

JAKUB RÓG

KRYTYKA OPERACJONIZMU Z UWZGLĘDNIENIEM OPERACYJNEJ DEFINICJI CZASU

WPROWADZENIE

To, w jaki sposób naukowcy *tworzą naukę*, jest przedmiotem zainteresowań nie tylko ich samych, ale także filozofów nauki. Filozofowie, patrząc z innej perspektywy i mając inne narzędzia niż sami naukowcy, podnoszą niekiedy uzasadnione zarzuty względem sposobu postępowania tych ostatnich. Taka krytyka, nawet najbardziej celna, nieczęsto przebija się jednak do świadomości osób, których działanie jest krytykowane, a jeszcze rzadziej prowadzi do jego zmiany. To powoduje pytanie o powody takiego stanu rzeczy.

Dobrym przykładem wyraźnego rozdźwięku między filozofami a przedstawicielami nauk szczegółowych jest operacjonizm, XX-wieczny kierunek w filozofii nauki, sformułowany w duchu logicznego pozytywizmu na podstawie prac amerykańskiego fizyka Percy'ego W. Bridgmana. Głównym motywem jego filozoficznego namysłu nad metodologią nauki była odpowiedź na rewolucję pojęciową dokonaną przez Alberta Einsteina: podstawowe pojęcia fizyki, takie jak czas, przestrzeń czy równoczesność zdarzeń, mające ustalone i powszechnie przyjęte znaczenie, nagle okazały się nieprzydatne w paradygmacie teorii względności. To z kolei wymusiło ich ponowne zdefiniowanie, co — zdaniem Bridgmana — pokazało, że ówczesny system definiowania pojęć naukowych, polegający na odwoływaniu się do własności desygnatów, nie gwarantuje stałości znaczenia. W konsekwencji cała struktura pojęciowa nauki była podatna na ciągłe zmiany (1958, 1). Pozbawionym tej wady miał być nowy sposób definiowania pojęć odwołujący się do czynności podejmowanych w trakcie korzystania z danego pojęcia, a refleksję nad tym, co jest taką czynnością, stanowiła poprze-

Mgr JAKUB RÓG — Uniwersytet Warszawski, Wydział Filozofii, Zakład Filozofii Nauki; adres do korespondencji: Zakład Filozofii Nauki (p. 104), ul. Krakowskie Przedmieście 3, 00-047 Warszawa; e-mail: j.rog2@uw.edu.pl; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8032-128X>.

dzającą definicję analiza operacyjna. Dla przykładu: jeśli naukowcy, mówiąc o czasie, odwołują się do pomiaru dokonanego zegarkiem, to uproszczona operacyjna definicja czasu brzmi następująco: „czas jest tym, co mierzą zegarki”.

Tak ujęty program metodologiczny, choć czerpiący głównie z obserwacji pracy fizyków i znany już wcześniej choćby w praktyce lorda Kelvina (HELLER i PABIAN 2014, 56), został przez Bridgmana rozwinięty i miał stać się uniwersalnym kryterium naukowości pojęć. Jego zdaniem za naukowe należało uznać wyłącznie te pojęcia (i pytania z nimi związane), które były definiowalne na sposób operacyjny. Pozostałe należało uznać za pozbawione sensu i jako takie wykluczyć z kręgu zainteresowań naukowców (BRIDGMAN 1958, 28–29).

Podwaliny operacjonizmu zostały wyłożone w wydanej po raz pierwszy w 1927 r. książce pt. *Logic of Modern Physics* (BRIDGMAN 1927). Odpowiedzi, których doczekało się to wydanie, były skrajne: od ostrej krytyki ze strony tych filozofów nauki, którzy już wcześniej wskazywali na problemy podejścia neopozytywistycznego, do niezwykle życzliwego przyjęcia ze strony psychologów, a to głównie za sprawą Edwarda Tolmana (GREEN 1992) i Stanleya Stevensa, którego związki z oryginalną myślą Bridgmana nadal pozostają przedmiotem dyskusji (HARDCASTLE 1995; RIBES-IÑESTA 2003; FEEST 2005). Bridgman śledził dyskusję o operacjonizmie, odpowiadając na bieżąco na formułowane zarzuty i uczestnicząc w konferencjach poświęconych tej tematyce (BRIDGMAN 1938; 1945; 1950a; 1950b; 1959a; 1959b). Wraz z upływem czasu operacjoniści łagodzili swoje stanowisko, odchodząc od pierwotnych postulatów w taki sposób, że dziś już trudno właściwie określić, co kryje się pod tym szyldem.

Celem artykułu jest przeanalizowanie argumentów formułowanych przeciw operacjonizmowi, który mimo poddania znaczącej krytyce filozoficznej pozostaje (nadal?) powszechnym sposobem działania w takich dyscyplinach, jak fizyka czy psychologia (GRACE 2001, 6). Krytyka zostanie przeprowadzona na przykładzie operacyjnej definicji czasu w mechanice kwantowej. Za wyborem tego pojęcia jako przykładu porażki programu operacjonistycznego stoją dwie przesłanki: po pierwsze, czas odgrywa fundamentalną rolę w teoriach fizycznych, po drugie zaś napotyka się istotne trudności przy próbie definiowania go operacyjnie. Dodatkowym argumentem za podjęciem się tak określonego zadania jest fakt, że w polskiej literaturze przedmiotu tematyka operacjonizmu była podejmowana zasadniczo dość dawno¹ i stosunkowo krótko (PRZEŁĘCKI 1955 i 1959; AUGUSTYNEK 1960; KARPIŃSKI 1962; CHYLIŃSKI 1978; MAZIERSKI 1978; HORBACZEWSKI 1988; PRZEŁĘCKI 1993), podczas gdy w literaturze obcojęzycznej, głów-

¹ Poza niewielkimi wzmiankami we współczesnych podręcznikach filozofii nauki lub przyrody, np. HELLER i PABIAN 2014, 56–59.

nie amerykańskiej, pozostaje on do dziś w centrum uwagi (np. HASOK 2017; VESSONEN 2021).

Artykuł składa się z dwóch części. W pierwszej zostanie przedstawiona krytyka operacjonizmu oraz próby odpowiedzi na nią. Prezentacja będzie skupiona wokół dwóch zasadniczych postulatów operacjonizmu. W drugiej części zostanie omówiona problematyka sformułowania operacyjnej definicji czasu w formalizmie mechaniki klasycznej oraz nierelatywistycznej mechaniki kwantowej.

1. KRYTYKA POSTULATÓW OPERACJONIZMU

Spośród postulatów operacjonistycznych można wyróżnić dwa, wokół których obraca się cała idea operacjonizmu. Pierwszy z nich utożsamia znaczenie pojęcia z operacjami przeprowadzanymi w trakcie korzystania z niego²:

W ogólności, przez pojęcie mamy na myśli nic więcej niż zbiór operacji; pojęcie jest synonimem odpowiedniego zestawu operacji. (BRIDGMAN 1958, 5)

Drugi postulat ma charakter demarkacyjny, określa bowiem kryterium naukowości używanych terminów. Zgodnie z nim wszystkie terminy naukowe powinny być definiowane na sposób operacyjny:

Każde pojęcie naukowe powinno być zdefiniowane za pomocą jednego, niepowtarzalnego kryterium operacyjnego. (HEMPEL 1954, 215)

Oba te postulaty miały realizować cel sformułowany przez Bridgmana: zagwarantowanie stałości znaczeń terminów naukowych. Jak się jednak okazuje, program metodologiczny zbudowany na powyższych postulatach, nawet jeśli między konkretnymi sposobami jego stosowania różni się w praktyce rozłożeniem akcentów (por. podejście S.S. Stevensa (1935) czy Leonida Mandelstama (PECHENKIN 2000)), jest obciążony jest poważnymi wadami, których nie sposób uniknąć bez radykalnego odejścia od ich skrajnego, a więc ograniczającego rozumienia. Krytyka operacjonizmu przedstawiona poniżej będzie zbudowana wokół tych dwóch postulatów.

