

Adam Szymański

Aria Heisenberga (I)

O negatywnych skutkach akcentowania zasady nieoznaczoności w wykładzie teorii atomu

Łatwiej jest być fizykiem, uzyskać właściwą wiedzę fizyczną, niż powiedzieć, co się właściwie robi, uprawiając fizykę.

Carl Friedrich von Weizsäcker¹

Między operą a nauką dostrzec można kilka niekoniecznie pozytywnych, aczkolwiek interesujących podobieństw. Nie sposób, dajmy na to, nie zauważyć, że znajomość zarówno dorobku pierwszej, jak i najnowszych osiągnięć drugiej pozostaje udziałem wyjątkowo niewielkiej części społeczeństwa. Znawstwo w obu przypadkach zyskuje tym samym znamiona elitarności², ignorancja zaś w żadnym razie nie staje się powodem do wstydu³. W dobrym tonie pozosta-

¹ C. F. von Weizsäcker, *Jedność przyrody*, tłum. K. Napiórkowski, J. Prokoپیuk, H. Tomasik, K. Wolicki, Warszawa 1978, s. 129.

² Zob. A. Finkelsztein, *Języki nauki i sztuki*, tłum. E. Milewska-Zonn, [w:] W. Zonn, A. Finkelsztein, *O nauce*, Warszawa 1977, s. 149n.

³ Wyjątkowo dojmująca pod tym względem jest diagnoza Zdzisława Pogody, który analizując stosunek przeciętnego człowieka do matematyki, stwierdza m.in., że obecnie wręcz „w dobrym tonie jest obnosić się z brakiem wykształcenia matematycznego”. Ignorancja w tym przypadku należy bowiem – jak celnie zauważa autor – do „podstawowego wykształcenia tak zwanego «humanisty»” (Z. Pogoda, *Popularyzacja matematyki – rola mediów. Impresje*, [w:] *Nauka a kultura masowa*, red. M. Heller, J. Mączka, P. Polak, M. Szczerbińska-Polak, Kraków–Tarnów 2009, s. 86). Por. M. Tałasiewicz, *Rola nauki w kulturze i dyskursie publicznym*, [w:] *Na-*

je jednak rozpoznawanie choćby niektórych arii czy pojęć naukowych. Tzw. obycie, czy wręcz snobizm, zyskuje tym samym – mimo negatywnych konotacji tego wyrażenia – pewne pozytywne konsekwencje: wzmaga zainteresowanie wspomnianymi dziedzinami⁴. Niestety, ma jednak również pewne niekorzystne, choć nie zawsze widoczne na pierwszy rzut oka implikacje: niezbyt wysoko pozycjonuje standardy znawstwa opery i nauki, co nierzadko uniemożliwia ich właściwą recepcję.

Dostępne na rynku nośniki upowszechniające dorobek operowy są zazwyczaj arbitralnie skomponowanym zestawem słynnych arii, stanowiących fragmenty różnych oper. Efektem tego jest więc co najwyżej znajomość, często nieświadoma, tychże fragmentów przy jednoczesnym braku zorientowania w fabule konkretnych oper. To z kolei obniża wartość wiedzy zdobywanej w ten sposób. Na podstawie pojedynczej arii nie sposób przecież dokonać wiernej rekonstrukcji pełnego zamysłu kompozytora. Co więcej, w wielu przypadkach fragment niekoniecznie stanowi dobrą reprezentację dla danej opery, przez co słynna aria tym bardziej może sugerować całkowicie nieadekwatne rozumienie całości⁵. Z drugiej strony, bez znajomości fabuły – o tradycji operowej nie wspominając⁶ – trudno właściwie zinterpretować jakikolwiek, nawet najbardziej popular-

uka a kultura masowa, dz. cyt., s. 19; R. P. Feynman, *Jaka jest i jaka powinna być rola kultury naukowej we współczesnym społeczeństwie*, [w:] tegoż, *Przyjemność poznawania*, tłum. K. Karpińska, Warszawa 2005, s. 96.

⁴ W przypadku nauki niektórzy sugerują zatem promowanie tego rodzaju snobizmu. Zob. M. Tałasiewicz, *Rola nauki w kulturze...*, dz. cyt., s. 19.

⁵ Uciekając się do przykładów, za względnie dobrą reprezentację opery można uznać słynną partię *Vesti la giubba* z *Pajaców* Ruggiera Leoncavalla; w dużej mierze oddaje wszak ona charakter i istotę wspomnianej opery. Większość najbardziej znanych arii posiada jednak swoistą autonomię, przez co – jak zauważa Jarosław Mianowski – „lokują się [one] niejako poza widowiskiem” i jako takie niekoniecznie stanowią dobrą podstawę do wyciągania wniosków *à propos* macierzystej opery. Świetnym przykładem takiej właśnie arii jest choćby *Chór Cyganów* z II aktu *Trubadura* Giuseppe Verdiego. Zob. J. Mianowski, *W stronę historiozofii opery*, [w:] *Bliżej opery. Twórcy – dzieła – konteksty*, red. J. Mianowski, R. D. Goliańek, Toruń 2010, s. 17.

⁶ Zob. A. S. Garlington, jr., *Opera*, „The Musical Quarterly” 1982, Vol. 68, No. 2, s. 238n.

ny jej element. Kompromis, na jaki poszli popularyzatorzy opery, wydaje się być zatem zbyt duży.

W przypadku wydawnictw popularno-naukowych sytuacja nie jest aż tak dramatyczna, jednak i na tym polu można zauważyć analogiczne zjawisko. Chcąc przybliżyć laikowi zagadnienia naukowe, autorzy kroją je na miarę ambicji i umiejętności przeciętnego odbiorcy, ułatwiając niewtajemniczonym zrozumienie i przyswojenie osiągnięć współczesnej nauki. Choć w żadnym wypadku nie można popularyzatorom nauki czynić z tego powodu zarzutu – na tym wszak popularyzacja polega⁷ – niezbyt fortunnym efektem takich praktyk bywa nierzadko nadmierne upraszczanie zagadnień polegające na zbyt silnym akcentowaniu konkretnych teorii i marginalizowaniu – by użyć sformułowania Poppera – sytuacji problemowej lub teorii starszych, stanowiących często bezpośrednie koncepcyjne podłoże do sformułowania tych powszechnie znanych. W wykładzie akademickim, niepozbawionym skomplikowanej, lecz właściwej – matematycznej – eksplikacji teorii naukowych, zabieg taki niekoniecznie należałoby uznać za naganny⁸. W przypadku wykładów popularnych – z założenia rezygnujących z wyczerpującej, *stricte* naukowej narracji – odcinanie się od kontekstu odkrycia danych teorii naukowych pozbawia jednak odbiorców szansy na ich lepsze zrozumienie. Biorąc z kolei pod uwagę, że popularna wykładnia pozostaje nierzadko podstawą filozoficznej analizy niektórych zagadnień przyrodniczych⁹, trudno ów problem uznać za trywialny.

⁷ J. Kozłowski, *Upowszechnianie nauki*, [w:] *Co wiemy o nauce? Polska a kraje Unii europejskiej*, red. I. Białecki, Warszawa 2003, s. 30.

⁸ Postęp naukowy ma wszak ogólnie biorąc charakter kumulatywny: wszelkie zatem formuły zawierają w sobie pierwotne założenia (teorie, z których je wyprowadzono). Z tego choćby względu nauczanie historii nauki, a więc rozważań dotyczących kontekstu odkrycia (czyli m.in. sytuacji problemowej), uważa się za zbyt ciche w programach nauczania fizyki. Zob. B. Suchodolski, *Historia nauki jako czynnik wychowania nowoczesnego człowieka*, [w:] *O nauczaniu historii nauki*, red. W. Osińska, Gdańsk 1974, s. 53n. Por. A. Finkelsztejn, *Języki nauki i sztuki*, dz. cyt., s. 147n.

⁹ Zob. M. Tempczyk, *Granice i pułapki popularyzacji nauki*, [w:] *Nauka a kultura masowa*, dz. cyt., s. 93.

