice kwantowej chodzi jedynie „o ustanowienie ilościowych zależności między wynikami pomiarów” (Bohr, 1963, s. 105). Tematem jego rozważań filozoficznych była „epistemologiczna lekcja” (Bohr, 1963, s. 9), której udzielił nam rozwój fizyki atomowej, natomiast zagadnienia ontologiczne dotyczące natury rzeczywistości obiektywnej uznawał za całkowicie jałowe (Pais, 2006, s. 423). Po trzecie, QM wykazała istotne ograniczenie stosowalności pojęć naszego codziennego języka (i aparatury pojęciowej fizyki klasycznej) w odniesieniu do mikroświata. Wiele jej rezultatów (dualizm korpuskularno-falowy, superpozycja stanów, nieoznaczoność, statystyki kwantowe, kwantowe splątanie) ma wyraźnie kontrintuicyjny charakter i podważa nasze przekonania na temat „natury” rzeczywistości fizycznej. Richard Feynman określił nawet przyrodę na poziomie mikroświata mianem „absurdalnej”, chociaż absurdalność tę uznał jednocześnie za „zachwycającą” (Feynman, 2000, s. 137).

Idea istnienia elementarnych składników materii powstała w starożytnej filozofii przyrody (Leukippos, Demokryt), lecz dopiero rozwój fizyki XX wieku potwierdził ponad wszelką wątpliwość podstawowe założenia ontologii atomizmu. Oczywiście atrybuty przypisywane elementarnym składnikom materii, pierwotnie ściśle związane z naszym doświadczeniem zmysłowym (nieprzenikliwość, kształt, wielkość – Demokryt; rozciągłość, nieprzenikliwość, bezwładność i podleganie ruchowi – Newton) zostały wzbogacone o własności elektryczne i magnetyczne, a także bardziej abstrakcyjne, takie jak spin, kolor, dziwność czy powab. Niezmiernie interesujące jest to, że QM wykazała jednocześnie, iż pewne atrybuty tradycyjnie przypisywane elementarnym składnikom materii należy odrzucić jako całkowicie nieadekwatne. Kwantowomechaniczne i klasyczne pojęcie elementarnych składników materii okazują się niewspółmierne ontologicznie (Łukasik, 2009) i – przynajmniej gdy pominiemy teorię parametrów ukrytych Davida Bohma – nie jest już możliwe interpretowanie elementarnych składników

---

Nielsa Bohra łączono z różnymi orientacjami filozoficznymi, takimi jak empiryzm, kantyzm, pragmatyzm, darwinizm i eksperymentalizm (Faye, 2019). Można nawet spotkać się z twierdzeniami, że istnienie jednolitej kopenhaskiej interpretacji QM jest po prostu mitem (Camilleri, 2009).

materii w kategoriach ontologii indywidualnych i substancjalnych bytów jednostkowych (Teller, 1995; Łukasik, 2012). Nasze poglądowe wyobrażenia świata atomów i cząstek elementarnych okazują się całkowicie nieadekwatne do świata według pojęć QM, a pewne podstawowe pojęcia, jakimi charakteryzujemy elementarne składniki materii, muszą być rozumiane jedynie metaforycznie. Metafory okazują się niezbędne w konstruowaniu naukowego obrazu świata (Holton, 1995, s. 268).

Metaforyczny charakter języka mechaniki kwantowej dostrzegli już jej twórcy. Ściślej rzecz ujmując, chodzi nie o metaforyczność formalizmu matematycznego QM, ale o metaforyczność języka, w którym ten formalizm interpretujemy, i w którym o QM i o wynikach eksperymentów mówimy. Heisenberg pisał na przykład, że fizycy, „mówiąc o procesach atomowych, zadowolają się często językiem niedokładnym i metaforycznym, starając się tylko, jak poeci, wywołać w umyśle słuchającego, obrazem i metaforą, pewne poruszenia kierujące się w zamierzonym kierunku, ale nie siląc się do zmuszania go przez jednoznaczne sformułowanie, aby odtwarzał precyzyjnie określony bieg myśli. Jednoznaczny staje się sposób mówienia, gdy posługują się sztucznym językiem matematycznym, o którego poprawności nie można już wobec zebranych doświadczeń powątpiewać” (Heisenberg, 1979, s. 157). Podobne uwagi formułowali również Bohr, Paul Dirac, Wolfgang Pauli czy Carl Friedrich von Weizsäcker (Mehlberg, 1967, s. 47–49).

Warto podkreślić, że nie chodzi tu jedynie o metafory wykorzystywane w funkcji dydaktycznej (np. w popularyzacji nauki) czy o metaforyczne modele teoretyczne (np. model atomu wodoru Bohra, kolorowe kwarki w strukturze hadronów Gell-Manna), ale o samą ontologię mikroświata, w której kategorii pojęciowe codziennego doświadczenia okazują się nieadekwatne. Nawet tak podstawowe pojęcia, jak „cząstka” czy „fala” nie mogą być w odniesieniu do mikroobiektów traktowane literalnie. Również pojęcia lokalizacji czasoprzestrzennej, indywidualium czy posiadania własności okazują się metaforyczne. Można zatem powiedzieć, że „próba przenoszenia niektórych kryteriów bycia obiektem z doświadczenia potocznego do świata kwantowego skazana jest na niepowodzenie” (Bigaj, 1991, s. 89).

## Dualizm korpuskularno-falowy

Klasyczny obraz świata charakteryzował się pogładowością. Zawierał on, poza czasem i przestrzenią (czasoprzestrzenią), cząstki materii i fale promieniowania. Cząstki klasyczne pojmowano jako mikroskopijne, niezmiennie i niepodzielne ciała stałe, dobrze zlokalizowane w czasoprzestrzeni, posiadające określony zestaw obiektywnych własności (masa, ładunek elektryczny itd.), będące indywiduami i niezależnie od siebie istniejącym przedmiotami fizycznymi (substancjami) (Łukasik, 2012). Fale elektromagnetyczne pojmowano jako obiekty rozciągnięte przestrzennie, nieposiadające indywidualności i wykazujące zjawisko interferencji. W matematycznych idealizacjach fizyki klasycznej cząstkę reprezentował punkt materialny, falę natomiast sinusoida (lub superpozycja fal sinusoidalnych, z których można otrzymać falę o dowolnym kształcie). Klasyczny obraz świata zawierał zatem dualizm dyskretnych cząstek i ciągłych fal.