1.1 OPERACJE DEFINIUJĄ POJĘCIA

1.1.1 *Czym jest operacja?*

Pierwszym poważnym wyzwaniem, przed którym stoją operacjoniści, jest określenie, czym właściwie są operacje w rozumieniu operacyjnym. Jest to o tyle

² Wszystkie tłumaczenia tekstów źródłowych pochodzą od autora.

istotne, że mają one stanowić główny element definicji. Bridgman nie odpowiada wprost na tak postawione pytanie, wskazując jedynie na ogromną rolę doświadczenia w rozstrzygnięciu tej kwestii (BRIDGMAN 1938, 119). Dla zachowania podstawowej spójności postępowania operacjonistów wydaje się jednak konieczne, przynajmniej na ogólnym poziomie, określenie kryteriów, które akceptowalne operacje muszą spełniać.

Pierwsza obserwacja jest dość oczywista. Czynności związane z obsługą aparatury pomiarowej (nazywane operacjami instrumentalnymi), na przykład użycie zegara w pomiarze czasu, nie budzą większej wątpliwości. Zwłaszcza że zarówno Bridgman, jak i jego pierwsi komentatorzy pisali wprost o „operacjach fizycznych”, będących podstawą formułowania definicji operacyjnej (LINDSAY 1937, 456; BRIDGMAN 1938, 123). Okazuje się jednak, że czynności podejmowane przez naukowców nigdy nie są wyłącznie fizycznymi manipulacjami, ale zawsze zawierają pewien element teoretyczny. Jest on o tyle istotny, że ujawnia znaczenie tego, co niewyraźalne operacyjnie, a co można rozumieć jako nastawienie, oczekiwanie czy punkt wyjścia w procesie badawczym. Z tego powodu Robert B. Lindsay odrzucił ideę definicji operacyjnych bazujących wyłącznie na manipulacjach aparaturą laboratoryjną (1937, 457):

„Nie przeprowadzamy operacji bezcelowo, wyłącznie dla przyjemności obserwowania dziejących się rzeczy. Przeprowadzamy eksperymenty z pewnymi pomysłami w umyśle, z nadzieją ustalenia istnienia regularności doświadczenia.

Komponent teoretyczny jest silnie związany z osobą wykonującą konkretne operacje będące częścią definicji operacyjnej. To z kolei prowadzi do pytania, czy definicja operacyjna nie jest właściwie opisem ludzkich zachowań w postaci: „jeśli wykonasz czynność x [oczekując/w celu Z], uzyskasz y ”, gdzie oczekiwanie jest wyrazem epistemicznej strony operacji. W szczególności jest ono uzasadnieniem pomijania tych elementów doświadczenia, które nie są zgodne z tym, co przewidywane. Ze względu na próbę zachowania intersubiektywnego charakteru definicji operacyjnych, niektórzy operacjoniści odrzucają taką optykę, przyjmując, że operacje definiujące to opis stanu rzeczy lub świata, choć Bridgman nie dopuszczał takiej możliwości (1959b, 43, 75–77). Dodatkowo Marian Przełęcki pozostawał sceptyczny czy taka zmiana perspektywy jest w ogólności możliwa lub celowa (1959, 182). W tym kontekście warto wspomnieć, że w tym zakresie inni znani operacjoniści, jak choćby Stevens (HARDCASTLE 1995, 406–407) czy Mandelstam (PECHENKIN 2000, 420), różnili się od Bridgmana.

Wraz z upływem czasu Bridgman zmienił swoje stanowisko w sprawie pojęć definiowanych wyłącznie za pomocą operacji instrumentalnych, stwierdzając,

że operacje umysłowe odgrywają znacznie większą rolę, niż pierwotnie sądził (BRIDGMAN 1954, 225–226; 1959a, 522). Czy jednak dopuszczalne jest, aby definicja operacyjna odwoływała się wyłącznie do operacji mentalnych, z pominięciem przeprowadzania jakichkolwiek czynności fizycznych? To pytanie jest szczególnie istotne w kontekście matematyki i fizyki teoretycznej, dla których pojęć trudno znaleźć korelat fizyczny. Analiza operacyjna tych pojęć skłoniła Bridgmana do twierdzącej odpowiedzi na powyższe pytanie, nazywając ten typ operacji operacjami typu *paper and pencil* (BRIDGMAN 1938, 123; 1958, 5).

Innym jaskrawym przykładem znaczenia pytania o to, jakie operacje są akceptowalne przez operacjonistów, jest zagadnienie operacyjnego charakteru definicji deiktycznych (ENNIS 1964, 184). Definicja deiktyczna polega na wskazaniu definiowanego przedmiotu oraz wypowiedzeniu jego nazwy. Czy więc definicja składająca się ze wskazania konkretnego zwierzęcia i wypowiedzeniu słowa „pies” spełnia kryteria operacyjne?³ Odpowiedź udzielona przez Bridgmana jest twierdząca, z zastrzeżeniem, że obecnie nie ma potrzeby ich stosowania, skoro brak jest pojęć, których nie da się zwerbalizować (BRIDGMAN 1959b, 40):

Można pewnie argumentować, że wszystkie określenia były początkowo ostensywne, podobnie jak cały język. Ale przypuszczamy, że jesteśmy wystarczająco daleko od sytuacji pierwotnej, więc był czas na rozwój słownictwa i że nauczyliśmy się jak tłumaczyć określenia ostensywne, jeśli takie były, na słowa.

Biorąc pod uwagę wykształcenie Bridgmana w zakresie fizyki, nie powinno być zaskoczeniem, że w swoich pracach, zwłaszcza najwcześniejszych, kładł on nacisk na operacyjną analizę mierzalnych właściwości fizycznych (ROŹDZEŃSKI 1982, 210). Zdarza się jednak, że bardziej celowe jest skorzystanie z operacji odwołującej się do cech jakościowych niż ilościowych, na przykład w przypadku definiowania kwasu jako cieczy, w której zanurzony papierek lakmusowy barwi się na czerwono. Celem operacji tego typu jest rozstrzygnięcie, czy badany obiekt jest desygnatem pojęcia. Nie zawsze jednak istnieje wyraźny podział na właściwości ilościowe i jakościowe, zwłaszcza że w wielu wypadkach *jakość jest granicznym przypadkiem ilości* (BUGAJAK 2009). Taka *ilościowa* definicja kwasu odwoływałaby się do pomiaru pH roztworu i przyjęcia kryterium, że kwasem jest substancja, której pH jest mniejsze od określonej wartości. Sprawą otwartą pozostaje to, czy zawsze taka redukcja jest możliwa.

Istnieje również trzeci sposób rozumienia definicji operacyjnej, mianowicie jako przepisu pozwalającego wytworzyć lub wywołać desygnat definiowanego pojęcia. We wspomnianym już wyżej przykładzie definicja kwasu byłaby opisem

³ Zarzuty podniesione przez W. V. Quine’a wydają się w tym kontekście w pełni zasadne (por. argument „gavagai”, QUINE 2013, 25–27).

procedury rozpuszczania tlenu niemetalu w wodzie. Takie podejście znajduje praktyczne zastosowanie w psychologii, gdzie pozwala definiować stany badanego podmiotu przez operacje je wywołujące (na przykład pragnienia czy tęsknoty) (GRACE 2001, 14; LEAHEY 2001, 56), choć jednocześnie jest albo rzadko przyjmowane w fizyce, albo rozróżnienie tych dwóch typów operacji pomiarowych pozostaje dyskusyjne. Przykładem tego ostatniego może być pomiar spinu (GRACE 2001, 16), który zgodnie z niektórymi interpretacjami mechaniki kwantowej jest *de facto* początkiem istnienia stanu z dobrze określoną wartością tego spinu.