W niniejszej pracy postaramy się uwidocznić pewne negatywne konsekwencje wspomnianych praktyk na przykładzie zasady nieoznaczoności Heisenberga. Z kilku względów – o których mowa w rozdziale 1. – stanowi ona wyjątkowy przykład teorii nazbyt faworyzowanej przez popularyzatorów mechaniki kwantowej. Nawiązując do wyłuszczonych na początku podobieństw między nauką a operą, zasadę Heisenberga można tym samym określić mianem najsłynniejszej „arii” teorii atomu. Porównanie to wydaje się tym bardziej trafne, że jej wyjątkowa popularność i wieloletnie „odgrywanie” w niemal każdej pozycji popularno-naukowej niekoniecznie przekłada się zarówno na właściwe zrozumienie jej samej, jak i znajomość „kwantowej opery”. Prezentowanie zasady nieoznaczoności bez wskazania jej związku z istniejącym wcześniej aparatem matematycznym mechaniki kwantowej może wszak fundować – o czym w rozdziale 2. – pewne fałszywe o niej jako teorii atomu wyobrażenia, których można by uniknąć poprzez zwrócenie uwagi czytelnika na teoretyczne podstawy zasady Heisenberga. Zabieg taki wykraczałby jednak poza konwencję wykładu popularno-naukowego i wymagałby znajomości skomplikowanego aparatu matematycznego; to zaś nierzadko przekracza kompetencje nawet niektórych fizyków¹⁰. Popularna prezentacja dorobku Heisenberga i mechaniki kwantowej nie jest jednak, jak sądzę, z góry skazana na niepowodzenie czy konieczność odwoływania do niezbyt szczęśliwych obrazów poglądowych. Moim zdaniem – i to pozostaje zasadniczą tezą rozpoczętych w niniejszym artykule rozważań – choć ściśle nawiązanie do kontekstu jest konieczne, niekoniecznie musi chodzić o *kontekst uzasadnienia* (w tym przypadku formalizm mechaniki kwantowej). **Doskonałym drogowskazem do właściwego rozpoznania statusu zasady Heisenberga i przyswojenia idei nieoznaczoności jest** – o czym postaram się przekonać w następnej, drugiej części artykułu – **sam kontekst odkrycia Heisenberga**. Okoliczności sformułowania zasady nieoznaczono-

¹⁰ Z tego choćby względu, przez relatywnie długi czas, rezygnowano z wykładów teorii atomu nawet na kierunkach fizycznych. Zob. R. P. Feynman, *Czym jest nauka?*, [w:] tegoż, *Przyjemność poznawania*, dz. cyt., s. 152.

ści i właściwie zrekonstruowana chronologia wydarzeń z 1927 roku stanowią bowiem perspektywę, w której sens „arii Heisenberga” zdaje się być możliwy do uchwycenia nawet przez nieobdarzonego dobrym „słuchem” laika.

1. Nieoznaczoność jako punkt wyjścia wykładu

Przedstawione przez Wernera Heisenberga (1901–1976) w artykule *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*¹¹ (*O percepcyjnej warstwie teoretycznej kinematyki i mechaniki kwantowej*) tzw. relacje nieoznaczoności uchodzą do dziś za „centralny” (Stefan Amsterdamski¹²) i „być może najważniejszy” (John Gribbin¹³) element teorii kwantów¹⁴, a nierzadko nawet za „podstawowe prawo przyrody” w ogóle¹⁵. Jako bez wątpienia najbardziej znane prawidło obowiązują-

¹¹ Opublikowanym w „*Zeitschrift für Physik*” [dalej: ZfP], 1927, Bd. 43, s. 172–198.

¹² S. Amsterdamski, *Posłowie*, [w:] W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, tłum. S. Amsterdamski, Warszawa 1965, s. 218.

¹³ J. Gribbin, *W poszukiwaniu kota Schrödingera. Realizm w fizyce kwantowej*, tłum. J. Bieroń, Poznań 1997, s. 148.

¹⁴ Jako pierwszy – już dwa miesiące po opublikowaniu artykułu Heisenberga – w podobny sposób zasadę nieoznaczoności wyróżnił Earl Hesse Kennard, określając ją mianem „**rdzenia nowej teorii** [kwantowej]” (*der eigentliche Kern der neuen Theorie*). Zob. E. H. Kennard, *Zur Quantenmechanik einfacher Bewegungstypen*, ZfP, 1927, Bd. 44, s. 337; podają za: M. Jammer, *The Indeterminacy Relations*, [w:] tegoż, *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York 1974, s. 59. Por. J. Hilgevoord, J. Uffink, *The Uncertainty Principle*, [w:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2014 Edition), ed. E. N. Zalta, <http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/> (6.07.2014).

¹⁵ Zob. G. Gamow, *Zasada niepewności*, [w:] *Mezony, grawitacja, antymateria*, wybór i oprac. K. Majewski, tłum. K. i W. Majewscy, Warszawa 1962, s. 13; B. Gawecki, *Konsekwencje filozoficzne indeterminizmu w fizyce współczesnej*, „Przegląd Filozoficzny” [dalej: PF], R. 34, 1931, z. 1, s. 8. Por. D. C. Cassidy, *Heisenberg, Uncertainty and the Quantum Revolution*, [w:] *Quantum Mechanics: Science and Society*, ed. P. Galison, M. Gordin, D. Kaiser, New York 2001, s. 146. Por. S. Butryn, *O naturze zasady nieoznaczoności Heisenberga i idei „Boga od zapychania dziur”*,

jące w świecie mikroobiektów¹⁶ stanowią one zarazem swoiste *signum* mechaniki kwantowej jako takiej. Co więcej, mimo że zasada ta stanowi jedynie fragment twórczości naukowej Heisenberga, także nazwisko fizyka jest powszechnie kojarzone przede wszystkim z jej powodu¹⁷. Nie tylko dlatego, że sformułowanie jej przyniosło mu ostatecznie nagrodę Nobla (1932)¹⁸, czy z uwagi na wpływ, jaki wywarła na kierunek rozwoju fizyki atomu¹⁹. Zasada nieoznaczoności miała również – z czego zdawano sobie sprawę od początku – bardzo ciekawe i nietrywialne filozoficzne implikacje odnośnie do zagadnienia przyczynowości i teorii poznania, a nade wszystko wyjątkowe, zważywszy na specyfikę zjawisk kwantowych, walory pogładowe. Trudno byłoby się zatem dziwić, że większość popularnych i, jak się okazuje, wiele naukowych opracowań dotyczących mechaniki kwantowej (czy samego Heisenberga) rozpoczyna się od przedstawienia zasady nieozna-

[w:] *Filozoficzne i naukowo-przyrodnicze elementy obrazu świata*. 7, red. A. Latawiec, G. Bugajak, Warszawa 2008, s. 124.

¹⁶ **Teoretycznie** rzecz biorąc, zasada nieoznaczoności dotyczy nie tylko obiektów subatomowych, ale również znacznie większych, makroskopowych ciał. Z praktycznego punktu widzenia klasyczną teorię można jednak uważać za właściwy opis takich układów. Zob. R. Eisberg, R. Resnick, *Fizyka kwantowa atomów, cząsteczek, ciał stałych, jąder i cząstek elementarnych*, tłum. D. Blocka-Śledziwska, Warszawa 1983, s. 88; A. Pais, *Czas Nielsa Bohra: w fizyce, filozofii i polityce*, tłum. P. Amsterdamski, Warszawa 2006, s. 296.

¹⁷ Wymownym tego świadectwem pozostaje choćby wydany przez Deutsche Post AG w 2001 roku – z okazji setnej rocznicy urodzin Heisenberga – **znaczek**, na którym obok nazwiska i wizerunku fizyka umieszczono słynny wzór wyrażający relację nieoznaczoności. Zob. M. A. Morgan, *A Postage Stamp History of the Atom. Part II: The Quantum Era*, „Philatelia Chimica et Physica” 2006, Vol. 28, No. 1, s. 40. Por. D. C. Cassidy, *Heisenberg, Uncertainty...*, dz. cyt., s. 146.

¹⁸ Zob. Z. Strugalski, *O zasadzie nieoznaczoności Wernera Heisenberga*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” R. 24, 1979, z. 2, s. 358, 364. Gwoli ścisłości: formalnym uzasadnieniem wyróżnienia Heisenberga przez komitet noblowski było „stworzenie mechaniki kwantowej, zastosowanie której doprowadziło, *inter alia*, do odkrycia alotropowych form wodoru” (*The Official Web Site of the Nobel Prize*, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/ [6.07.2014]); zob. A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, Warszawa 2009, s. 584. Por. B. Hoffmann, *Niezwykła historia kwantów*, tłum. J. Szyleman, Warszawa 1965, s. 111.

¹⁹ Zob. Z. Strugalski, *O zasadzie nieoznaczoności...*, dz. cyt., s. 355.

czoności i omówienia w pierwszym rządzie konsekwencji słynnego wzoru: $\Delta x \Delta p_x \geq h/2\pi$.