Badania Maxa Plancka nad promieniowaniem ciała doskonale czarnego doprowadziły do wniosku, że w oddziaływaniu z materią promieniowanie elektromagnetyczne jest emitowane i absorbowane w sposób skwantowany, przy czym energia kwantu wyraża się wzorem  $E = h\nu$ , gdzie  $\nu$  jest częstością, a  $h$  pewną stałą, zwaną dziś stałą Plancka. W teorii zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego Alberta Einsteina światło potraktowane zostało jako złożone z niepodzielnych cząstek, nazwanych później fotonami, z których każdy ma pęd  $p = h/\lambda$ , gdzie  $\lambda$  jest długością fali i energię  $E = h\nu$ . Louis Victor de Broglie wprowadził hipotezę, że z każdą cząstką materii związana jest „fala materii” o długości  $\lambda = h/p$ . Hipoteza de Broglie’a została niebawem potwierdzona w doświadczeniach Clintona Davidsona i Lestera Germera, w których zaobserwowano interferencję elektronów, a więc efekt typowy dla fal. Współcześnie korpuskularny aspekt promieniowania i falowy aspekt materii potwierdzone są empirycznie ponad wszelką wątpliwość i w związku z tym mówi się o dualizmie korpuskularno-falowym. W odróżnieniu jednak od dualizmu materii i promieniowania fizyki klasycznej w QM takie dualistyczne, korpuskularne i falowe własności wykazują pojedyncze mikroobiekty. Z punktu widzenia fizyki klasycznej (i zdrowego rozsądku) opisy te wykluczają się jednak wzajemnie – coś, co jest cząstką nie może być falą i *vice versa*. Podkreślić bowiem należy, że cząstki i fale należą do różnych kategorii ontologicznych – rzeczy i procesu odpowiednio.

Są to różne sposoby istnienia (Tambor, 2020, s. 109). Pojawia się zatem pytanie o status ontologiczny mikroobiektów.

Podstawy mechaniki kwantowej sformułowali niezależnie od siebie Werner Heisenberg i Erwin Schrödinger, wychodząc z całkowicie odmiennych ontologicznych modeli świata. Schrödinger zakładał realność fal materii de Broglie’a, formułując równanie falowe, natomiast Heisenberg w macierzowej wersji mechaniki kwantowej przyjmował realność cząstek. Podejmowano wiele prób w celu wyjaśnienia tego osobliwego dualizmu i nawet współcześnie trwają na ten temat dyskusje, w szczególności zaś dyskusje na temat realności funkcji falowej  $\psi$ , która reprezentuje stan układu kwantowomechanicznego (Łobejko, Lamża, 2019, s. 163–172).

Ponieważ celem tego artykułu nie jest analiza różnych interpretacji QM, dlatego też dalsze rozważania ograniczymy do jej standardowego formalizmu w interpretacji kopenhaskiej, zwanej również ortodoksyjną interpretacją, którą podziela większość współczesnych fizyków. Odniesienia do innych interpretacji będą uwzględniane tylko wówczas, gdy okażą się niezbędne. Równanie Schrödingera, podstawowe równanie nierelatywistycznej mechaniki kwantowej, ma postać równania falowego na funkcję falową  $\psi$ , reprezentującą stan układu kwantowego, ale funkcja falowa jest jedynie abstrakcyjną zespoloną „falą prawdopodobieństwa” i – zgodnie z interpretacją Maxa Borna – pozwala na obliczenie prawdopodobieństwa znalezienia cząstki w danym stanie kwantowym w rezultacie przeprowadzonego pomiaru. Jednak „falowy charakter” pojedynczych „cząstek” pozostaje w jakimś sensie (trudno o tym pisać bez uciekania się do metafor) ich realną własnością, ponieważ przejawiają one własność interferencji, typową dla fal.

### Komplementarność pojęć „cząstka” i „fala”

Kopenhaska interpretacja QM związana jest ze sformułowaną przez Bohra zasadą komplementarności. Zgodnie z nią dwa klasycznie wykluczające się opisy rzeczywistości fizycznej, a mianowicie opis korpuskularny albo opis falowy, odnoszą się do wykluczających się wzajemnie sytuacji eksperymentalnych (Bohr, 1963, s. 15). Komplementarne opisy uzupełniają się wzajemnie i wyczerpują naszą wiedzę o zachowaniu mikroobiektów – *contraria sunt complementa*. Jeśli mianowicie chcemy mieć pełną wiedzę na temat

mikroświata, musimy uwzględnić zarówno korpuskularny, jak i falowy charakter pojedynczych mikroobektów. Zgodnie z zasadą komplementarności komplementarnych opisów sytuacji eksperymentalnych nie potrafimy jednak „zobiektywizować”, to znaczy przedstawić w modelu niezależnej od sytuacji eksperymentalnej samoistnej rzeczywistości fizycznej. Obiekty kwantowe nie są ani cząstkami, ani falami w rozumieniu pojęć fizyki klasycznej, zatem stwierdzenia „elektron jest falą”, „elektron jest cząstką” należy potraktować metaforycznie (Fojt, 2009, s. 177).

Pojęcie metafory jest tu rozumiane za Lakoffem i Johnsonem jako „rozumienie pewnego rodzaju rzeczy w kategoriach innej rzeczy” (Lakoff, Johnson, 1988, s. 27). Metafora pojęciowa o schemacie „X to Y” jest odwzorowaniem przyporządkowującym wybranym elementom *domeny źródłowej* Y elementy *domeny docelowej* X. Elementy domeny źródłowej są zwykle konkretne i bliskie bezpośredniemu doświadczeniu, natomiast elementy domeny docelowej są bardziej abstrakcyjne. Gdy mówię na przykład „czas to pieniądz”, próbuję wyrazić pewne własności abstrakcyjnego pojęcia, jakim jest czas, w kategoriach bezpośrednio postrzegalnych rzeczy, jakimi są pieniądze. Czas oczywiście to nie to samo, co pieniądze, ale użycie tej metafory uzmysławia nam, że np. można mieć dużo lub mało czasu, można zaoszczędzić czas lub go trwonić itp. W przypadku mechaniki kwantowej elementami domeny docelowej są przedmioty teoretyczne, takie jak elektron, które znajdują się całkowicie poza obszarem naszego bezpośredniego doświadczenia, natomiast elementami domeny źródłowej są pojęcia fizyki klasycznej (cząstka, fala), które są znacznie bliższe naszemu doświadczeniu. Każde stwierdzenie na temat dualizmu korpuskularno-falowego (elektron to cząstka, elektron to fala) uwypukla pewien aspekt zjawiska, ukrywając jednocześnie inny (Lakoff, Johnson, 1988).