Ten rozdzwięk między psychologią i fizyką, choć uderza w postulat uniwersalności operacjonizmu, zdaniem niektórych komentatorów nie jest poważnym problemem omawianego nurtu (BICKHARD 2001, 38).

1.1.2 Wymóg jednoznaczności opisu

W celu zagwarantowania stałości znaczeń definiowanych operacyjnie pojęć, często wymaga się, aby definicja operacyjna jednoznacznie określała operacje definiujące i sposób ich przeprowadzania (BRIDGMAN 1958, 6):

Musimy żądać, aby zestaw operacji równoważny jakiemuś pojęciu był niepowtarzalnym zestawem, w przeciwnym wypadku istnieje możliwość niejednoznaczności w praktyce działania, na którą nie możemy pozwolić.

Zakłada się przy tym, że wybrany zestaw operacji powinien być możliwy do przeprowadzenia zawsze, ilekroć korzysta się z danego pojęcia (GREEN 2001, 48). W konsekwencji, badając średniowieczne zapisy obserwacji astronomicznych, należy odwoływać się do pojęcia położenia gwiazdy wyznaczonego ówczesnymi metodami, nawet jeśli obecnie już się z nich nie korzysta. Pozostawia to jednak nierozstrzygnięty problem *nastawienia teoretycznego*, różnego od współczesnych, na który wskazywał Lindsay. Jeśli zatem w definicji operacyjnej oprócz operacji instrumentalnych i mentalnych znaczenie ma również dodatek teoretyczny, to co do zasady próby odtworzenia definicji operacyjnej wydają się być zadaniem karkołomnym. Obserwacje średniowiecznych astronomów nie powinny być zatem, z punktu widzenia operacjonistów, elementem współczesnych badań ruchu ciał niebieskich, skoro przed wiekami ich ruch definiowano operacyjnie inaczej niż obecnie („mówiono wtedy o czym innym”).

Dodatkowo w przypadku definicji operacyjnych nawet najprostszych pojęć, spełnienie powyższego kryterium z konieczności prowadzi do znacznego wydłużenia ich opisu, a to ze względu na fakt, że każdy szczegół może mieć *potencjalnie* znaczenie w przyszłości (BRIDGMAN 1950b, 255; 1958, 10). Wydaje się,

że uznanie owej potencjalności za zagrożenie jest tym, co należy uznać za jeden z głównych błędów operacjonizmu. Zwłaszcza że jest ona ściśle związana z rozwojem technicznym. Przy akceptacji skrajnego rozumienia wymogu jednoznaczności opisu operacyjnego możliwa staje się sytuacja, w której wraz z rozwojem techniki dokładność pomiarów wzrośnie na tyle, że zaobserwuje się różnice w wynikach uzyskanych dwoma metodami pomiaru, wcześniej uznanymi za równoważne. W konsekwencji powstaje problem rozstrzygnięcia, które pojęcie było fundamentalne z punktu widzenia rozpatrywanej teorii. Tego stanu rzeczy, zdaniem operacjonistów, należy uniknąć.

1.1.3 *Postulat różnorodności*

Inną ważną konsekwencją wymogu jednoznaczności opisu operacji definiującej jest uznanie, że różne operacje definiują różne pojęcia. Ten wniosek, zauważony już przez Bridgmana, będzie w dalszej części artykułu nazywany „postulatem różnorodności” (BRIDGMAN 1958, 10):

Jeśli mamy więcej niż jeden zestaw operacji, mamy więcej niż jedno pojęcie, i rygorystycznie powinny być także osobne nazwy odpowiadające różnym zestawom operacji.

Istotnym problemem związanym z postulatem różnorodności jest określenie kryteriów odróżniania operacji definiujących, tj. określenie, kiedy zmiany w opisie operacji stają się na tyle duże, że właściwie mowa jest o innym pojęciu. Z celowościowego punktu widzenia nawet pomiar długości ciała za pomocą linijki najpierw drewnianej, a następnie metalowej, należałoby traktować jako różne operacje (RUSSELL 1928), i to całkowicie różne, podobnie jak operacja ważenia różni się od pomiaru temperatury. Chociaż Bridgman dopuszczał możliwość uznania, głównie ze względów praktycznych, że w niektórych przypadkach mowa jest o tym samym pojęciu, to przestrzegał jednocześnie przed zagrożeniem wynikającym z możliwego błędu (BRIDGMAN 1958, 23–24; 1959b, 48).

Pewien kłopot pojawia się wtedy, kiedy możliwość przeprowadzenia jakiejś operacji jest uwarunkowana przez czynniki zewnętrzne, zależne od czasu czy miejsca jej przeprowadzenia. Jak się wydaje, tak jest w ogólnym przypadku. Jednym z prostszych przykładów może być definiowanie odległości Ziemi od Księżyca za pomocą transksiężycowej transmisji laserowej (LLR)⁴. Pomiar jest możliwy wyłącznie wtedy, kiedy nic nie stoi na przeszkodzie wiązce laser-

⁴ Odległość między Ziemią i Księżycem jest obliczana jako iloczyn czasu potrzebnego na powrót wiązki laserowej wysłanej z Ziemi i odbitej od zwierciadła znajdującego się na powierzchni Księżyca oraz prędkości światła.

wej, choć w niesprzyjających warunkach trudno uznać, że pojęcie „odległości Ziemi i Księżyca mierzonej za pomocą LLR” jest pozbawione sensu. W konsekwencji uzasadnione jest pytanie, jak rozumieć możliwość wielokrotnego przeprowadzenia danej operacji, skoro definicja operacyjna powinna składać się z dokładnego opisu przeprowadzanych czynności, a istotnym ich elementem jest czas i miejsce. Próba uniknięcia tej krytyki skłoniła Bridgmana do wprowadzenia pojęcia „klasy operacji”, czyli opisów operacji pozbawionych odniesień do miejsca, czasu i osoby przeprowadzającej czynności pomiarowe (BRIDGMAN 1959b, 38).

Dodatkowo Thomas H. Leahey (1980, 132) zwraca uwagę, że rozróżnianie między dwiema operacjami jest aktywnością zależną od zdolności poznawczych podmiotu przeprowadzającego operację, definiowanie operacyjne więc ma charakter subiektywny. W konsekwencji zdolność odróżniania staje się właściwie fundamentalnym elementem operacjonizmu (BRIDGMAN 1959b, 64–66; HARDCASTLE 1995, 408).

Próbą obejścia tych zastrzeżeń jest przyjęcie, że postulat różnorodności znajduje zastosowanie wyłącznie w zakresie, w jakim dana operacja jest możliwa do przeprowadzenia. W ten sposób prędkość mierzona w skali ziemskiej i kosmicznej pozostaje jednym pojęciem, mimo że do pomiaru pierwszego korzysta się z prędkościomierza, a do drugiego bada przesunięcie widma odległych gwiazd. Złagodzone stanowisko w sprawie postulatu różnorodności musi się jednak zmierzyć z dwoma zarzutami. Po pierwsze, nie rozwiązuje ono problemu wynikającego z rozwoju techniki, który prowadzi do zmiany zakresu stosowalności operacji już używanych, a w konsekwencji do zmiany znaczenia pojęć (zwłaszcza jeśli przyjmie się, jak chcą niektórzy operacjoniści, że pojęcie nie posiada znaczenia, dopóki operacja definiująca nie zostanie faktycznie przeprowadzona).