Głównym inicjatorem tego trendu był – jak zauważa Jammer i Gribbin²⁰ – **Wolfgang Pauli** (1900–1958). Ów wieloletni przyjaciel²¹ Heisenberga i – wedle sugestii Ch. Franka²² – jego najwartościowszy korespondent, jako pierwszy opracowując temat mechaniki kwantowej w dużej i znanej encyklopedii²³, zaczął od zasady nieoznaczoności i, chcąc nie chcąc²⁴, wyznaczył taki, a nie inny standard dla całej generacji podręczników. Już w 1928 roku za jego przykładem poszedł wszak Hermann Weyl w swym *Gruppentheorie und Quantenmecha-*

²⁰ Zob. M. Jammer, *The Indeterminacy Relations*, dz. cyt., s. 59; J. Gribbin, *W poszukiwaniu kota Schrödingera*, dz. cyt., s. 150.

²¹ Choć nikt nie wątpi w zażyłość relacji obu fizyków, jej status ocenia się różnie. Heisenberg poznał Pauliego, mając 18 lat i do końca jego życia utrzymywali wzajemny kontakt. Zdaniem Manjita Kumara, ze względu na różnice temperamentów i prywatnych zainteresowań, relacje te nie przerodziły się jednak w bliższą osobistą przyjaźń, lecz pozostały na poziomie „**profesjonalnej znajomości**”. Zob. M. Kumar, *Kwantowy świat. Einstein, Bohr i wielki spór o naturę rzeczywistości*, tłum. U. i M. Seweryńscy, Warszawa 2012, s. 227n.

²² Zob. Ch. Frank, *An Uncertain Life*, „Notes and Records of the Royal Society of London” 1994, Vol. 48, No. 1, s. 148.

²³ Zob. W. Pauli, *Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik*, [w:] *Handbuch der Physik*, Hg. H. Geiger, K. Scheel, Vol. 24, Berlin 1933, 2nd ed., s. 83–272; podają za: M. Jammer, *The Indeterminacy Relations*, dz. cyt., s. 59.

²⁴ Niezależnie od wielu powodów, dla których Pauli mógł czy nawet chciał nadać zasadzie nieoznaczoności status pierwszoplanowej zasady mechaniki kwantowej, pewien wpływ (na ile istotny, trudno rozstrzygnąć) na postawę fizyka mogła mieć wieloletnia **przyjaźń** z Heisenbergiem i **wrażenie**, jakie wywarły na nim relacje nieoznaczoności (te Heisenberg zreferował Pauliemu w prywatnym liście, kilka tygodni przed ich opublikowaniem). Zob. W. Heisenberg, *Część i całość. Rozmowy o fizyce atomu*, tłum. K. Napiórkowski, Warszawa 1987, s. 108. Por. *February 1927: Heisenberg’s Uncertainty Principle*, <http://www.aps.org/publications/apsnews/200802/physics/history.cfm> (6.07.2014).

Warto wspomnieć, że nie tylko w tym przypadku Pauli wyjątkowo emocjonalnie reagował na odkrycia swego przyjaciela. Mechanika macierzowa Heisenberga, po okresie „strasznego zamieszania” i kryzysu ówczesnej fizyki, zwróciła mu – jak to nieco egzaltowanie ujął – „**nadzieję i radość życia**” oraz wiarę, „że można posuwać się naprzód” (cyt. za: T. S. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*, tłum. H. Ostromecka, Warszawa 1968, s. 101). Por. D. Danin, *Rewolucja kwantowa*, tłum. Z. Ajduk, Warszawa 1990, s. 132–134, 147n.

nik²⁵, a za nim następni; m.in. – jak podaje Jammer²⁶ – Arthur March (1931), Hendrik Anthony Kramers (1937), Saul Dushman (1938), Lew D. Landau i Jewgienij M. Lifshitz (1947), Leonard Isaac Schiff (1949) czy David Bohm (1951)²⁷. Epigonów Pauliego i Weyla nietrudno zresztą znaleźć także obecnie²⁸. Podręcznikowa moda rozpoczynania opracowań mechaniki kwantowej od zasady nieoznaczoności, legitymizowana przez znamienite nazwiska, w naturalny sposób wkradła się bowiem do uniwersyteckich programów nauczania teorii atomu. Te zaś siłą rzeczy kształtowały kolejnych fizyków, autorów przyszłych publikacji. Tak oto, poprzez kopiowanie metodą „nożyczek i kleju”²⁹ osobliwego wzorca z hasła encyklopedycznego, nieoznaczoność wyrosła na pierwszoplanową zasadę mechaniki kwantowej.

Wyróżniona w ten sposób stała się jednym z najbardziej popularnych elementów mechaniki kwantowej³⁰, do którego nawiązywano często także w publikacjach niemających nic wspólnego z fi-

²⁵ Zdaniem Gribbina Weyl – kolega Pauliego – rozpoczął wspomniany podręcznik od zasady nieoznaczoności bezpośrednio pod wpływem tego ostatniego. Zob. J. Gribbin, *W poszukiwaniu kota Schrödingera*, dz. cyt., s. 150. Por. M. Jammer, *The Indeterminacy Relations*, dz. cyt., s. 59.

²⁶ Zob. tamże.

²⁷ Do powyższej listy można dopisać również Arthura Eddingtona. Czytając jego *New Pathways in Science* (1935), można się przekonać, że i on przedstawia mechanikę kwantową w kontekście nieoznaczoności. Wymownym tego świadectwem pozostaje choćby sam tytuł rozdziału, w którym autor podejmuje rozważania na ten temat: *Nieoznaczoność i teoria kwantów*. Zob. A. Eddington, *Nauka na nowych drogach*, tłum. S. Szczeniowski, Warszawa 1937, s. 96–114.

²⁸ Zob. np.: Q. Ho-Kim, N. Kumar, Chi-Sing Lam, *Zaproszenie do fizyki współczesnej*, tłum. Z. Jacyna-Onyszkiewicz, Poznań 1995, s. 445n.

²⁹ Autor powyższego sformułowania – R. G. Collingwood – określał nim w istocie podobne (lecz odnoszące się do źródeł) praktyki historiograficzne. Zob. J. Topolski, *Wprowadzenie do historii*, Poznań 1998, s. 55.

³⁰ Pewną rolę w spopularyzowaniu zasady Heisenberga miało niewątpliwie również bezpośrednio odwoływanie się do niej przez kosmologów. Dzięki nim (w tym m.in. poczytnemu Stephenowi Hawkingowi) stała się ona zasadniczą przesłanką kilku wzbudzających niemalże zainteresowanie hipotez i teorii kosmologicznych (m.in. związanych z koncepcjami próżni kwantowej, fluktuacji kwantowych, kwantowych koncepcji pola grawitacyjnego czy rozważań dotyczących czarnych dziur). Zob. A. Szczuciński, *Zasada nieoznaczoności. Ograniczenie, czy rozszerzenie możliwości poznawczych?*, [w:] *Z epistemologii wiedzy naukowej*, red. J. Such, M. Szczeciński, Poznań 1998, s. 154–158.

zyką³¹. Niczym wyjątkowo znana aria, pozostająca w największym stopniu rozpoznawalnym elementem konkretnej, nierzadko mało znanej opery, popularne sformułowanie zasady Heisenberga i jej interpretacje stały się w efekcie – przynajmniej w powszechnej świadomości – bardziej znane niż mechanika kwantowa *in toto*. Niestety, ze szkodą dla właściwego zrozumienia zarówno samej zasady, jak i całej teorii atomu. O ile bowiem rozpoczynanie wykładu od słynnego odkrycia Heisenberga – mimo jawnego pogwałcenia chociażby chronologii zdarzeń towarzyszących jej odkryciu – nie jest i *nie musi* być do końca bezzasadne i błędne, o tyle *może* prowadzić do – jak się zresztą okazało – zupełnie niepotrzebnych nieporozumień.

2. Konsekwencje wyróżnienia

Zadanie nasze nie polega na formułowaniu **życzeń** dotyczących tego, jakie powinny być zjawiska mikroświata, lecz na ich **zrozumieniu**.

Werner Heisenberg³²

Szacując możliwości zrozumienia mechaniki zjawisk subatomowych, znający zagadnienie fizycy nie wykazywali się nigdy zbyt dużym optymizmem, nawet względem własnego środowiska. Feynman (laureat Nagrody Nobla za prace z elektrodynamiki kwantowej) przekonywał wręcz, że z całą pewnością można stwierdzić, „że nikt nie rozumie mechaniki kwantowej”³³. Niewątpliwie najmniejsze szanse na to mają jednak przeciętni odbiorcy. Ich znajomość zagadnień naukowych kształtowana jest wszak zazwyczaj jedynie przez źródła popularno-naukowe, których autorzy – jak wspomnianym³⁴ – siłą rzeczy dopuszczają się pewnych uproszczeń. Najczęst-

³¹ Nawiązania te mają zwykle charakter metafory czy symbolu. Zob. np. A. Bielik-Robson, *Słowo i trauma: czas, narracja, tożsamość*, [w:] *Formy reprezentacji umysłowych*, red. R. Piłat, S. Wróbel, Warszawa 2006, s. 173.