Heisenberg źródłem tego „dualizmu” upatrywał w „istotnej nieudolności” (Heisenberg, 1930, s. 7) naszego języka, ponieważ pojęć klasycznych nie potrafimy zastąpić innymi, musimy ich używać do opisu rezultatów eksperymentów, ale wiemy, że mają ograniczony zakres stosowalności (Heisenberg, 1965, s. 26). „Kiedy zachodzi konieczność ścisłego o czymś orzekania, trzeba często powracać do sztucznego języka matematycznego” (Heisenberg, 1979, s. 156).

Zaproponowane w niniejszym artykule pojęcie obiektu kwantowego jako amalgamatu klasycznych pojęć cząstki i fali jest próbą uniknięcia metafor w mówieniu o zjawiskach kwantowych.

## Niedookreśloność obiektów kwantowych

W tradycyjnej ontologii przyjmuje się, że przedmioty świata realnego charakteryzują się dookreślonością charakterystyki treściowej, to znaczy dla każdej cechy  $C$ , którą można sensownie orzec o przedmiocie  $X$ , przedmiot ten ma tę cechę lub jej nie ma. Roman Ingarden w swojej estetyce wskazywał, że w odróżnieniu od przedmiotów świata realnego, przedmioty estetyczne mają „miejsca niedookreślenia” (Ingarden, 1988, s. 317).

Zwolennicy teorii parametrów ukrytych w QM argumentowali, że cząstki kwantowe mają obiektywnie określone wszystkie parametry fizyczne (np. pęd i położenie), a QM, w której fundamentalną rolę pełni zasada nieoznaczoności, uniemożliwiając przypisanie cząstce (lub zmierzenie) jednocześnie pędu i położenia czy składowych spinu, jest teorią niepełną (Einstein, 1935) lub nie odnosi się do fundamentalnego poziomu rzeczywistości fizycznej i ma status teorii wtórnej, podobnie jak klasyczna mechanika statystyczna w stosunku do mechaniki Newtona (Bohm, Hiley, 1993, s. 29–30). Jednak współcześnie, po empirycznej falsyfikacji nierówności Bella (Bell, 1964) w doświadczeniach Aspecta (Aspect, 1980) oraz wielu późniejszych i w dobie budowy komputerów kwantowych wykorzystujących superpozycję stanów, lokalną interpretację parametrów ukrytych należy już zaliczyć do historii nauki. Wraz z nią również do przeszłości należy traktowanie obiektów kwantowych jako przedmiotów pełnych charakteryzujących się dookreślonością charakterystyki treściowej. Jeżeli na przykład elektron ma określony pęd, to jego położenie w przestrzeni jest obiektywnie nieokreślone, a nie tylko nieznanie (mówiąc technicznie: operatory pędu i położenia nie komutują ze sobą, a zatem nie mają wspólnej bazy wektorów własnych i taki obiekt, jak elektron z jednocześnie określonym pędem i położeniem po prostu nie daje się w matematycznym formalizmie standardowej QM skonstruować). Zdanie „cząstka ma położenie  $x$  i cząstka ma pęd  $p$ ” w QM nie jest nawet błędne, lecz „całkowicie pozbawione sensu” (Susskind, 2016, s. 35).

Kolejna kwestia dotyczy tego, jak rozumieć stwierdzenie, że w QM przedmiot  $X$  ma własność  $W$ . Otóż pewne własności przypisuje się mikroobiektem w takim samym sensie, jak w mechanice klasycznej – na przykład masa czy ładunek elektryczny przysługują im całkowicie niezależnie od przeprowadzanych pomiarów (i w tym znaczeniu obiektywnie). W przypadku obserwabli (reprezentowanych przez operatory hermitowskie w przestrzeni Hilberta) już jednak tak nie jest. Na przykład stwierdzenie „elektron na



rzut spinu skierowany w górę” można rozumieć jedynie jako stwierdzenie, że „w rezultacie pomiaru rzutu spinu na wybraną oś otrzymano wartość »w górę«”. Przed pomiarem na ogół składowe spinu są nieokreślone, ponieważ mamy do czynienia z superpozycją stanów (np. „w górę” i „w dół”). Określoność obserwabli (pędu, położenia, energii, spinu itd.) można rozumieć jedynie jako rezultat pomiaru, co w istotny sposób zmienia nasze rozumienie twierdzenia „przedmiot  $X$  ma własność  $W$ ”.

### Mikroświat nie-indywiduów

W ontologii klasycznego atomizmu przyjmowano istnienie wielu atomów (lub klasycznych cząstek elementarnych) danego rodzaju, które nie różniły się żadnymi cechami jakościowymi, ale traktowano je jako indywidua, obiekty rozróżnialne, podobnie jak ciała makroskopowe dostępne naszemu bezpośredniemu doświadczeniu (Schrödinger, 2017, s. 105). Przyjmowano, że – przynajmniej teoretycznie rzecz biorąc – moglibyśmy prowadzić ciągłą obserwację danej cząstki i przez to stwierdzić, że mamy do czynienia z „tą samą” cząstką (Schrödinger, 2017, s. 113). Cząstki klasyczne można było rozróżnić na podstawie ich trajektorii czasoprzestrzennych. W układzie wielu cząstek danego rodzaju, cząstki klasyczne również zachowywały swoją indywidualność i zamiana miejscami (ogólniej – stanami) dwóch cząstek prowadziła do nowego stanu, co opisywała klasyczna statystyka Maxwella-Boltzmann.

W QM również przyjmuje się, że wszystkie cząstki elementarne danego gatunku nie różnią się od siebie żadną wewnętrzną cechą. Na przykład wszystkie elektrony mają dokładnie taką samą masę spoczynkową, ładunek elektryczny czy spin, chociaż mogą mieć różne parametry dynamiczne zależne od stanu (np. pęd, energia, położenie). Fizycy na określenie cząstek danego rodzaju, których własności wewnętrzne są standaryzowane, stosują termin „cząstki identyczne”, co znaczy, że cząstki te „można zamienić wzajemnie miejscami w najogólniejszych warunkach bez spowodowania jakiegokolwiek zmiany w sytuacji fizycznej (Schiff, 1977, s. 321). Podstawowa różnica między pojęciem cząstki klasycznej a pojęciem cząstki kwantowej polega na tym, że w fizyce klasycznej są one rozróżnialne, natomiast w QM są nierozróżnialne.