Po drugie, operacjoniści muszą odpowiedzieć na pytanie o kryteria wyznaczenia zakresów równoważności dwóch operacji w przypadku, gdy sytuacje, w których znajdują one zastosowanie, staną się częściowo tożsame. Możliwą odpowiedzią jest stanowisko wyrażone m.in. przez Mandelstama. Uważał on, że w zależności od kontekstu jedna z dwóch operacji staje się operacją podstawową, a druga jedynie dopełnia znaczenia w tym zakresie, w którym jako jedyna jest możliwa do przeprowadzenia (PECHENKIN 2000, 421). Definicja operacyjna staje się zatem otwarta na *dopełnienie* w nowej dziedzinie stosowania, a problem wyboru owej podstawowej operacji należy rozstrzygnąć w oparciu o doświadczenie. Takie podejście jest sprzeczne z poglądem Bridgmana (1959b, 47–48), który uważał, że w przypadku wielu operacji dających podobny wynik liczbowy, zawsze należy wybrać pojedynczą operację, która ma być synonimem definiowanego pojęcia.

Oryginalne rozwiązanie tego problemu zaproponował Leonard J. Russell (RUSSELL 1928, 357; GREEN 2001, 47). Wskazał on, że skoro każdy pomiar obarczony jest błędem pomiarowym, to coraz dokładniejsze operacje jedynie przybliżają do czegoś, co nie będzie nigdy wynikiem *idealnej* operacji pomiarowej, a opis takiej znajduje się w definicji. Na tej podstawie proponował uznanie, że znaczenie pojęcia jest czymś innym niż operacja dająca konkretną wartość liczbową. W tym ujęciu znaczenie pojęcia leży „gdzieś obok”, choć „w pobliżu” zespołu operacji pomiarowych, a rezultat pomiaru jedynie „rejestruje” wartość w chwili przeprowadzenia operacji. Do tego znaczenia, *nieuchwytnego operacyjnie*, zbiegają różne operacje definiujące dające podobny rezultat. Tę propozycję, jako niepraktyczną, skrytykował Leahey, zwracając uwagę, że to tzw. super pojęcie, *podobne* do pojęć definiowanych różnymi metodami, nie jest samo w sobie definiowalne operacyjnie (LEAHEY 1980, 130).

1.2 WSZYSTKIE TERMINY NAUKOWE POWINNY BYĆ DEFINIOWANE OPERACYJNIE

Operacjoniści żądają, aby każdy termin naukowy był zdefiniowany operacyjnie. Niespełnienie tego kryterium, przynajmniej w początkach ruchu operacyjnego, wiązało się z uznaniem danego pojęcia za „metafizyczne” i niepożądane w nauce. Ten element, zbieżny z oczekiwaniami neopozytywistów, nie mógł zostać w pełni zrealizowany i wraz z rozwojem operacjonizmu doczekał się modyfikacji. W tym podrozdziale zostanie omówiona problematyka postulatu, mającego stanowić kryterium demarkacyjne pojęć naukowych.

1.2.1 Różnorodność pojęć prowadzi do inflacji praw nauki

Po pierwsze, postulat definiowania wszystkich pojęć nauki na sposób operacyjny jest uwikłany w problemy wynikające z przyjęcia postulatu różnorodności. Postulat ten nieuchronnie prowadzi do inflacji pojęć, które definiowane w „języku własności” są określane jednym terminem. W konsekwencji rozwój nauki staje się *de facto* niemożliwy. Dla przykładu: pomiar czasu trwania jakiegoś zjawiska, kluczowy w wielu badaniach fizycznych, może zostać przeprowadzony za pomocą różnych metod. Postulat różnorodności wymaga, aby traktować tak zdefiniowane pojęcia czasu jako niezwiązane ze sobą, a zatem równania ruchu, jak również prawa dynamiki, określone na podstawie różnych metod pomiaru, należy również od siebie odróżniać.

Inną konsekwencją postulatu różnorodności jest brak możliwości konfrontowania obecnych danych naukowych z danymi uzyskanymi przez badaczy in-

nych epok, którzy definiowali pojęcia w inny niż współcześnie sposób. Porównanie zatem wielkości mgławicy za pomocą radioteleskopu z zapisami historycznymi, bazującymi na obserwacjach nieuzbrojonym okiem, należałoby uznać za niewłaściwe z metodologicznego punktu widzenia.

Z obu powyższych powodów Lindsay uznał, że skrajne rozumienie postulatów różnorodności godzi w cel nauki, którym ma być „zapewnienie prostego i oszczędnego opisu pod względem minimalnej liczby pojęć porcji ludzkiego doświadczenia, które zgadzamy się nazywać fizycznym” (LINDSAY 1937, 458).

1.2.2 *Problem terminów teoretycznych*

Inną kwestią, która stanowiła wyzwanie dla operacjonistów, jest problem terminów teoretycznych, niemających korelatów empirycznych. Wiele takich terminów odgrywa istotną rolę na przykład w fizyce.

W odniesieniu do pojęć mechaniki kwantowej jednym z proponowanych rozwiązań jest przyjęcie, że jest ona modelem matematycznym, do którego zastosowanie znajdują zasady wypracowane wcześniej dla matematyki (LINDSAY 1937, 462; SEGAL 1959). W ten sposób funkcja falowa, której — przyjmując postulat Borna — kwadrat modułu ma sens fizyczny⁵, jest traktowana na takiej samej zasadzie jak inne funkcje matematyczne, tj. jako operacje typu *paper and pencil*. Jest to kolejny przykład tego, jak krytyka pierwotnych założeń operacjonizmu doprowadziła do wzrostu znaczenia operacji innego typu niż instrumentalne. Do tego faktu nawiązał po latach Bridgman, przyznając, że rozwój mechaniki kwantowej wymusza rewizję pierwotnych postulatów (BRIDGMAN 1959a, 519–25).

Istnieje inny, alternatywny sposób radzenia sobie z terminami teoretycznymi. Bridgman dopuszczał możliwość odwołania się do dwóch, niezależnych od siebie operacji, które wykazałyby konieczność korzystania z danego pojęcia (GRACE 2001, 10). Przykładem, który sam podał, jest pojęcie pola elektrycznego, które przynajmniej początkowo traktowane było jako abstrakcyjny konstrukt. Definiowanie pola polegało początkowo na odwołaniu się do pomiarów przyspieszenia próbných ładunków elektrycznych w nim umieszczonych. Zdaniem Bridgmana był to wystarczający argument za tym, żeby uznać, że pole elektryczne jako niemierzalne bezpośrednio, nie posiada statusu ontologicznego, przynajmniej do momentu, kiedy inną operacją nie wykaże się, że musi istnieć jako pewnego rodzaju byt (BRIDGMAN 1958, 56–59).

Na kolejny problem operacjonizmu wskazuje Lindsay, zwracając uwagę, że fundamentalne zasady każdej teorii mają charakter założeń, a więc nie są bez-

⁵ W sprawie problematyki operacyjnej definicji prawdopodobieństwa zob. LINDSAY 1937, 466.

pośrednio weryfikowane w doświadczeniu. Dopiero pochodne względem nich prawa są sprawdzalne doświadczalnie. Oznacza to, że w połączeniu z prezentowanym już stanowiskiem Lindsaya, wyklucza się możliwość definiowania podstawowych zasad teorii naukowych na sposób operacyjny (LINDSAY 1937, 462).