³² W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 126.

³³ Zob. M. Kumar, *Kwantowy świat*, dz. cyt., s. 422n.

³⁴ Zob. przypis 7.

sze z nich polega zaś na rezygnacji z tłumaczenia, czy choćby prezentowania, skomplikowanego formalizmu teorii, co w przypadku prób zmierzenia się z mechaniką kwantową jest niewątpliwie wyjątkowo dużą stratą.

Przeciętny czytelnik, chcący poznać dorobek fizyków kwantowych, jest jednak gotowy, a prawdę mówiąc zmuszony, taką stratą ponieść i raczej świadomie zwalnia się z „przyjemności” wniknięcia w stosowany przez nich aparat matematyczny. Pójście na taki kompromis nie sposób jednakowoż uznać za nieusprawiedliwione – formalizm mechaniki kwantowej jest faktycznie skomplikowany i – jak się wydaje – zasługuje na spotykane czasem kolokwialne miano chińszczyzny³⁵. Co zaskakujące, niekoniecznie jedynie ze względu na trudność w zrozumieniu obu języków.

Specyfiką języka chińskiego jest stosowanie jednej formy zapisu, która jednakże nie uwzględnia różnic w wymowie. W efekcie, mimo iż graficzna reprezentacja danego słowa jest zrozumiała dla wszystkich użytkowników języka (niezależnie od dialektu), jej interpretacja fonetyczna może się różnić często tak dalece, że rozmowa między osobami posługującymi się różnymi dialektami staje się zupełnie bezowocna³⁶. Z analogiczną sytuacją mamy do czynienia w mechanice kwantowej. Niemal każda próba egzegezy jej języka, czyli artykulacja formalizmu stosowanego w teorii atomu, prowadzi do mniejszych lub większych nieporozumień. O ile więc zasadniczo na poziomie formalnym istnieje zgoda co do treści³⁷, o tyle na poziomie jej interpretacji (fizycznej, a w istocie często filozoficznej) powstają całkiem poważne rozbieżności.

Próba interpretacji relacji nieoznaczoności ufundowała bodaj największe sprzeczności. Odkrycie Heisenberga stało się w konsekwencji wyjątkowo silnym katalizatorem sporów między fizykami i filozofami, którzy zwykle w bardzo sugestywny sposób prezento-

³⁵ Zob. *Dwie wieże na zgłiszczach (I)*, <http://3obieg.pl/dwie-wieze-na-zgliszczach-i> (6.07.2014).

³⁶ Por. *History of Chinese Writing System*, <http://www.char4u.com/content/history-of-chinese-writing-system/> (6.07.2014); S. Johnson, *What is the Chinese language?*, <http://www.economist.com/blogs/johnson/2011/12/chinese> (6.07.2014).

³⁷ Por. R. Eisberg, R. Resnick, *Fizyka kwantowa...*, dz. cyt., s. 101.

wali swoje „artykulacje”. Zarówno jedni, jak i drudzy dawali przy tym popis kunsztu retorycznego, ale – na co zwraca uwagę Andrzej Staruszkiewicz – nierzadko również „braku jasności pojmowania naukowego”³⁸, co niestety zaowocowało publikacjami, spośród których wiele – jak sugeruje Staruszkiewicz – śmiało można by uznać za produkt „dziennikarstwa udającego fizykę”³⁹; w każdym razie nie efekt odpowiedzialnej i rzetelnej refleksji. Fakt ów bez wątpienia nie może sprzyjać zrozumieniu doniosłości nie tylko zasady nieoznaczoności, ale i całej mechaniki kwantowej. Fizycy dysponują jednakże „zapisem” dorobku twórców teorii atomu, dzięki czemu mogą rozpoznać pewne nadużycia interpretacyjne i, dzięki znajomości formalizmu, nadać rozważaniom właściwszy charakter. „Niepiśmienni” laicy pozbawieni są jednak tej szansy.

Zasadę nieoznaczoności poznają w istocie zawsze – i w najlepszym przypadku – „z drugiej ręki”, często poprzez jej skrajne „artykulacje”. Rozpoczynanie wykładu mechaniki kwantowej od kontrowersyjnej (z punktu widzenia interpretacji) zasady nieoznaczoności – szczególnie w przypadku pozycji popularyzatorskich – siłą rzeczy angażuje czytelnika w rozważanie rozmaitych interpretacji, co, choć niewątpliwie stanowi dość ciekawą przygodę intelektualną, niekoniecznie przyczynia się do właściwego zrozumienia odkrycia Heisenberga. Poniżej ograniczam się do przedstawienia jedynie dwóch z nich, choć – jak można przypuszczać – listę błędnych „artykulacji” zasady nieoznaczoności można by jeszcze uzupełnić.

2.1. Humanizacja obserwatora

[I think t]hat it is not right to tell the public that a **central role for consciousness** is integrated into modern physics.

John S. Bell⁴⁰

³⁸ A. Staruszkiewicz, *Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej*, „Foton” 2008, nr 100, s. 21.

³⁹ Tamże, s. 20. Do autorów tego rodzaju pozycji Staruszkiewicz zalicza m.in. E. Wignera. Por. przypis 56.

⁴⁰ J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, (1987); cyt. za: M. Nauenberg, *Critique of „Quantum Enigma: Physics Encounters Con-*

Zasada nieoznaczoności, jak wiadomo, uwidoczniała konieczność innego niż w fizyce newtonowskiej postrzegania doświadczenia naukowego. Okazało się, że w przypadku obserwacji zjawisk kwantowo-mechanicznych mamy w istocie do czynienia z tzw. *sytuacją obserwacyjną* (*Beobachtungssituation*), w której – jak zwykle się to określać – zanegowane zostają klasyczne wyobrażenia o naturalnej rozdzielności podmiotu i przedmiotu obserwacji. Heisenberg dowiódł wszak, że na poziomie subatomowym „doświadczenie”, czy raczej „wynik doświadczenia”, siłą rzeczy uwzględnia ingerencję obserwatora – konkretnie zaś urządzenia pomiarowego (a ostatecznie fotonu) – w badany układ, przez co obserwowane zjawisko przestaje być niezależnym zjawiskiem. Inaczej niż dotychczas – jak pisze Wolicki⁴¹ – doświadczenie ujmuje zatem podmiot i przedmiot w jedną całość, zaś do jego opisu należy m.in. wiedza, jaką podmiot ma o przedmiocie⁴². Heisenberg doskonale zdawał sobie sprawę, że tego rodzaju konstatacja wymagała od fizyków istotnej zmiany struktury myślowej. Szczególnie mocno zelektryzowała ona również, jeśli nie przede wszystkim, filozofów. Zwłaszcza dla nich zasada nieoznaczoności stała się asumptem do rozmaitych spekulacji⁴³, ich finałem są z kolei kuriozalne **wnioski, jakoby odkrycie He-**

sciousness”, <http://link.springer.com/article/10.1007/s10701-007-9179-8#page-1> (6.07.2014), s. 3.

⁴¹ Zob. W. Heisenberg, *Ponad granicami*, dz. cyt., s. 255n.

⁴² Warto dodać, że – co podkreślał sam Heisenberg – z tak rozumianą *sytuacją obserwacyjną* mamy do czynienia już w przypadku termodynamiki statystycznej w ujęciu J. W. Gibbsa (1839–1903). Zob. tamże. Por. A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, dz. cyt., s. 358n.

⁴³ Opisywał je m.in. Reichenbach, trafnie wskazując, że: „[s]ome philosophers, and some physicists as well, have interpreted Heisenberg’s statement as the confirmation, in terms of physics, of traditional philosophical ideas concerning the influence of the perceiving subject on its percepts. They have iterated this idea by seeing in Heisenberg’s principle a statement that the subject cannot be strictly separated from the external world and that the line of demarcation between subject and object can only be arbitrarily set up; or that the subject creates the object in the act of perception; or that the object seen is only a thing of appearance, whereas the thing in itself forever escapes human knowledge; or that the things of nature must be transformed according to certain conditions before they can enter into human consciousness, etc.” (H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Mineola, NY 1998, s. 15).

isenberga i mechanika kwantowa jako taka legitymizowała różne formy znanego z historii filozofii idealizmu.