W QM załamuje się postulat ciągłości opisu i nie możemy stwierdzić, czy powtórna obserwacja cząstki danego rodzaju jest obserwacją „tej samej”

cząstki, zatem cząstkom kwantowym nie możemy przypisać „indywidualności” (Schrödinger, 2017, s. 113). Relacje nieoznaczoności Heisenberga dla pędu i położenia prowadzą do odrzucenia dla cząstek kwantowych jednoznacznie określonych trajektorii czasoprzestrzennych, nie możemy zatem rozróżnić cząstek tego samego rodzaju na podstawie ich trajektorii. Obowiązuje ponadto zasada nierozróżnialności cząstek identycznych – w zespole cząstek tego samego rodzaju tracą one swoją „indywidualność” i permutacja stanów nie prowadzi do nowego stanu (mówiąc technicznie, chodzi o warunki symetryzacji funkcji falowych). Żadna wielkość obserwowalna nie pozwala na rozróżnienie między jednym stanem a drugim (być może różnym), który różni się od pierwszego jedynie permutacją cząstek (Redhead, Teller, 1992, s. 205), co wyrażają odpowiednie statystyki kwantowe, różne od klasycznej statystyki Maxwella-Boltzmana. Rezultaty doświadczeń potwierdzają słuszność statystyk kwantowych Bosego-Einsteina (dla bozonów) i Fermiego-Diraca (dla fermionów) – w układzie złożonym z cząstek identycznych nie ma znaczenia, „która z cząstek” jest w jakim stanie, to znaczy że same obiekty kwantowe nie są indywiduami (French, Krause, 2008, s. 151). Na przykład atom He ma w normalnym stanie dwa elektrony, których spiny muszą być przeciwnie skierowane, jednak nie istnieje eksperymentalna metoda, pozwalająca stwierdzić, że „ten” elektron ma spin „w górę”, a „tamten” ma spin „w dół” (Redhead, Teller, 1991, s. 204).

Osobliwości statystyk kwantowych prowadzą naturalnie do pytań o status ontologiczny mikroobiektów pozbawionych indywidualności, czy też „pierwotnej tożsamości”. Interesującą propozycję przedstawił Paul Teller za pomocą porównania klasycznego i kwantowomechanicznego pojęcia elementarnych składników materii do gospodarki, w której posługujemy się tradycyjną walutą i gospodarki bezgotówkowej (Teller, 1998, s. 115). W pierwszym przypadku, gdy na przykład wpłacam do banku gotówkę, to każdy banknot i każda moneta jest indywiduum, ma swoje cechy swoiste i swoją historię, znajduje się w określonym miejscu i czasie itd. Mogę sensownie powiedzieć, że wpłaciłem na konto „ten oto” banknot. Jeżeli jednak posługuję się wyłącznie kartą kredytową i dokonałem elektronicznego przelewu środków, wówczas powiedzenie, że są „te oto” jednostki na koncie, nie ma najmniejszego sensu. Metafora ta pozwala nam zrozumieć, że cząstki kwantowe danego rodzaju powinniśmy traktować raczej podobnie jak jednostki w gospodarce bezgotówkowej niż jako tradycyjne banknoty i monety. Nie są one rozróżnialnymi indywiduami.

Teller postawił tezę, że pojęcia cząstki i fali nie są pierwotnymi pojęciami, ale zawierają pewne składowe, których analiza pozwoli zrozumieć, jakie składowe pojęcia cząstki i fali są ze sobą w konflikcie. Utrzymuje on jednocześnie, że można skonstruować nowe pojęcie, które określa po prostu mianem kwantu (*quanta*), zawierające pewien aspekt klasycznego pojęcia cząstki i pewien aspekt klasycznego pojęcia fali, które może być bez paradoksów stosowane w opisie mikroobektów (Teller, 1995, s. 16). Teller proponuje, by pojęcie cząstki zachować dla przedkwantowej koncepcji indywiduum, obiektu mającego określoną lokalizację czasoprzestrzenną, natomiast w pojęciu kwantu zachować z klasycznego pojęcia cząstki koncepcję dyskretności i lokalizowalności w przestrzeni, z klasycznego zaś pojęcia fali to, że fale nie są indywiduami, odrzucając jednocześnie ciągłość i brak lokalizowalności w przestrzeni (Teller, 1995, s. 104). Propozycję przedstawioną przez Tellera można podsumować następująco: kwanty są to obiekty o charakterze dyskretnym (podobnie jak klasyczne cząstki, a w przeciwieństwie do klasycznych fal), pozbawione jednak punktowych lokalizacji czasoprzestrzennych (w przeciwieństwie do klasycznych cząstek, podobnie jak klasyczne fale) i pozbawione indywidualności (podobnie jak klasyczne fale, a w przeciwieństwie do klasycznych cząstek).

W dalszej części artykułu zostanie rozwinięta ta idea i zostanie pokazane, że pojęcie cząstki kwantowej jest amalgamatem pojęciowym klasycznego pojęcia cząstki i klasycznego pojęcia fali.

## Pojęcie obiektu kwantowego jako amalgamat pojęciowy

Zgodnie z teorią integracji pojęciowej Gillesa Fauconniera i Marka Turnera (Faunconnier, Turner, 2019), która jest rozwinięciem teorii metafor George'a Lakoffa i Marka Johnsona, nasza konceptualizacja rzeczywistości bazuje na amalgamacie, czyli procesie integracji pojęciowej (*blending*) – dobieraniu i integrowaniu wybranych elementów co najmniej dwóch różniących się od siebie „przestrzeni mentalnych” (przestrzeni wejściowych – *input*). „Przestrzenie mentalne to małe pojęciowe pakunki, zbiory konstruowane, kiedy myślimy i mówimy, abyśmy mogli zrozumieć konkretną sytuację lub w niej działać” (Faunconnier, Turner, 2019, s. 64). Dzięki procesom doboru i integracji powstaje nowa jakość, emergentna struktura nieredukowalna do przestrzeni wejściowych. W tworzeniu amalgamatów wykorzystywane są

(co najmniej) cztery przestrzenie mentalne: co najmniej dwie przestrzenie wejściowe (*input*), co najmniej jedna przestrzeń generyczna (*generic*), czyli uogólniona, schematyczna konceptualizacja skupiająca elementy wspólne dla przestrzeni wejściowych „(mogą to być np. schematy wyobrażeniowe czy kategorie nadrzędne) i wreszcie nowa przestrzeń – amalgamat (*blend*), która powstaje w wyniku scalenia wybranych elementów przestrzeni wejściowej” (Zawisławska, 2011, s. 28; Coulson, Okley, 2001, s. 176). W amalgamacie mamy do czynienia ze scaleniem wybranych elementów przestrzeni wejściowych, pojawiają się ponadto własności emergentne.