1.2.3 Zagadnienie możliwości przeprowadzenia operacji definiującej

Ostatni omówiony w tym rozdziale problem operacjonizmu dotyczy zagadnienia konieczności przeprowadzenia operacji w celu sformułowania i użycia definicji operacyjnej. Jak zauważył Hempel (1954, 216), obiekty posiadają cechy zdefiniowane operacyjnie niezależnie od tego, czy dana operacja została faktycznie przeprowadzona, więc niemożliwym do utrzymania staje się postulat Bridgmana, że „pojęcie jest synonimem odpowiadającym zbiorowi operacji” (Bridgman 1958, 5). To prowadzi do potrzeby zastanowienia się nad tym, w jakich przypadkach dopuszczalna jest rezygnacja z konieczności przeprowadzania operacji definiującej i jakie warunki muszą być w tym celu spełnione. Z jednej strony słuszne wydaje się korzystanie z pojęcia zdefiniowanego operacyjnie bez faktycznego przeprowadzenia operacji definiującej, z drugiej — otwiera to możliwość definiowania pojęć odwołując się do operacji nie przeprowadzonych albo nawet niemożliwych do przeprowadzenia w obecnej chwili.

Ten ostatni przypadek można rozpatrzyć w zależności od zaistniałych okoliczności:

- 1) niemożność techniczna wynikająca z braku odpowiednich przyrządów pomiarowych, np. o zbyt małej dokładności lub dostępnej energii. Cechą charakterystyczną tego typu niemożności jest to, że często ma charakter tymczasowy. W złagodzonej wersji postulatu różnorodności rozwój techniki prowadzi do zwiększenia liczby klas przypadków (sytuacji), w której dana operacja znajduje zastosowanie;
- 2) niemożność fizyczna związana ze znanymi prawami przyrody (fizyki). Z epistemologicznego punktu widzenia stan wiedzy o prawach przyrody i ograniczeniach z nich wynikających zmienia się w czasie, natomiast z ontologicznego punktu widzenia najczęściej postuluje się, że prawa „same w sobie” są stałe⁶. Niemożność tego typu często uznawana jest przez operacjonistów za niedającą się pokonać, czego przykładem może być zasada nieoznaczoności Heisenberga nakładająca ograniczenie na dokładność pomiaru położenia i pędu cząstki;

⁶ W tym kontekście warto zwrócić uwagę na wyniki pomiarów stałych fizycznych, które mogą być zmienne w czasie, por. WEBB *et al.* 2010 oraz wcześniejszy głos w tej dyskusji: WASSERMAN i BRECHER 1978. Może to sugerować konieczność rewizji tego, co w fizyce określa się jako stałe.

- 3) niemożność logiczna, wynikająca z praw logiki, na przykład z zasady niesprzeczności. Podobnie jak w przypadku ograniczeń fizycznych, przyjmuje się, że ma charakter stały.

Wśród operacjonistów nie ma zgody co do tego, czy brak możliwości technicznych przeprowadzenia operacji definiującej powinien uniemożliwić definiowanie, zgoda w tej sprawie panuje natomiast odniesieniu do pozostałych przyczyn (PRZEŁĘCKI 1955, 138–40).

2. OPERACYJNA DEFINICJA CZASU

W tym rozdziale zostanie przedstawiony zarys problematyki sformułowania operacyjnej definicji czasu w formalizmie (klasycznej) mechaniki kwantowej, poprzedzony zwięzłym omówieniem operacyjnej definicji czasu na poziomie mechaniki klasycznej. Wybór nierelatywistycznej mechaniki kwantowej pozwoli, z jednej strony, podkreślić jej znaczenie w kontekście krytyki operacjonizmu, a z drugiej — uniknąć zawiłości związanych z próbami łączenia mechaniki kwantowej z innymi teoriami, jak choćby teorią względności (zob. PADMANABHAN 1987).

2.1 CZAS Z PUNKTU WIDZENIA MECHANIKI KLASYCZNEJ

2.1.1 *Analiza operacyjna pojęcia czasu*

Z praktycznego punktu widzenia, czas jest tym, co mierzą zegary (STEINBERG 2007, 334; BUGAJAK 2009) albo zmienną zależną od innych wielkości dynamicznych rozpatrywanego układu (AHARONOV *et al.* 1997, 2–3). Oznacza to, że dla potrzeb operacyjnej definicji czasu należałoby się odwołać, w pierwszym przypadku, do pomiarów przeprowadzonych zegarem, a w drugim — do pomiarów innych wielkości fizycznych i za pomocą odpowiednich równań obliczyć poszukiwaną wielkość.

2.1.2 *Czas jako to, co mierzy się zegarami*

Zgodnie z tym, co zostało przedstawione w poprzednim rozdziale, z perspektywy operacjonistów samo wskazanie zegara jako urządzenia pomiarowego należałoby uznać za niewystarczające. Pożądane byłoby dokładne określenie jakiego urządzenia pomiarowego należy użyć, w szczególności sprecyzowanie rodzaju mechanizmu wyznaczającego upływ czasu.

Co do zasady każdy zegar składa się z trzech istotnych elementów, tj. a) wzorca częstotliwości, czyli układu fizycznego o stałej częstotliwości, b) mechanizmu zliczającego liczbę powtórzeń wystąpienia takiego samego stanu wzorca, c) wskaźnika, odpowiadającego za prezentację upływu czasu (MRUGALSKI 2008). Dwóm pierwszym składnikom zegara odpowiadają założenia o charakterze filozoficznym, które są związane z korzystaniem z zegarów. Pierwsze z nich, o charakterze ontologicznym, stanowi, że w przyrodzie istnieją zjawiska cykliczne. Ich poznawalność (obserwowalność) przez człowieka jest przedmiotem drugiego postulatu, który ma charakter epistemologiczny (BUGAJAK 2009, 60).

Zgodnie ze skrajnym rozumieniem postulatu różnorodności jakakolwiek różnica w dowolnym z tych trzech elementów prowadzi do rozróżnienia tego, co owe zegary mierzą. Tak więc blaszany zegar z kukułką mierzy *inny* czas niż zegar wahadłowy zamknięty w drewnianej szafce, choć bardziej precyzyjnie należałoby mówić, że „czas blaszanego zegara kukułkowego” jest innym pojęciem niż „czas zegara wahadłowego”, a zbieżność numeryczna pomiarów powinna pozostać bez większego znaczenia.

W złągodzonej wersji postulatu różnorodności, bardziej rozpowszechnionej wśród fizyków, różne zegary znajdują zastosowanie w różnych sytuacjach, uzupełniając się wzajemnie. Kwestią, która powinna znaleźć rozstrzygnięcie w doświadczeniu, pozostaje wskazanie, który pomiar winien być traktowany jako podstawowy w przypadku, w którym są dwie alternatywne metody pomiaru czasu. Ma to znaczenie zwłaszcza wtedy, gdy w pewnej klasie przypadków pomiary różnymi zegarami traktowano dotychczas zamiennie, a od pewnego momentu, wynikającego z rozwoju technicznego, zaczęto zauważać różnice w wynikach pomiarów.

Dodatkowym czynnikiem, który należało uwzględnić w definicji operacyjnej czasu z wykorzystaniem zegara, jest — na co zwracał uwagę już Einstein — uwzględnienie efektów relatywistycznych, w szczególności wtedy, kiedy mowa jest o czasie innym niż czas własny obserwatora.

2.1.3 Czas jako wielkość mierzona pośrednio

Alternatywną metodą wyznaczenia czasu trwania zjawiska jest odwołanie się do pomiarów innych wielkości dynamicznych, na przykład definiując czas trwania ruchu jako iloraz przebytej drogi i średniej prędkości poruszającego się ciała. Pierwsza z tych wielkości mogłaby być definiowana za pomocą dalmierza, a druga — za pomocą elektronicznego prędkościomierza.