Konkluzje tego rodzaju były, z czym nie sposób się nie zgodzić⁴⁴, poważnym nadużyciem. Nie tyle jednak od strony formalnej (można wszak dopuścić w filozofii inspirację właściwie rozumianym odkryciem naukowym), ile przede wszystkim materialnej, bo – na co zwraca uwagę m.in. Hans Reichenbach⁴⁵ – wynikały one głównie z błędnego rozumienia zamysłu Heisenberga. Owo nieporozumienie z kolei było efektem tego, że zasadę nieoznaczoności tłumaczono nie w kontekście surowej charakterystyki pomiaru zjawisk kwantowych za pomocą mikroskopu, lecz na gruncie barwnie spreparowanych, tradycyjnych założeń o charakterze filozoficznym. „Podmiotowi”, mechanicznie lub życzeniowo, przypisywano zatem konotacje zarówno obce nowoczesnej fizyce, jak i inne niż zakładał Heisenberg, rozwijając wątek obserwacji zjawisk kwantowych. W konsekwencji nazbyt wyolbrzymiono faktyczną rolę obserwatora w akcji pomiaru zjawisk mikrofizycznych, biorąc jednocześnie w nawias dość istotny element tejże operacji, jakim jest urządzenie pomiarowe.

Ów „techniczny szczegół”, zarówno w praktyce, jak i teorii pomiarów kwantowych, pozostaje natomiast nieodzownym składnikiem *sytuacji obserwacyjnej* i w zasadniczy sposób burzy nieco naiwne wyobrażenia o rzekomo bilateralnej relacji podmiot–przedmiot⁴⁶. Umożliwiający rozpoznanie zjawisk kwantowych mikroskop, licznik Geigera–Müllera czy dokumentująca wynik doświadczenia klisza fotograficzna z punktu widzenia obserwatora są obiektami makrofizycznymi⁴⁷ i jako takie pozostają jedynymi, z który-

⁴⁴ Tym bardziej biorąc pod uwagę stanowisko samego **Heisenberga**, jak i innych znanych fizyków, m.in. **Borna, Einsteina, Sterna, Feynmana, Wheelera, Bella**. Zob. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 35, 37n, 41. Zob. M. Nauenberg, *Critique...*, dz. cyt., s. 12–15.

⁴⁵ Zob. H. Reichenbach, *Philosophic Foundations...*, dz. cyt., s. 14–17.

⁴⁶ Warto wspomnieć, że sam Heisenberg charakteryzował rozpatrywaną relację poznawczą nie tylko w powyższy sposób; sugerował wszak – co z różnych względów wydaje się trafniejszym rozwiązaniem – „podział świata” na *obiekt i resztę świata*. Zob. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 39n.

⁴⁷ Nie są wszak reprezentowane przez funkcję falową ψ . Zob. M. Nauenberg, *Critique...*, dz. cyt., s. 12. Nt. problematyczności podziału mikro/makro zob.

mi tradycyjnie rozumiany podmiot ma realny kontakt. Sam zatem, czy – zgodnie ze współczesną praktyką – wspólnie z innymi członkami zespołów badawczych⁴⁸, podmiot jako taki nigdy nie wchodzi w bezpośrednią relację ze światem w skali mikro⁴⁹, a więc nie można utrzymywać, jakoby miał niezależny od urządzenia pomiarowego, czy obiektywnych zasad pomiaru wielkości kwantowych, wpływ na obserwowane zjawiska⁵⁰. Przekonanie o tym, że atrybuty obiektów kwantowych podlegają jego woli, należy uznać za bezzasadne; mikroobiekt w żadnym wszak wypadku nie dostosowuje swoich własności do obserwatora, lecz – jak to ujął Tempczyk – za każdym razem „do przyrządu, za pomocą którego aktualnie mierzy się jego własności”⁵¹. Jakkolwiek więc element subiektywny z konieczności wpisuje się w proces poznania zjawisk subatomowych⁵², „wprowadzenie obserwatora” nie wiąże się z przypisaniem jakiegokolwiek podmiotowi, a konkretnie jego świadomości, nadzwyczajnych prerogatyw. Sam Heisenberg wyraźnie je zresztą ograniczał, zastrzegając, że:

Obserwator raczej nie spełnia tu innej roli niż rola rejestratora decyzji, czyli rejestratora procesów zachodzących w czasie i w przestrzeni; nie ma znaczenia to, czy obserwatorem będzie w tym przypadku człowiek czy jakiś aparat⁵³.

Mając na uwadze wyłuszczone okoliczności, urządzenie pomiarowe bezsprzecznie należy zatem uznać za naturalny i ko-

M. Tempczyk, *Rola obserwatora w mechanice kwantowej*, [w:] *Wiedza a podmiotowość*, red. A. Motyka, Warszawa 1998, s. 116–118.

⁴⁸ Na co nie bez przyczyny zwraca uwagę m.in. M. Nauenberg. Zob. tenże, *Critique...*, dz. cyt., s. 5.

⁴⁹ Por. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 36.

⁵⁰ Przekonanie takie krytykował, z nieskrywaną drwiną, Nauenberg, pisząc wprost, że „[a]n observer does **not cause** the occurrence of an atomic event. This is like believing that you can bend spoons with your mind. No one has given evidence for such effects” (M. Nauenberg, *Critique...*, dz. cyt., s. 6).

⁵¹ M. Tempczyk, *Rola obserwatora...*, dz. cyt., s. 115.

⁵² Zob. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 36–38, 41, 136–137.

⁵³ Tamże, s. 136.

nieczny element refleksji filozoficznej. Uwzględnienie go nie tylko w laboratorium pozwala wszak uniknąć wspomnianych nieporozumień i przekonać się, że – co podkreślał choćby Reichenbach⁵⁴ – zarówno ustalenia Heisenberga, jak i wszystkie twierdzenia mechaniki kwantowej są i mogą być w istocie orzekane bez odniesienia do człowieka. Akt obserwacji i związana z nim nieoznaczoność są bowiem z powodzeniem rozliczane w kategoriach *stricte* fizycznych, zaś w ich interpretacji brane są pod uwagę co najwyżej właściwości odhumanizowanych urządzeń pomiarowych oraz specyfika ich – a nie „podmiotu” – relacji z obserwowanym zjawiskiem.

Nieskrępowani wiedzą w tym zakresie filozofowie zdążyli jednakże dać świadectwo własnej beztroski, która w efekcie wystawiła dorobek fizyków kwantowych na łatwą i w istocie niepotrzebną krytykę⁵⁵. Wyciągając z zasady nieoznaczoności więcej treści, niż wynika z ustaleń Heisenberga, nadali jej nieco mistyczny charakter, sugerując przy tym, że znamionuje on całą mechanikę kwantową. Komentując tego typu praktyki, Reichenbach nie bez przyczyny powściągał ambicje współczesnych sobie filozofów (i niektórych naukowców⁵⁶); krytykował bowiem wprost forsowane przez nich wnioski, zastrzegając jednoznacznie – zupełnie słusznie i z całkowicie zrozumiałym oburzeniem – że:

We cannot admit that any version of such a philosophical mysticism has a basis in quantum mechanics. Like all other parts of physics,

⁵⁴ Zob. H. Reichenbach, *Philosophic Foundations...*, dz. cyt., s. 15n.

⁵⁵ Szczególnie mocno odciśnęła ona swoje negatywne piętno na nauce radzieckiej, która – zgodnie z sugestią materialistycznie usposobionych marksistów – wraz z burżuazyjnym idealizmem „**wyrzuciła do rynsztoka**” (jak chciał A. A. Żdanow) całą mechanikę kwantową. Zob. M. Gardner, „*Bourgeois Idealism*” in *Soviet Nuclear Physics*, [w:] tenże, *Science: Good, Bad, and Bogus*, Buffalo 1989, s. 16, 26. Por. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 136–141.

⁵⁶ Za przykład może tu posłużyć podkreślający rolę świadomości w procesie poznania zjawisk kwantowych noblista **Eugene Wigner** (1902–1995). Fizyk ów zmienił jednak ostatecznie swe stanowisko w tym względzie. Zob. M. Nauenberg, *Critique...*, dz. cyt., s. 3n., 11. Por. A. Staruszkiewicz, *Nieustępliwość problemu interpretacji...*, dz. cyt., s. 20–21.

quantum mechanics deals with nothing but relations between physical things⁵⁷.