W procesie konstrukcji obiektu kwantowego obecne są wszystkie zasady konstytutywne integracji pojęciowej, a mianowicie dobór i łączenie odpowiadających sobie elementów, przestrzeń generyczna, stapianie, selektywne przenoszenie struktury wejściowej do amalgamatu oraz znaczenie wyłaniające się w amalgamacie w wyniku kompozycji, uzupełniania i rozwoju (Fraunonier, Turner, 2019, s. 64–77; Libura, 2021, s. 30).

Zastosujmy schemat integracji pojęciowej do konstrukcji pojęcia obiektu kwantowego. Ze względu na dualizm korpuskularno-falowy w naturalny sposób pojawiają się w tym przypadku dwie przestrzenie wejściowe – przestrzeń wejściowa klasycznych cząstek i przestrzeń wejściowa klasycznych fal.

Przeźrzeń wejściowa klasycznych cząstek zawiera następujące elementy:

- dyskretność,
- punktową lokalizację – cząstkom przysługują określone trajektorie w czasoprzestrzeni,
- atrybut nieprzenikliwości – jeżeli w jednym miejscu przestrzeni znajduje się jakaś cząstka, to w tym samym miejscu w tym samym czasie nie może się znajdować inna cząstka; cząstki mogą zderzać się ze sobą, lecz nie mogą interferować,
- indywidualność – (permutacja stanów dwóch takich samych cząstek prowadzi do nowego stanu rzeczy),
- przynależność do ontologicznej kategorii rzeczy: są to przedmioty istniejące w czasie i przestrzeni, jednostkowe i konkretne,
- samodzielność bytową.

Przeźrzeń wejściowa klasycznych fal zawiera natomiast następujące elementy:

- ciągłość,
- rozciągłość czasoprzestrzenną – propagacja opisana przez równanie falowe,

- własność interferencji – fale mogą się przenikać i nakładać,
- brak indywidualności – nie można ich „zaetykietować”,
- przynależność do ontologicznej kategorii procesu,
- niesamodzielność bytowa – klasyczne fale to drgania pewnego ośrodka (lub pola elektromagnetycznego).

Zauważmy, że przestrzenie wejściowe klasycznych cząstek i klasycznych fal zawierają opozycyjne własności (dyskretność – ciągłość; punktowa lokalizacja czasoprzestrzenna – rozciągłość czasoprzestrzenna; nieprzenikliwość – interferencja; indywidualność – brak indywidualności; rzecz – proces; samodzielność bytowa – niesamodzielność bytowa). Jest to zatem siatka pojęciowa dwuzakresowa (por. Libura, 2021, s. 33). Z punktu widzenia języka fizyki klasycznej nic, co jest cząstką, nie może być jednocześnie falą i *vice versa* – według Bohra są to pojęcia komplementarne, które mogą być stosowane do opisu wykluczających się wzajemnie sytuacji obserwacyjnych.

Przestrzeń generyczna zawiera elementy wspólne dla obu przestrzeni wejściowych – w tym wypadku są to takie ogólne pojęcia, jak przedmiot fizyczny, własności, dynamika. Są to najogólniejsze kategorie, ponieważ zarówno rzecz, jak i proces są w filozoficznym (ontologicznym) sensie przedmiotami; zarówno cząstki, jak i fale mają pewne własności oraz dynamikę (modelowaną matematycznie przez odpowiednie równania różniczkowe).

Pojęcie obiektu kwantowego, czyli przestrzeń amalgamatu, zawiera niektóre (lecz nie wszystkie) własności klasycznych cząstek i niektóre (również nie wszystkie) własności klasycznych fal, pojawiają się również własności emergentne, które nie stanowią prostego przeniesienia własności wchodzących w skład pojęć fali i cząstki. Kwantowy charakter zjawisk wymaga przeniesienia do struktury amalgamatu własności dyskretności (nieciągłości) i lokalizowalności czasoprzestrzennej, ponieważ w przypadku detekcji cząstki zawsze znajdujemy obiekt dobrze zlokalizowany w czasoprzestrzeni o określonej masie, ładunku i jednoznacznie określonej wartości mierzonej obserwabli (np. położenia, pędu, energii czy składowej spinu). Relacje nieoznaczoności wymagają jednak odrzucenia własności dookreśloności charakterystyki treściowej oraz klasycznych trajektorii czasoprzestrzennych. Statystyki kwantowe Bosego-Einsteina i Fermiego-Diraca prowadzą zaś do wniosku o konieczności odrzucenia indywidualności przysługującej cząstkom klasycznym. Cząstki kwantowe wykazują również samodzielność bytową. Z przestrzeni wejściowej klasycznych fal przenosimy do amalgamatu brak punktowej lokalizacji czasoprzestrzennej,

ponieważ przed przeprowadzeniem pomiaru położenia możemy przypisać kwantowej cząstce jedynie pewną „potencjalność” obecności w danym obszarze – obiekty kwantowe poza parametrami, takimi jak masa czy ładunek elektryczny, wykazują pewne „latentne” (*latent*) własności (Mehlb erg, 1967, s. 47), „potencjalności” aktualizujące się podczas pomiarów z określonym prawdopodobieństwem zgodnie z regułą Borna; przenosimy również brak indywidualności oraz możliwość interferencji.

Przestrzeń amalgamatu (obiektu kwantowego) jest całkowicie nową przestrzenią pojęciową, która nie jest prostą sumą własności przestrzeni cząstek i przestrzeni fal. „Amalgamat konstruuje zestawienie dwóch różnych, ale dobrze nam znanych jakości przez stopienie ich w nową, trzecią jakość, której wcześniej nie znaleźliśmy lub nie dostrzegliśmy. (...) Integrując znane, choć często odmienne od siebie struktury, kreujemy nowe jakości, które możemy stosować w opisie świata i jego konceptualizacji” (Jabłońska-Hood, 2016, s. 166). Nie wszystkie własności klasycznych fal i klasycznych cząstek są stapiane w amalgamacie, wyłaniają się również emergentne własności, które nie istniały w przestrzeniach wejściowych.