Chociaż zastrzeżenia związane z postulatem różnorodności obowiązują również i w tym przypadku, daje się zauważyć istotną różnicę z omawianymi tutaj sposobami pomiaru czasu. Tą różnicą jest brak potrzeby wskazania w przyrodzie zjawisk cyklicznych, a więc unika się konieczności zakładania wyżej wspomnianych postulatów. Ponadto definicja operacyjna czasu odwołująca się do pomiarów pośrednich innych wielkości fizycznych miałaby charakter typu *paper and pencil*, w przeciwieństwie do operacji instrumentalnych, wykorzystujących urządzenia mierzące upływ czasu.

2.1.4 Operacyjna definicja czasu w mechanice kwantowej

Z operacyjną definicją czasu w ramach klasycznej mechaniki kwantowej są związane dwa problemy. Pierwszy wynika z postulatu teorii uniemożliwiającego traktowanie czasu jako wielkości mierzalnej na poziomie kwantowym, a drugi — z nierozstrzygniętego problemu pomiaru i sporu wokół interpretacji mechaniki kwantowej (SCHLOSSHAUER, KOFLER i ZEILINGER 2013).

W formalizmie mechaniki kwantowej tylko ta wielkość fizyczna jest mierzalna, dla której można zdefiniować reprezentujący ją operator hermitowski. Nie w każdym przypadku wielkości klasycznie mierzalnej taki operator w mechanice kwantowej jest definiowalny, w szczególności nie jest to możliwe w przypadku czasu. W literaturze przedmiotu jako powód tego stanu rzeczy podaje się — za Paulim (1980, 63) — fakt, że dla ograniczonego hamiltonianu o dyskretnym widmie, nie można zdefiniować sprzężonego operatora, będącego z nim w kanonicznej relacji komutacji (zwięźle omówienie argumentu można znaleźć u Galapona (1999, 3–4). Takim operatorem byłby operator czasu.

W rezultacie czas występujący w równaniach mechaniki kwantowej jest traktowany jako zewnętrzny parametr, wyznaczany zegarem laboratoryjnym, niezależny od badanego układu. Operacyjna definicja czasu w formalizmie mechaniki kwantowej nie różni się zatem od definicji formułowanej w ramach mechaniki klasycznej. Niesie to ze sobą kilka konsekwencji (BUSCH 2007, 2–3):

- 1) wyróżnia czas spośród innych wielkości fizycznych, w szczególności położenia, a spór co do zasadności tego wyróżnienia ciągle trwa (HILGEVOORD 2005). W relatywistycznej mechanice kwantowej (kwantowej teorii pola), ten problem nie występuje, gdyż nie definiuje się operatora położenia;
- 2) utrudnia analizowanie zjawisk czysto kwantowych, bez klasycznego odpowiednika (takich jak czas tunelowania, czas przelotu czy interferencja w czasie, np. HORWITZ 2006). Uzasadnione wydaje się zatem poszukiwanie sposobów pomiaru czasu ich trwania rozumianego jako czas wewnętrzny takich układów;

- 3) uniemożliwia wyznaczenia statystycznego rozkładu czasowego (temporalnego) zjawisk kwantowych;
- 4) prowadzi do odróżnienia sposobu interpretacji relacji nieoznaczoności energii i czasu względem relacji nieoznaczoności położenia i pędu (MANDELSTAM i TAMM 1991; HILGEOORD 1996; BUSCH 2007; ANDERSON 2017, 61);
- 5) utrudnia wyznaczanie równoczesności zdarzeń na poziomie pomiarów kwantowych. W celu obejścia tego problemu bada się tzw. zegary kwantowe, w których upływ czasu wyznaczać może dowolna zmienna dynamiczna, na przykład przejście cząstki w pobliżu detektora i jej wykrycie (PERES 1980; GISIN i ZAMBRINI CRUZEIRO 2018).

Powyższe trudności od dawna prowadzą do prób sformułowania teorii kwantowej w sposób, który umożliwiłby zdefiniowanie operatora czasu (GALAPON 1999; 2003; ISIDRO 2005). Chociaż dla pojedynczych przypadków jest to możliwe już w formalizmie klasycznej mechaniki kwantowej, w ogólności wiąże się z rezygnacją albo z kryterium samosprzężenia albo z ograniczenia widma hamiltonianu (GOTŌ, YAMAGUCHI i SUDŌ 1981; WANG i XIONG 2007; BUTTERFIELD 2013, 11). Jedną z propozycji modyfikacji postulatów klasycznej mechaniki kwantowej postuluje rezygnację z warunku samosprzężenia na rzecz miary dodatnio określonych operatorów (POVM) (GIANNITRAPANI 1997; SKULIMOWSKI 2002; BUTTERFIELD 2013, 18).

Gdyby próby zdefiniowania operatora czasu się powiodły, definicja czasu odwoływałaby się do operacji pomiaru czasu wewnętrznego danego układu, choć w tym przypadku tym bardziej odpowiedzi domagałoby się pytanie o to, czym jest pomiar z punktu widzenia mechaniki kwantowej i jakie operacje skorelować z operatorem czasu. Zdefiniowanie operatora czasu nie byłoby więc warunkiem wystarczającym do sformułowania kwantowo mechanicznej operacyjnej definicji czasu. Z tą trudnością związany jest tzw. problem pomiaru, czyli spór dotyczący interpretacji i opisu pomiaru stanu kwantowego. W najbardziej rozpowszechnionej interpretacji mechaniki kwantowej, interpretacji kopenhaskiej, pomiar prowadzi do redukcji funkcji falowej, a więc odpowiada za wytworzenie konkretnego stanu kwantowego (GRABOWSKI 1986, 3). To prowadzi do pytania, czy pomiar, będący istotnym elementem definicji operacyjnej, rejestruje stan układu kwantowego (definicja ilościowa) czy tworzy stan układu (definicja tworząca desygnat). Ten problem wydaje się na poziomie mechaniki kwantowej nierozstrzygnięty i zależny od przyjętej interpretacji. Warto zaś zauważyć, że spośród trzech wymienionych wcześniej rodzajów definicji operacyjnej (ilościowa, jakościowa lub wytworzenia desygnatu) dotychczas sformułowane operacyjne definicje czasu są rozumiane wyłącznie jako definicje ilościowe.

UWAGI KOŃCOWE

Operacjonizm od samego początku spotykał się z silną krytyką, nie tylko filozoficzną. Pod jej wpływem szybko się zmieniał, w czym aktywny udział brał sam Bridgman, uczestnicząc często w dyskusji nad statusem poszczególnych postulatów oraz sposobem włączenia operacjonizmu w program metodologiczny poszczególnych dyscyplin (jak choćby psychologii). W konsekwencji niektóre pierwotne poglądy operacjonistyczne albo zostały porzucone, albo znacznie złagodzone. Na brak zgody między samymi operacjonistami co do tego, czym właściwie jest operacjonizm, należy wskazać jako podstawową trudność w jego analizowaniu.

W związku z tą trudnością za porażkę operacjonizmu należałoby uznać to, że nie został powszechnie przyjęty jako program metodologiczny, nawet jeśli poszczególni przedstawiciele nauk szczegółowych kierują się *de facto* jego postulatami. Należy jednak zaznaczyć, że wielu naukowców niechętnie określa swoje poglądy metodologiczne, co jest z pewnością kolejnym utrudnieniem w analizie postulatów operacyjnych. Widać to wyraźnie na przykładzie psychologii, gdzie znaczącą rolę odgrywa operacjonizm Stevensa, choć był silnie krytykowany z punktu widzenia fizyka — Bridgmana (KOCH 1992). Dyskusja nad tym, jak zbieżne są to stanowiska oraz czy były sobą inspirowane, nadal trwa.