Powyższe sprostowanie Reichenbacha trąci niemal frazesem, jednak jako takie zdaje się wymownie potwierdzać kierunek, w jakim podążyły pierwsze filozoficzne zmagania z zagadnieniem nieoznaczoności. Czy rozważenie jej zgodnie z porządkiem odkrycia w szerszej perspektywie formalizmu teorii atomu sprzed 1927 roku lub choćby większa świadomość bezpośredniego związku tegoż formalizmu ze słynną zasadą doprowadziłoby filozofów do mniej „mystycznych”, a bardziej wiarygodnych konkluzji? Trudno wyrokować z całą pewnością. Wydaje się jednak, że znajomość fundamentów, na jakich wyrosła idea nieoznaczoności, byłaby naturalną wskazówką do formułowania trafniejszych, a w każdym razie bardziej rozważnych interpretacji, ograniczających się, niczym rozważane we wzorach obserwable, do ujęcia jakkolwiek, lecz intersubiektywnie, poznawalnych własności mikroświata, a nie wyobrażeń na jego temat. O tych imponujący aparat matematyczny mechaniki kwantowej milczy, co, jak się wydaje, samo przez się może się stać pożyteczną lekcją powściągliwości dla przyszłych egzegetów zarówno zasady nieoznaczoności, jak i całej teorii atomu⁵⁸.

2.2. Dyskredytowanie zasady nieoznaczoności i teorii atomu

Quantum mechanics is certainly imposing. But an inner voice tells me that **it is not yet the real thing**. The theory says a lot, but does not really bring us any closer to the secret of the „old one”.

Albert Einstein⁵⁹

⁵⁷ H. Reichenbach, *Philosophic Foundations...*, dz. cyt., s. 15.

⁵⁸ Swoją drogą, nie tylko surowy formalizm mechaniki kwantowej mógłby spełniać tu rolę naturalnej brzytwy Ockhama. Także techniczne sformułowania stosowane przez praktykujących atomistów nie wydają się sprzyjać popularno-filozoficznym wariacjom na temat mechaniki kwantowej; raczej nieszczególnie zachęcająco brzmi bowiem „redukcja wektora stanu” czy „zasada superpozycji stanów”.

⁵⁹ A. Einstein, Letter to Max Born, 4 December, 1926, [w:] *The Born-Einstein Letters. The Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born*

Sam Heisenberg nie milczał jednakże w innej, wyjątkowo istotnej nie tylko dla fizyków, ale i filozofów kwestii. Chodzi, rzecz jasna, o zagadnienie **przyczynowości**, której status czy raczej zakres obowiązywalności należało – zgodnie z ustaleniami Heisenberga – w zasadniczy sposób zrewidować. Zasada nieoznaczoności – nie przypadkiem określana czasem jako „**zasada indeterminacji**”⁶⁰ – sugerowała wszak konieczność porzucenia skrajnego, lecz zwyczajowo przyjmowanego przez wielu współczesnych, przekonania o ścisłym zdeterminowaniu wszelkich procesów w przyrodzie i, co ważniejsze oraz bardziej pewne, możliwości ich dokładnego rozpoznania.

Mimo iż fizycy już wcześniej stopniowo – za sprawą Rudolfa Clausiusa, Josiaha Gibbsa, Ludwiga Boltzmann⁶¹ czy choćby Heisenberga⁶² – odchodzili od tej optymistycznej idei, sformułowanie zasady nieoznaczoności – jak zauważył choćby Arthur Eddington – „zwróciło uwagę na istniejący już indeterminizm w taki sposób, że trudno go było nie dostrzec”⁶³ i jakkolwiek zignorować.

from 1916 to 1955, ed. M. Born, transl. by I. Born, New York 1971, s. 91.

⁶⁰ Zob. A. Motycka, *Rozwój a obiektywność wiedzy naukowej*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 1989, t. 97, nr 1, s. 16.

⁶¹ Chodzi oczywiście o sformułowane przez wspomnianych fizyków prawa teorii ciepła. Mimo zachowania przez nich klasycznych założeń, zastosowanie mechaniki newtonowskiej do bardziej złożonych układów mechanicznych siłą rzeczy znalazło finał w prawach **statystycznych**. Prawdopodobieństwo przewidywań zyskało tym samym status fizycznej zasady, której, w przypadku zjawisk termodynamicznych, *praktycznie* nie sposób obejść. Zob. M. Heller, *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i codą*, Kraków 2012, s. 124–131.

⁶² W istocie już stworzona przez niego **mechanika macierzowa** z 1925 roku stwarzała poważne trudności w rozwijaniu klasycznych (deterministycznych) interpretacji procesów kwantowo-mechanicznych. Ujawniona w doświadczeniach nieciągłości i „przeskoki” zyskały podstawę teoretyczną, w obliczu której mówienie choćby o „torze” cząstki nie było *de facto* uzasadnione. Zob. część II.

Swoją drogą, zdaniem Heisenberga determinizm był w istocie podważony dużo wcześniej, bo – jak przekonuje – „[f]izyka atomu **od zarania** wypracowała przedstawienia, które właściwie **nie pasują** do tego obrazu”. Heisenberg ma na myśli koncepcje **Demokryta i Leukipposa**, które, choć nie negują wprost determinizmu, wyraźnie sugerują – zdaniem fizyka – konieczność przyjęcia innego sposobu ujmowania zjawisk. Zob. W. Heisenberg, *Ponad granicami*, dz. cyt., s. 129.

⁶³ A. Eddington, *Nauka na nowych drogach*, dz. cyt., s. 101n.

Okazało się bowiem, że przekonanie o możliwości przewidywania zjawisk fizycznych jest nie tyle ograniczone niemożnością rozpoznania pędów i położeń cząstek ze względu na złożoność niektórych procesów (np. termodynamicznych), ile niemożliwością precyzyjnego określenia obu tych wielkości w przypadku nawet jednej cząstki (subatomowej). Heisenberg dowiódł zatem, że ściśle przewidywanie zachowań wszystkich dostrzegalnych elementów natury jest niemożliwe ze względów nie tylko praktycznych, ale i teoretycznych, i to już u progu jakiegokolwiek prognozowania. Utrzymywanie w mocy idei determinizmu, z naukowego punktu widzenia, stało się tym samym zupełnie bezzasadne⁶⁴.

Fakt ów co niektórzy przywitali z nieskrywanym entuzjazmem. Po latach dominacji w nauce „dziewiętnastowiecznego straszdyła” – jak osobliwie określił determinizm Patrick Horace Nowell-Smith⁶⁵ – nowa zasada stworzyła wszak większą swobodę w interpretacji porządku natury i doskonałą sposobność do legitymizacji najnowszymi osiągnięciami nauki teorii, których głoszenie mogło wcześniej narażać ich autorów na zarzut częściej spekulacji. Okoliczność tę dość szybko wykorzystał choćby Arthur Holly Compton, wydając książkę *The Freedom of Man* (1935), w której odkrycie Heisenberga spełniło rolę swoistej przesłanki umożliwiającej utrzymanie postulatów wolności ludzkiej woli, istnienia Boga czy nieśmiertelności duszy⁶⁶. Kilka lat później jej autor dał zresztą wyraz swemu zadowoleniu, potwierdzając wprost, że właśnie dzięki zasadzie nieoznaczoności zyskał „daleko większy **komfort intelektualny**, niż... [mógł] sobie na to pozwolić kiedykolwiek wcześniej, na poprzednich etapach rozwoju nauki”⁶⁷.

⁶⁴ Prawdę mówiąc, utrzymywanie w mocy idei determinizmu nigdy nie było uzasadnione, a swoją drogą – jak sugeruje Heller – także niezgodne z zamysłem Newtona, rzekomego protoplasty mechanicyzmu. Zob. M. Heller, *Ontologiczne zaangażowania współczesnej fizyki*, „Analecta Cracoviensia” 1986, t. 18, s. 13n.

⁶⁵ Zob. K. R. Popper, *O chmurach i zegarach. Zarys teorii racjonalności i wolności człowieka*, [w:] tegoż, *Wiedza obiektywna. Ewolucyjna teoria epistemologiczna*, tłum. A. Chmielewski, Warszawa 1992, s. 508.

⁶⁶ Zob. tamże, s. 278. Por. M. Gardner, „*Bourgeois Idealism*”..., dz. cyt., s. 16.

⁶⁷ A. H. Compton, *The Human Meaning of Science* (1940); cyt. za: K. R. Popper, *O chmurach i zegarach*, dz. cyt., s. 277.

Zważywszy na dominujący w fizyce klasyczny ideał opisu świata, domniemać można, że znaczna, jeśli nie większa część środowiska naukowego komfort ów jednak straciła. Odkrycie Heisenberga wraz z ideą determinizmu podważyło bowiem podzielane przez wielu przekonanie o możliwościach poznawczych człowieka, które – głównie za sprawą sukcesów mechaniki newtonowskiej w XIX wieku – przypisywano przede wszystkim fizykom. Stanowiące niemal naturalny wyróżnik dyscyplin przyrodniczych tradycyjnie rozumiane pewność i precyzja, niemal z dnia na dzień okazały się jednak nieosiągalne⁶⁸, przez co nauki *nomen omen* „ściśle” straciły – jak można by sądzić – ów status. W istocie wymagały one jednak wyłącznie korekty paradygmatu naukowego; opis zjawisk kwantowych nie przystawał bowiem do klasycznej deskrypcji⁶⁹.