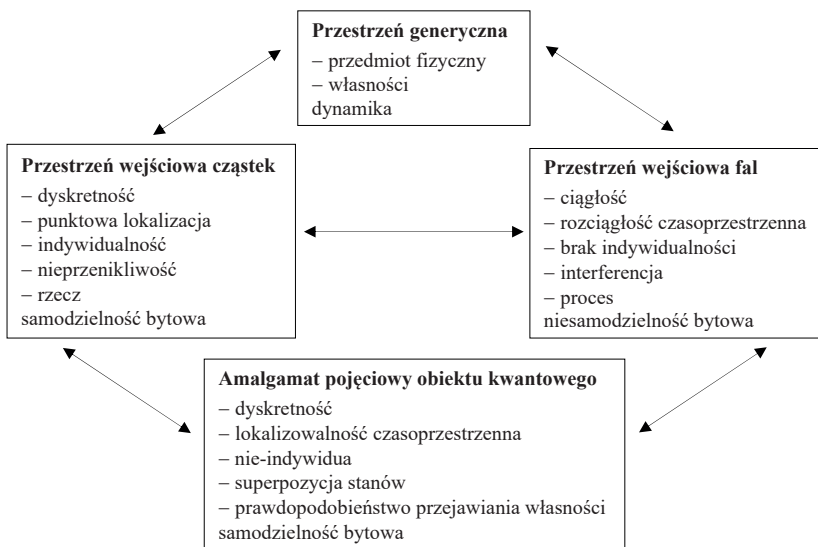
Konstrukcja pojęcia obiektu kwantowego jako amalgamatu pojęć fali i cząstki uwzględnia formalizm matematyczny standardowej mechaniki kwantowej. Oczywiście w niektórych interpretacjach zmieniających nieco jej formalizm (w szczególności w interpretacjach parametrów ukrytych) niedookreśloność charakterystyki treściowej i brak punktowej lokalizacji czasoprzestrzennej zostaje usunięta, jednak dyskusja alternatywnych interpretacji QM jest poza zakresem rozważań niniejszego artykułu.

Superpozycja stanów jest bezpośrednią konsekwencją liniowości przestrzeni Hilberta – dowolny stan układu kwantowego można traktować jako superpozycję wektorów stanu parami ortogonalnych w przestrzeni Hilberta (Heller, 2014, s. 42). Superpozycja jest nieobserwowalna, ponieważ pomiar powoduje redukcję wektora stanów do jednego ze stanów własnych obserwabli, ale musimy ją przyjąć, by wyjaśnić rezultaty eksperymentów. W odniesieniu do klasycznych fal również obowiązuje zasada superpozycji – fala wypadkowa, będąca rezultatem nałożenia się co najmniej dwóch fal, jest sumą fal składowych. Równanie Schrödingera jest liniowym równaniem różniczkowym na funkcję falową, a superpozycja jest własnością tego równania polegającą na tym, że suma dwóch (lub większej liczby) rozwiązań jest także rozwiązaniem.

Stwierdzenie, że cząstka kwantowa okazuje się obiektem wykazującym miejsca niedookreślenia, tzn. nie ma jednocześnie określonych wartości wielkości sprzężonych, jest również ściśle związane z matematyczną strukturą standardowej QM, a mianowicie z relacjami nieoznaczoności. Na przykład operatory położenia i pędu nie komutują ze sobą, czyli wektory własne operatora położenia nie są wektorami własnymi operatora pędu i nie jest możliwy jednoczesny pomiar pędu i położenia z dowolną dokładnością. Innymi słowy: na gruncie standardowej QM cząstce z określonym pędem nie przysługuje określone położenie i *vice versa*. To samo dotyczy wszystkich par wielkości kanonicznie sprzężonych.

Odrzucenie indywidualności obiektów kwantowych wynika ze statystyk kwantowych Bosego-Einsteina i Fermiego-Diraca, których zgodność z doświadczeniem nie budzi najmniejszych wątpliwości. Stany niesymetryczne oparte na założeniu rozróżnialności cząstek należy wykluczyć jako niemające interpretacji fizycznej (Teller, 1995, s. 11), chyba że przyjmiemy, że mają one interpretację fizyczną, ale QM ich nie reprezentuje (Redhead, French, 1988). Wówczas jednak wykraczamy poza standardową wersję QM.

Rezultat amalgamacji ilustruje następujący schemat:



Rycina 1. Siatka integracji pojęciowej obiektu kwantowego

Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Potraktowanie pojęcia mikroobiekta jako rezultatu amalgamacji pojęciowej jest propozycją spojrzenia na język mechaniki kwantowej i ontologię mikroświata jedynie z wybranej perspektywy – teorii integracji pojęciowej – i bynajmniej nie eliminuje osobliwości świata kwantów i jego całkowicie nieintuicyjnego charakteru. Pojęcia fizyki klasycznej, takie jak masa, siła, prędkość, przyspieszenie czy energia są w istocie wysubtelnionymi kategoriami naszego codziennego doświadczenia – intuicyjnie wiemy, co znaczy, że jedno ciało ma większą masę niż drugie, że próbując podnieść ciało, musimy zadziałać siłą, że poruszamy się z określoną prędkością itd. Nie mamy jednak żadnych doznań zmysłowych związanych z byciem w superpozycji stanów, w stanie splątany czy też w nieokreślonym położeniu w przestrzeni. Dostęp poznawczy do świata kwantów dają nam jedynie eksperymenty i matematyka, a współcześnie modelowanie zjawisk w fizyce polega na stworzeniu abstrakcyjnego modelu matematycznego, który nie musi być w pełni przekładalny na treści wyobrażeniowe.

Na zakończenie rozważmy kwestię, jakie zyski poznawcze otrzymujemy z zastosowania teorii amalgamatów pojęciowych do języka QM. Wydaje się, że można wskazać co najmniej dwa.