W odniesieniu do definicji czasu należy wskazać na dwa poważne problemy, z którymi wiąże się jej operacyjne sformułowanie. Pierwszy z nich ma charakter ogólny i dotyczy fundamentalnej roli doświadczenia w określeniu kryterium równoważności różnych operacji definiujących, co pozbawia operacjonizm jego cechy charakterystycznej, jaką jest postulat definiowania różnych pojęć za pomocą różnych operacji. Jako drugi problem należałoby wskazać to, że operacjonizm nie znajduje zastosowania w sytuacji, gdy teoria nie przewiduje możliwości przeprowadzenia operacji definiującej jakiegoś pojęcia, a tak jest w przypadku (wewnętrznego) czasu układu kwantowego.

Ograniczenia nakładane na operacjonizm przez operacyjną definicję czasu w formalizmie mechaniki kwantowej zarysowują kontekst ewentualnych dalszych badań. Być może sama teoria kwantowa, tak daleka od tego, co laboratoryjnie oczywiste, uniemożliwia odwołanie się do postulatów operacyjnych bez rezygnacji z niemal wszystkiego, co czyni operacjonizm *operacyjnym*. Nie można jednak wykluczyć innej możliwości, mianowicie tego, że teorię kwantów da się pogodzić z operacjonizmem, o ile nieznacznie zmodyfikuje się postulaty tego ostatniego. Rezultat dalszych badań może jednak silnie zależeć od przyjętej interpretacji mechaniki kwantowej, a co za tym, idzie, może uniemożliwić przyjęcie operacjonizmu jako powszechnie akceptowalnego paradygmatu.

PODZIĘKOWANIE

Za inspirację jestem wdzięczny śp. dr. hab. Grzegorzowi Bugajakowi, prof. UKSW, a prof. dr. hab. Tomaszowi Bigajowi dziękuję za cenne uwagi.

REFERENCJE

- AHARONOV, Yakir, Jonathan OPPENHEIM, Sandu POPESCU, B. REZNIK i W.G. UNRUH. 1997. „Measurement of Time-of-Arrival in Quantum Mechanics”. *arXivPhys.Rev. A57 (1998) 4130 9709031v3*.
- ANDERSON, Edward. 2017. *The Problem of Time*. Springer International Publishing.
- AUGUSTYNEK, Zdzisław. 1960. „Einsteinowska definicja równoczesności a operacjonizm”. *Studia Filozoficzne* 4: 79–93.
- BICKHARD, Mark H. 2001. „The Tragedy of Operationalism”. *Theory & Psychology* 11 (1): 35–44.
- BRIDGMAN, Percy W. 1927. *Logic of Modern Physics*. New York: The Macmillan Company.
- BRIDGMAN, Percy W. 1938. „Operational Analysis”. *Philosophy of Science* 5, no. 2: 114–131.
- BRIDGMAN, Percy W. 1945. „Some general principles of operational analysis”. *Psychological Review* 52, no. 5: 246–49.
- BRIDGMAN, Percy W. 1950a. *Reflections of a Physicist*. New York: Philosophical Library.
- BRIDGMAN, Percy W. 1950b. „The operational aspect of meaning”. *Synthese* 8, no. 1: 251–259.
- BRIDGMAN, Percy W. 1954. „Remarks on the Present State of Operationalism”. *The Scientific Monthly* 79, no. 4 (Oct., 1954): 224–226.
- BRIDGMAN, Percy W. 1958. „The Logic of Modern Physics”. *The Philosophical Review* 37 (3): 285.
- BRIDGMAN, Percy W. 1959a. „P. W. Bridgman’s ‘The Logic of Modern Physics’ after Thirty Years”. *Daedalus* 88, no. 3: 518–526.
- BRIDGMAN, Percy W. 1959b. *The Way Things Are*. Harvard University Press.
- BUGAJAK, Grzegorz. 2009. „Własności bytu materialnego”. W: *Tajemnice natury: zarys filozofii przyrody*, red. Grzegorz Bugajak et al., 47–52. Wydawnictwo Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego.
- BUSCH, Paul. 2007. „The Time-Energy Uncertainty Relation”. W: *Time in Quantum Mechanic*, red. Gonzalo Muga, Rafael Sala Mayato i Inigo Egusquiza, 73–105. Springer-Verlag.
- BUTTERFIELD, Jeremy. 2013. „On Time in Quantum Physics”. W: *Blackwell Companion to the Philosophy of Time*, red. Adrian Bardon i Heather Dyke, 220–241. Wiley Online Library.
- HASOK, Chang. 2017. „Operationalism: Old Lessons and New Challenges”. W: *Reasoning in measurement*, red. Nicola Möbner oraz Alfred Nordmann, 25–38. New York: Routledge.
- CHYLIŃSKI, Zygmunt. 1978. „Podstawowe modele teoretyczne fizyki i operacjonizm”. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* I: 12–15.
- ENNIS, Robert H. 1964. „Operational Definitions”. *American Educational Research Journal* 1, no. 3: 183–201.
- FEEST, Uljana. 2005. „Operationism in Psychology: What the Debate Is About, What the Debate Should Be About”. *Journal of the History of the Behavioral Sciences* 41, no. 2: 131–149.
- GALAPON, Eric A. 1999. „Pauli’s Theorem and Quantum Canonical Pairs: The Consistency of a Bounded, Self-Adjoint Time Operator Canonically Conjugate to a Hamiltonian with Non-empty Point Spectrum”. *arXivProc. R. Soc. Lond. A, 458 (2002) 451-472 9908033v4*.