Jakkolwiek idee mechanicyzmu do początku XX wieku zdążyły już zwietrzeć, konieczność nawet tak rozumianej korekty spotkała się z wyjątkową nieprzychylnością części establishmentu naukowego. Jej zwiastunem były już choćby rozpacзлиwa reakcja Schrödingera na obecne w mechanice macierzowej i ujawniane w eksperymentach „przeklęte przeskoki kwantowe” (*verdamnte Quantenspringerei*)⁷⁰ czy sceptycyzm Einsteina, który bronił klasycznych pozycji, powołując się na zwyczaje Pana Boga i własne „wewnętrzne głosy”⁷¹. Jeszcze przed sformułowaniem zasady nieoznaczoności Einstein był wszak głęboko przekonany, że Bóg nie grywa w kości⁷² i stwarzając świat, nie zrobił od tej reguły wyjątku; kreacja miała zatem – jego zdaniem – polegać na rozwiązywa-

⁶⁸ Por. W. Heisenberg, *Ponad granicami*, dz. cyt., s. 121.

⁶⁹ W zasadzie – jak zauważa Motycka – był wręcz jej zaprzeczeniem. Zob. A. Motycka, *Rozwój a obiektywność wiedzy naukowej*, dz. cyt., s. 12n.

⁷⁰ Wedle relacji Heisenberga, już we wrześniu 1926 roku w rozmowie Bohrem przekonywał on, że „[j]eśli już miałyby pozostać przy tych przeklętych przeskokach kwantowych, to żałuję, że w ogóle zająłem się kiedyś teorią kwantów” (W. Heisenberg, *Część i całość*, dz. cyt., s. 104).

⁷¹ Zdaniem Butryna Einstein powoływał się na nie niejednokrotnie; po raz pierwszy już w 1916 roku. Zob. S. Butryn, „*Daimonion*” *Alberta Einsteina*, [w:] *Wiedza a podmiotowość*, dz. cyt., s. 135, 138n.

⁷² Zob. A. Einstein, *Letter to Max Born...*, dz. cyt., s. 91.

niu przez Boga deterministycznych równań ruchu⁷³. Siłą rzeczy, według założeń Einsteina, poznanie naukowe tegoż świata musiałoby zatem polegać na niczym innym, jak na odkrywaniu tych właśnie zdeterminowanych zależności⁷⁴. Ponieważ Heisenberg wykazał w 1927 roku, że ze względu na naturę samego poznania realizację tego projektu musi znamionować pewna nieoznaczoność, reakcja Einsteina na odkrycie Heisenberga była zatem do przewidzenia. Od samego początku (a szczególnie od ogłoszenia interpretacji kopenhaskiej mechaniki kwantowej) kontestował on jego wnioski, proponując szereg całkiem ciekawych „eksperymentów myślowych”⁷⁵, mających na celu podważenie koncepcji Heisenberga, a ostatecznie dowiedzenie, że błędem jest podnoszenie nieoznaczoności do rangi *zasady*.

Podobne próby zdyskredytowania zasady Heisenberga podejmowali również inni. Pojawiały się zatem coraz nowsze **logiczne** próby jej obejścia⁷⁶, a czasem także wyjątkowo kuriozalne argumenty o charakterze **ideologicznym**⁷⁷. Najciekawsze okazały się jednak tworzone w tym celu **alternatywne hipotezy**, w obliczu których zasada nieoznaczoności miałaby stracić swój status.

⁷³ Zob. M. Heller, *Ontologiczne zaangażowania...*, dz. cyt., s. 15.

⁷⁴ Por. M. Kumar, *Kwantowy świat*, dz. cyt., s. 397.

⁷⁵ Zob. tamże, s. 345–352.

⁷⁶ Zob. C. Białobrzeski, *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*, Warszawa 1984, s. 53n. Por. A. Einstein, *Wiedza o przeszłości i przyszłości w mechanice kwantowej*, [w:] tegoż, *Pisma filozoficzne*, tłum. K. Napiórkowski, Warszawa 1999, s. 159–162.

Pewne próby w tym względzie podejmował również Popper. Zaproponowane przez niego eksperymenty myślowe bynajmniej nie miały na celu uwiarygodnienia przekonań deterministycznych, lecz wskazanie, że relacjom nieoznaczoności można nadać inną interpretację (statystyczną). Niezależnie od motywacji, wysiłki Poppera okazały się bezskuteczne i – jak sugeruje Sady – obnażyły jedynie „rażące dyletantstwo” Austriaka. Zob. K. Popper, *Logika odkrycia naukowego*, tłum. U. Niklas, Warszawa 2002, s. 176–198; W. Sady, *Spor o racjonalność naukową. Od Poincarego do Laudana*, Wrocław 2000, s. 175–176.

⁷⁷ Mało chlubnym przykładem są w tym względzie argumenty członka Rosyjskiej Akademii Nauk, marksisty **M. Mitina**, który w 1948 roku atakował zasadę nieoznaczoności jako **doktrynę obskurancą**, głoszoną przez „pachołków imperializmu anglo-amerykańskiego w dziedzinie nauki”. Zob. M. Gardner, *Bourgeois Idealism...*, dz. cyt., s. 19.

Bodaj najbardziej znaną i w pewnym sensie wyrażającą założenia tych kontrpropozycji⁷⁸ była teoria Davida Bohma (1952), zakładająca możliwość istnienia dotychczas nieodkrytych eksperymentalnie, względnie autonomicznych i powiązanych ze sobą poziomów przyrody (...mega-, makro-, mikro-, sub-, sub-sub-kwantowych, ...), których tzw. utajone parametry (*hidden variables*) miałyby uprawomocnić niezależne od siebie, a przez to nawet sprzeczne, modele rzeczywistości. Bohm, zgodnie ze swym pierwotnym zamiarem⁷⁹, sugerował zatem, że model, na bazie którego Heisenberg sformułował relacje nieoznaczoności, należałoby traktować jedynie jako jeden z wielu możliwych, raczej szczególny i na pewno nie podstawowy. Przyjmując perspektywę tzw. ukrytego porządku (*the implicate order*), a w konsekwencji zbioru nieujawnionych jeszcze teorii i zupełnie nowych formalizmów, Bohm w znaczącym stopniu umniejszył jednocześnie wartość także i samego odkrycia Heisenberga. Wedle scenariusza amerykańskiego fizyka zasada nieoznaczoności miała bowiem stanowić „przypadek graniczny” innych modeli rzeczywistości (w domyśle deterministycznych modeli poziomów subkwantowych), słuszny jedynie „w przybliżeniu”⁸⁰.

Mimo wyjątkowego zaangażowania w obejście zasady nieoznaczoności, wysiłki zarówno Einsteina, jak i Bohma nie przyniosły zamierzonego skutku. Co więcej, przedstawione przez nich argumenty paradoksalnie jeszcze bardziej uwiarygodniły teorię Heisenberga. Einstein mógł to skonstatować niejednokrotnie na bieżąco, głównie podczas rozmów z Bohrem⁸¹; Bohm natomiast, jako świadek dwudziestowiecznych zmagania z teorią atomu, podczas których nie odkryto innych niż ujawnione m.in. przez Heisenberga param-

⁷⁸ Zob. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 125–134.

⁷⁹ Swą koncepcję jakościowej nieskończoności przyrody zaproponował wszak Bohm w związku z rozważaniami nad nową interpretacją mechaniki kwantowej. Gwoli ścisłości należy jednak zaznaczyć, że nie chodziło mu o powrót do pozycji *stricte* deterministycznych. Zob. J. Rodzeń, *Davida Bohma filozofia ukrytego porządku*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” [dalej: ZFN], 1991, nr 13, s. 45, 48, 53.

⁸⁰ Zob. D. Bohm, *Ukryty porządek*, tłum. M. Tempczyk, Warszawa 1988, s. 79–82, 83, 101–104. Por. J. Rodzeń, *Davida Bohma filozofia...*, dz. cyt., s. 48.