Po pierwsze, zastosowany schemat można potraktować jako rekonstrukcję filozoficznych poglądów fizyków podejmujących refleksję nad filozoficznymi problemami mechaniki kwantowej i osadzenie ich w określonej teorii języka. Otóż zbliżone do prezentowanego w niniejszym artykule stanowisko można odnaleźć w pracach wielu fizyków, chociaż nie wykorzystywali oni aparatury pojęciowej językoznawstwa kognitywnego (Burwell, 2018, s. 66). Heisenberg pisał: „Teoria kwantów jest więc wspaniałym przykładem tego, że można z pełną jasnością rozumieć jakąś treść i jednocześnie wiedzieć, że potrafi się ją wyrazić tylko za pomocą obrazów i przypowieści. Obrazy i przypowieści to tutaj pojęcia klasyczne, czyli także »fala« i »cząstka«. Nie pasują one dokładnie do rzeczywistego świata, wzajemnie są również w stosunku komplementarnym i przez to przeczą sobie. Mimo to, ponieważ przy opisywaniu zjawiska w przestrzeni trzeba trzymać się języka naturalnego, można tylko przybliżać się tymi obrazami do prawdziwego stanu rzeczy” (Heisenberg, 1987, s. 264). Według Bohra „nawet jeżeli zjawiska wykraczają poza ramy tłumaczenia fizyki klasycznej –



i to dowolnie daleko – to jednak opis jakiegokolwiek doświadczenia musi być wyrażony w terminach klasycznych” (Bohr, 1963, s. 64). Leon N. Cooper ujął podobne intuicje następująco: „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 realnością, jaką jest światło, twór matematyczny znany nam jako fala i że struktura i relacje matematyczne fal w ich świecie są w jakiś sposób odbiciem struktury i relacji światła w świecie realnym” (Cooper, 1980, s. 270). Eyvind H. Wichmann, pisał, że „fizyczna cząstka jest nieprzywiedlnym obiektem, a jej własności falowe i korpuskularne są objawami różnych aspektów jej wewnętrznej natury” (Wichmann, 1975, s. 243). Według Arthura S. Eddingtona wszelkie pojęcia, zanim zostaną zaliczone do schematu pojęciowego fizyki, powinny zostać „oczyszczone” z wszelkich dotychczasowych, poglądowych wyobrażeń, jakie z nimi wiązaliśmy (Eddington, 1934, s. 236). Określeniem „the amalgamation of particles and waves” posługiwał się już Erwin Schrödinger (Schrödinger, 1998, s. 198–199).

Po drugie, teoria amalgamatów pojęciowych otwiera drogę do konstrukcji spójnego pojęcia mikroobektu, niekoniecznie przez powrót do mechanistycznej ontologii, w której występowały klasycznie rozumiane cząstki i fale. Może być nawet potraktowana jako kontrpropozycja w stosunku do komplementarnych opisów sytuacji obserwacyjnych, właściwych dla interpretacji kopenhaskiej, w której w istocie odrzuca się możliwość mówienia o mikroobektach niezależnie od użytych przyrządów pomiarowych (Aerts, 1998, s. 230). Ontologia fizyki nie jest wryta w kamieniu. To zbiór bytów „definiowanych lub zakładanych przez teorię” (Dennett, 2017, s. 88; Quine, 1969), a to, co dawniejsze teorie naukowe uznawały za istniejące, nie musi pokrywać się z tym, co za istniejące uznają teorie współczesne. Z naukowego obrazu świata zniknęły ciepłik, flogiston, eter, a także absolutny czas i absolutna przestrzeń. Mechanika kwantowa natomiast nie zakłada istnienia klasycznie rozumianych cząstek ani klasycznie rozumianych fal, sprowadzając te pojęcia do rangi metafor, postuluje zaś istnienie obiektów kwantowych, które wprawdzie zawierają pewne własności cząstek i fal, ale zawierają również własności emergentne, wykraczające poza ramy pojęciowe fizyki klasycznej i codziennego doświadczenia. Teoria integracji pojęciowej pozwala zrozumieć obiekty kwantowe jako obiekty *sui generis*,

a wypracowanie adekwatnego ontologicznego modelu mikroświata należy do interdyscyplinarnych zagadnień z pogranicza filozofii i fizyki, obszaru, w którym jest miejsce na dialog między fizykami a filozofami (Rovelli, 2017; 2018).

## Bibliografia

- Aerts, D. (1998). The Entity and Modern Physics. The Creation-Discovery View. W: E. Castellani (red.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics* (s. 223–257). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Aspect, A., Dalibard, J., Roger, G. (1982). Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time Varying Analyzers. *Physical Review Letters*, 49 (25), 1804–1807.
- Bell, J.S. (1964). On the Einstein Podolsky Rosen Paradox. *Physics*, 1, 195–200.
- Bigaj, T. (1991). Zarys ontologii kwantowej. W: S. Butryn (red.), *Z zagadnień filozofii nauk przyrodniczych* (s. 87–101). Warszawa: Polska Akademia Nauk. Instytut Filozofii i Socjologii.
- Black, M. (1954–1955). Metaphor. *Proceedings of the Aristotelian Society. New Series*, 55, 273–294.
- Bohm, D. (1988). *Ukryty porządek*. Tłum. M. Tempczyk. Warszawa: Pusty Obłok.
- Bohm, D., Hiley, B.J. (1993). *The Undivided Universe. An Ontological Interpretation of Quantum Theory*. New York: Routledge.
- Bohr, N. (1963). *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*. Tłum. W. Staszewski, S. Szpikowski, A. Teske. Warszawa: PWN.
- Brogie, L.V. de (1955). Czy fizyka kwantowa pozostanie indeterministyczna? Tłum. S. Rouppert. W: A. Aleksandrow, L.V. de Broglie, E. Bolman, J.P. Vigiér, *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej i teorii względności* (s. 110–143). Warszawa: PWN.
- Burwell, J. (2018). *Quantum Language and the Migration of Scientific Concepts*. Cambridge, MA – London: The MIT Press.
- Cooper, L.N. (1980). *Istota i struktura fizyki*. Tłum. J. Kozubowski, Z. Majewski, A. Pindor, J. Prochorow. Warszawa: PWN.
- Camilleri, K. (2009). Constructing the Myth of the Copenhagen Interpretation. *Perspectives on Science*, 17 (1), 26–57.