- GALAPON, Eric A. 2003. „What could have we been missing while Pauli’s Theorem was in force?” 2002 1–13.
- GIANNITRAPANI, R. 1997. „Positive-operator-valued Time Observable in Quantum Mechanics”. *International Journal of Theoretical Physics* 36: 1575–1584.
- GISIN, Nicolas, I Emmanuel ZAMBRINI CRUZEIRO. 2018. „Quantum Measurements, Energy Conservation and Quantum Clocks”. *Annalen der Physik* 530:1700388.
- GOTŌ, Tetsuo, Katsuhito YAMAGUCHI i Naoshi SUDŌ. 1981. „On the Time Operator in Quantum Mechanics: Three Typical Examples”. *Progress of Theoretical Physics* 66
- GRABOWSKI, Marian. 1986. „Teorie pomiaru kwantowego – fizyka poszukuje filozofii”. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, VIII: 46–61.
- GRACE, Randolph C. 2001. „On the Failure of Operationism”. *Theory & Psychology* 11, no. 1: 5–33.
- GREEN, Christopher D. 1992. „Of Immortal Mythological Beasts”. *Theory & Psychology* 2, no. 3: 291–320.
- GREEN, Christopher D. 2001. „Operationism again”. *Theory & Psychology* 11, no. 1: 45–51.
- HARDCASTLE, Gary L. 1995. „S. S. Stevens and the Origins of Operationism”. *Philosophy of Science* 62, no. 3: 404–424.
- HELLER, Michał, i Tadeusz PABJAN. 2014. *Elementy Filozofii Przyrody*. Kraków: Copernicus Center Press.
- HEMPEL, Carl G. 1954. „A Logical Appraisal of Operationism”. *The Scientific Monthly* 79, no. 4 215–220.
- HILGEVOORD, Jan. 1996. „The Uncertainty Principle for Energy and Time”. *American Journal of Physics* 64:1451–1456.
- HILGEVOORD, Jan. 2005. „Time in Quantum Mechanics: A Story of Confusion”. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 36: 29–60.
- HORBACZEWSKI, Zbysław. 1988. „Spór o determinizm w mikrofizyce a operacjonizm”. *Acta Universitatis Lodzianensis* 5: 147–155.
- HORWITZ, Lawrence P. 2006. „On the Significance of a Recent Experiment Demonstrating Quantum Interference in Time”. *Physics Letters A* 355, no. 1: 1–6.
- ISIDRO, José M. 2005. „Bypassing Pauli’s theorem”. *Physics Letters A* 334: 370–375.
- KARPIŃSKI, Jakub. 1962. „Postulat operacyjności definicji w naukach społecznych”. *Studia Socjologiczne* 4, no. 7: 135–153.
- KOCH, Sigmund. 1992. „Psychology’s Bridgman vs Bridgman’s Bridgman”. *Theory & Psychology* 2, no. 3: 261–290.
- LEAHEY, Thomas H. 1980. „The Myth of Operationism”. *The Journal of Mind and Behavior* 1, no. 2: 127–143.
- LEAHEY, Thomas H. 2001. „Back to Bridgman?!” *Theory & Psychology* 11, no. 1: 53–58.
- LINDSAY, Robert Bruce. 1937. „A critique of Operationalism in Physics”. *Philosophy of Science* 4, no. 4: 456–470.
- MANDELSTAM, Leonid, i Igor TAMM. 1991. „The Uncertainty Relation Between Energy and Time in Non-relativistic Quantum Mechanics”. In *Selected Papers*, red. Boris M. Bolotovskii, Viktor Ya. Frenkel i Rudilf Peierls, 115–123. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- MAZIERSKI, Stanisław. 1978. „Pojęcie prawdy w fizyce współczesnej”. *Roczniki Filozoficzne* 26, z. 3: 5–19.

- MRUGALSKI, Zdzisław. 2008. *Czas i urzędzenia do jego pomiaru: zegary dawne i współczesne*. Warszawa: Cursor.
- PADMANABHAN, T. 1987. „Limitations on the Operational Definition of Spacetime Events and Quantum Gravity”. *Classical and Quantum Gravity* 4 (4): L107.
- PAULI, Wolfgang. 1980. *General Principles of Quantum Mechanics*. New York: Springer-Verlag.
- PECHENKIN, A. A. 2000. „Operationalism as the Philosophy of Soviet Physics: The Philosophical Backgrounds of L. I. Mandelstam and His School”. *Synthese* 124, no. 3: 407–32.
- PERES, Asher. 1980. „Measurement of time by quantum clocks”. *American Journal of Physics* 48: 552–557.
- PRZEŁĘCKI, Marian. 1955. „O tzw. definicjach operacyjnych”. *Studia Logica: An International Journal for Symbolic Logic* 3: 125–183.
- PRZEŁĘCKI, Marian. 1959. „Operacjonizm”. *Archiwum Historii Filozofii i Myśli Społecznej* 5: 169–86.
- PRZEŁĘCKI, Marian. 1993. „W sprawie obserwacyjnej definiowalności terminów teoretycznych”. *Filozofia Nauki* 2–3 67–76.
- QUINE, Willard Van Orman. 2013. *Word and Object*. MIT Press.
- RIBES-İÑESTA, Emilio. 2003. „What Is Defined in Operational Definitions? The Case of Operant Psychology”. *Behavior and Philosophy* 31 (2003): 111–126.
- ROZDŻEŃSKI, Roman. 1982. „Epistemiczne implikacje tzw. „operacyjnego” rozumienia pojęcia prawdy”. *Studia Philosophiae Christianae* 18 (1): 209–219.
- RUSSELL, Leonard J. 1928. „Review of P. W. Bridgman’s The Logic of Modern Physics”. *Mind* 37: 355–361.
- SCHLOSSHAUER, Maximilian, Johannes KOFLER i Anton ZEILINGER. 2013. „A Snapshot of Foundational Attitudes Toward Quantum Mechanics”. *arXivStud. Hist. Phil. Mod. Phys.* 44, 222–230 (2013) 1301.1069v1.
- SEGAL, Irving E. 1959. „The Mathematical Meaning of Operationalism in Quantum Mechanics” *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics* 27: 341–52. Elsevier.
- SKULIMOWSKI, Marcin. 2002. „Construction of Time Covariant POV Measures”. *Physics Letters A* 297: 129–136.
- STEINBERG, Aephraim M. 2007. „Experimental Issues in Quantum-Mechanical Time Measurement”. W: *Time in Quantum Mechanics*, red. Gonzalo Muga, Rafael Sala Mayato i Íñigo Egusquiza, 305–332. Springer.
- STEVENS, S. S. 1935. „The Operational Definition of Psychological Concepts”. *Psychological Review* 42, no. 6: 517–527.
- VESSONEN, Elina. 2021. „Respectful Operationalism”. *Theory & Psychology* 31, no. 1: 84–105.
- WANG, Zhi-Yong, i Cai-Dong Xiong. 2007. „How to Introduce Time Operator”. *Annals of Physics* 322: 2304–2314.
- WASSERMAN, Ira, i Kenneth BRECHER. 1978. „Time Invariance of Planck’s Constant”. *Physical Review Letters* 41, no. 14: 920–923.
- WEBB, J. K., J. A. KING, M.T. MURPHY, V. V. FLAMBAUM, R.F. CARSWELL i M.B. BAINBRIDGE. 2010. „Indications of a Spatial Variation of the Fine Structure Constant”. *arXivPhys. Rev. Lett.*, 107, 191101, 2011 1008.3907v2.

KRYTYKA OPERACJONIZMU
Z UWZGLĘDNIENIEM OPERACYJNEJ DEFINICJI CZASU

Streszczenie

W artykule omówiono ważniejsze argumenty przeciw operacjonizmowi Percy'ego W. Bridgmana sformułowane na przestrzeni ostatnich dekad oraz przedyskutowano operacyjne sposoby definiowania czasu w mechanice klasycznej oraz nierelatywistycznej mechanice kwantowej. O ile w mechanice klasycznej nie napotyka się większych trudności w sformułowaniu operacyjnej definicji czasu, o tyle w formalizmie teorii kwantowej zadanie to staje się niemożliwe. Co, niezależnie od dyskusyjnego statusu czasu w mechanice kwantowej, prowadzi do ogólniejszego pytania, czy można pogodzić mechanikę kwantową z podejściem operacyjnym.

Słowa kluczowe: operacjonizm; operacyjna definicja; Bridgman; definicja czasu; operacyjna definicja czasu; mechanika kwantowa; problem czasu

CRITIQUE OF OPERATIONALISM
INCLUDING THE PROBLEM OF THE OPERATIONAL DEFINITION OF TIME

Summary

The article discusses concerns against Percy W. Bridgman's operationalism raised within the last few decades and analyses possibilities of defining the operational definition of time in classical and quantum mechanics. Although it seems unproblematic in the classical case, in quantum mechanics, this task seems to be impossible. It leads to a major question of whether quantum mechanics and operationalism can be reconciled.

Keywords: operationalism; operational definition; Bridgman; definition of time; operational definition of time; quantum mechanics; problem of time

Information about the Author: JAKUB RÓG, MA — University of Warsaw, Faculty of Philosophy, Department of Philosophy of Science; correspondence address: Department of Philosophy of Science (room 104), ul. Krakowskie Przedmieście 3, 00-047 Warszawa; e-mail: j.rog2@uw.edu.pl; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8032-128X>.