- Coulson, S., Okley T. (2001). Blending Basics. *Cognitive Linguistic*, 11, 175–196.
- Czarnocka, M., Mazurek, M. (2012). Metafory w nauce. *Zagadnienia Naukoznawstwa*, 1 (191), 5–26.
- Dennett, D. (2017). *Od bakterii do Bacha. O ewolucji umysłów*. Tłum. K. Bielecka, M. Miłkowski. Kraków: Copernicus Center Press.
- Eddington, A.S. (1934). *Nowe oblicze natury*. Tłum. A. Wundheiler. Warszawa: Nakładem „Mathesis Polskiej”.
- Einstein, A., Podolsky B., Rosen N. (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality by Considered Complete? *Physical Review*, 47, 777–780.
- Fauconnier, G., Turner, M. (2019). *Jak myślimy. Mieszanie pojęciowe i ukryta złożoność umysłu*. Tłum. I. Michalska. Warszawa: Biblioteka Kwartalnika Kronos.
- Faye, J. (2019). Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics. W: The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2019 Edition). Pobrano z: <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/qm-copenhagen/>.
- Feynman, R.P. (2000). *Charakter praw fizycznych*. Tłum. P. Amsterdamski. Warszawa: Prószyński i S-ka.
- French, S., Krause, D. (2008). *Identity in Physics. A Historical, Philosophical, and Formal Analysis*. Oxford: Clarendon Press.
- Fojt, T. (2009). *The Construction of Scientific Knowledge by Metaphor*. Toruń: Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Freire, O., Jr (red.) (2022). *The History of Quantum Interpretations*. Oxford: Oxford University Press.
- French, S., Redhead, M. (1988). Quantum Physics and the Identity of Indiscernibles. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 39 (2), 233–246.
- Heisenberg, W. (1930). *Die physikalischen Principien der Quantentheorie*. Leipzig: Verlag von S. Hirzel.
- Heisenberg, W. (1965). *Fizyka i filozofia*. Tłum. S. Amsterdamski. Warszawa: Książka i Wiedza.
- Heisenberg, W. (1979). *Ponad granicami*. Tłum. K. Wolicki. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Heller, M. (2014). *Elementy mechaniki kwantowej dla filozofów*. Kraków: Copernicus Center Press.

- Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press.
- Holton, G. (1995). Metaphors in Science and Education. W: Z. Radman (red.), *From a Metaphorical Point of View. A Multidisciplinary Approach to the Cognitive Content of Metaphor* (s. 259–288). Berlin – New York: Walter de Gruyter.
- Ingarden, R. (1988). *O dziele literackim*. Warszawa: PWN.
- Jabłońska-Hood, J. (2016). Integracja pojęciowa jako fundamentalny mechanizm kreatywności ludzkiej w języku. O wykorzystaniu teorii amalgamatów w analizie humoru angielskiego. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio FF – Philologiae*, 34 (1), 155–168.
- Lakoff, G., Johnson, M. (1988). *Metafory w naszym życiu*. Tłum T.P. Krzeszowski. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Libura, A. (2021). Integracja pojęciowa w memach internetowych zawierających wyobrażenia gestów. W: M. Hetmański, A. Zykubek (red.), *Metafory ucieleśnione* (s. 25–48). Lublin: Wydawnictwo Akademicon.
- Łobejko, M., Lamża, Ł (2019). *Co się dzieje w świecie kwantów?* Kraków: Copernicus Center Press.
- Łukasik, A. (2009). Atomizm dawniej i dziś. O niewspółmierności ontologicznej klasycznego i kwantowomechanicznego pojęcia elementarnych składników materii. *Studia Philosophiae Christianae*, 1, 133–162.
- Łukasik, A. (2012). Substancjalność cząstek elementarnych. W: M. Piwowarczyk (red.), *Studia Systematica 2. Substancja* (s. 145–157). Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Mauldin, T. (2019). *Philosophy of Physics: Quantum Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Mehlbeg, H. (1967). The Problem of Physical Reality in Contemporary Science. W: M. Bunge (red.), *Quantum Theory and Reality* (s. 45–65). Berlin–Heidelberg: Springer.
- Ney, A. (2021). *The World in the Wave Function. A Metaphysics for Quantum Physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Pais, A. (2006). *Czas Nielsa Bohra. W fizyce, filozofii i polityce*. Tłum. P. Amsterdamski. Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Petrucchioli, S. (1993). *Atoms, Metaphors and Paradoxes. Niels Bohr and the Construction of a New Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Quine, W.V.O. (1969). O tym, co istnieje. W: W.V.O. Quine. *Z punktu widzenia logiki*. Tłum. B. Stanosz. Warszawa: PWN.
- Redhead, M., Teller, P. (1991). Particles. Particle Labels, and Quanta: The Toll of Unacknowledged Metaphysics. *Foundation of Physics*, 21 (1), 43–62.
- Redhead, M., Teller, P. (1992). Particle Labels and Indistinguishable Particles Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 43 (2), 201–218.
- Rovelli, C. (2017). Some Scientists Claim that Philosophy is Dead – In Fact We Need it More than Ever. *Prospero*, 23 (3).
- Rovelli, C. (2018). Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics. *Foundations of Physics*, 48, 481–491.
- Schiff, L. I. (1977). *Mechanika kwantowa*. Tłum. Z. i Z. Rek. Warszawa: PWN.
- Schrödinger, E. (1998). What is an Elementary Particle. W: E. Castellani (red.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics* (s. 197–210). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Schrödinger, E. (2017). *Przyroda i Grecy. Nauki przyrodnicze i humanistyczne*. Tłum. K. Napiórkowski. Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Filozofii i Socjologii PAN.
- Susskind, L., Friedman, A. (2016). *Mechanika kwantowa. Teoretyczne minimum*. Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Tambor, P. (2020). *Standardowy model kosmologiczny*. Lublin: Wydawnictwo KUL.
- Teller, P. (1995). *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Teller, P. (1998). Quantum Mechanics and Haecceities. W: E. Castellani (red.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics* (s. 114–141). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wichmann, E.H. (1975). *Fizyka kwantowa*. Tłum. W. Gorzkowski, A. Szymacha. Warszawa: PWN.
- Zawisławska, M. (2011). *Metafora w języku nauki. Na przykładzie nauk przyrodniczych*. Warszawa: Wydział Polonistyki Uniwersytetu Warszawskiego.

### Nota o autorze

Andrzej Łukasik – dr hab., prof. UMCS, ukończył fizykę i filozofię na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Jest pracownikiem Katedry Ontologii i Epistemologii Instytutu Filozofii UMCS. Zajmuje się filozofią fizyki, głównie filozoficznymi zagadnieniami mechaniki kwantowej. Autor monografii naukowych: *Atom. Od greckiej filozofii przyrody do nauki współczesnej* (Lublin 2000); *Filozofia atomizmu. Atomistyczny model świata w filozofii przyrody, fizyce klasycznej i współczesnej a problem elementarności* (Lublin 2006); *Filozoficzne zagadnienia mechaniki kwantowej* (Lublin 2017).

Address for correspondence: Instytut Filozofii UMCS, pl. Marii Curie-Skłodowskiej 4, 20-031 Lublin.

### Cytowanie

Łukasik, A. (2023). Pojęcie obiektu kwantowego z perspektywy teorii integracji pojęciowej a problem ontologii mikroświata. *Analiza i Egzystencja*, 64 (4), 25–46. DOI: 10.18276/aie.2023.64-02.