⁸¹ Zob. G. Gamow, *Zasada niepewności*, dz. cyt., s. 29–32.

trów⁸². Zgodnie ze sformułowanym w 1964 roku teorematem Johna S. Bella⁸³ (potwierdzonym eksperymentalnie przez Alaina Aspecta w 1981)⁸⁴ powoływanie się na jakiegokolwiek parametry ukryte ostatecznie okazało się także formalnie rzecz biorąc bezskuteczne (względem przewidywań Bohma). Wyszło wszak na jaw, że nawet gdyby koncepcja ukrytych parametrów okazała się kiedykolwiek realną alternatywą dla mechaniki kwantowej, to i tak pozostanie teorią nielokalną, a zatem – jak to zwięźle ujął Michał Heller – również „[u]kryte parametry nie są... w stanie przywrócić całkowitej zgodności między mechaniką kwantową a naszym zdrowym rozsądkiem”⁸⁵. Zdano sobie zatem sprawę, że zarówno zasada nieoznaczoności, jak i dorobek fizyków kwantowych nie może zostać podważony za pomocą jakichkolwiek nieodkrytych własności subkwantowych⁸⁶.

⁸² Wbrew założeniom Bohma, będący faktycznym przedmiotem zainteresowania fizyków tzw. porządek jawny (*explicate order*) nie został wzbogacony o parametry, w których upatrywał on szansy na powrót do klasycznych kategorii opisu zjawisk. Będąc do dziś ukryte – podobnie jak „zerony” Weizela – nigdy nie zyskały zatem właściwej argumentom fizycznym siły przekonywania. Ukryte zmienne nie bez powodu były więc określane przez Heisenberga jako hipoteza *ad hoc*, znajdująca uzasadnienie jedynie w „ideologicznej nadbudowie”. Co ciekawe, nawet sam Einstein, mimo początkowej sympatii dla propozycji Bohma, uznał powoływanie się na parametry ukryte za „przesadnie tani chwyt”. Zob. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 129; M. Kumar, *Kwantowy świat*, dz. cyt., s. 410; *Rozmowa z Johnem Bellem*, tłum. W. Skoczny, <http://www.obi.opoka.org.pl/zfn/010/zfn01002Bell.pdf> (6.07.2014), s. 6.

Warto zauważyć, że zakładając konieczność poszukiwania porządku na innym poziomie niż kwantowy, Bohm w istocie wzmocnił wiarygodność zasady nieoznaczoności. Uznał wszak nieporządek za parametr poziomu kwantowego, a do niego przecież rościł sobie prawo wyrokowania zarówno Heisenberg, jak i inni kopenhazanie. Por. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, dz. cyt., s. 130.

⁸³ Chodzi rzecz jasna o tzw. **nierówność Bella** przedstawione w: J. S. Bell, *On The Einstein Podolsky Rosen Paradox*, „Physics” 1964, Vol. 1, No. 3, s. 195–200.

⁸⁴ Zob. M. Kumar, *Kwantowy świat*, dz. cyt., s. 399–421. Por. T. Bigaj, *O pewnych wzmocnieniach twierdzenia Bella*, PF, R. 17, 2008, z. 2, s. 127–146.

⁸⁵ Zob. M. Heller, *Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata*, Warszawa 2002, s. 150n.

⁸⁶ Warto wspomnieć, że w programach nauczania, jeszcze przed odkryciem Bella, nie podawano w wątpliwość zasady nieoznaczoności. Enrico Fermi unikał dyskusji na ten temat, natomiast Hans Bethe, w swych notatkach do wykładu z 1956 roku, wprost krytykował takie praktyki, przekonując, że „próbę przechytrzenia zasady nieoznaczoności są tak niemądre i jałowe, jak uganianie się za perpetuum mo-

Jakkolwiek wnioski Heisenberga zyskały tym samym dodatkowe potwierdzenie, niezadowolenie autorytatywnych fizyków z kompromisu, na jaki zmuszeni byli pójść fizycy kwantowi, debata wokół interpretacji zasady nieoznaczoności, jak i wspomniane próby jej obejścia, mogą sugerować nawet dziś, że powątpiewanie w słuszność teorii Heisenberga nie jest mimo wszystko bezzasadne. Obieranie zasady nieoznaczoności za punkt wyjścia wykładu teorii atomu, już na początku może zatem fundować niepotrzebne nieporozumienia. Stanowiąca skądinąd atrakcyjne wyzwanie kwestia rozstrzygnięć interpretacyjnych wychodzi wówczas na pierwszy plan, natomiast formalizm, dzięki któremu nieoznaczoność zyskała, i zachowuje do dziś, status zasady, siłą rzeczy zostaje marginalizowany⁸⁷. Rolę istotnej przesłanki mogą tym samym przejąć przekonania o charakterze ontologicznym. Wśród nich natomiast teza o zdeterminowaniu – zarówno ze względu na potoczne, zdroworozsądkowe (klasyczne) wyobrażenia, a w pewnym stopniu autorytet obstającego przy niej Alberta Einsteina – wydaje się najbardziej faworyzowana, przez co uzasadniony może wydawać się wniosek, że nieoznaczoność jest w istocie **przeszkodą**, której obejście jest nie tyle konieczne, ile możliwe. Wrażenie takie może dodatkowo potęgować zwyczajowe – notabene stosowane przez samego Heisenberga – tłumaczenie zasady nieoznaczoności w nawiązaniu do urządzenia pomiarowego i aktu pomiaru⁸⁸. Także w tym przypadku formalizm mechaniki kwantowej jest zasadniczo pomijany, przez co przewyciężenie zasady Heisenberga może się wydawać prostsze („brak” bowiem przeszkód formalnych⁸⁹), sama zaś nieoznaczono-

bile” (D. Kaiser, *Jak kształcić mechaników kwantowych*, tłum. M. Staszal, „Postępy Fizyki” 2007, t. 58, z. 5, s. 204).

⁸⁷ Na negatywne implikacje takiego zjawiska wskazywał choćby Paul Dirac. Zwracał on przy tym szczególną uwagę na konieczność istnienia i pierwszeństwo „solidnej matematycznej bazy” teorii fizycznych, wobec której – jak słusznie podkreślał – „[f]ilozoficzne idee żywione przez kogokolwiek mogą mieć tylko **podrzędne znaczenie**” (P. A. M. Dirac, *Matematyczne podstawy teorii kwantów*, tłum. M. Heller, ZFN, 1997, nr 21, s. 107).

⁸⁸ Zagadnienie to będzie istotnym wątkiem II części niniejszego artykułu.

⁸⁹ Nie mieli ich np. scenarzyści popularnego serialu *Star Trek*, którzy – wobec krytycznych, choć, jak się po latach okazało, niekoniecznie słusznych, uwag fizy-

ność pochopnie uznana za efekt co najwyżej indolencji doświadczalników lub niedoskonałości urządzeń pomiarowych.

Taki scenariusz nierzadko zresztą pierwotnie przyjmowali sami fizycy⁹⁰; trudno byłoby zatem oczekiwać, że obecnie przeciętny czytelnik nie ulegnie podobnej pokusie. Chcąc wyrobić sobie własne stanowisko w sprawie możliwości poznawczych człowieka itp., nieświadomy matematycznego fundamentu zasady nieoznaczoności może tym samym łatwo zabrnąć w jałowe dywagacje niemające wiele wspólnego z naukową narracją. Inspirowany filozoficznymi przekonaniami znanych autorytetów i klasycznymi wyobrażeniami na temat pomiaru może zatem powątpiewać w wiarygodność zasady nieoznaczoności, a wręcz pochopnie domniemać, że jest ona najzwyczajniej błędna⁹¹.

Inicjowanie wykładów mechaniki kwantowej refleksją nad zasadą nieoznaczoności może jednakże prowadzić do fałszywych przekonań nie tylko w odniesieniu do samej zasady, ale również całej teorii atomu. Przyjęcie takiej kolejności prezentowania może bowiem sugerować, że mechanika kwantowa była wynikiem zwykłej, klasycznie rozumianej nieoznaczoności pomiaru; ekstrapolowanie zaś takiego błędnego rozumienia odkrycia Heisenberga na dorobek fizyków kwantowych może skłaniać do nieuzasadnionego wniosku, jakoby mechanika kwantowa była teorią mniej wiarygodną niż inne akceptowane obecnie jako *naukowe*⁹². Faworyzowanie zasady

ków – w urządzeniach teleportujących zainstalowali tzw. kompensatory Heisenberga. Mały one usunąć nieoznaczoność i w efekcie umożliwić przesyłanie obiektów bez pogwałcenia praw fizyki. Działania tego osobliwego gadżetu rzecz jasna nie wytłumaczono. Zob. M. Kaku, *Physics of the Impossible: A Scientific Exploration Into the World of Phasers, Force Fields, Teleportation, and Time Travel*, New York 2008, s. 55n.

⁹⁰ Zob. B. Hoffmann, *Niezwykła historia kwantów*, dz. cyt., s. 185; M. Gardner, *Bourgeois Idealism...*, dz. cyt., s. 16.

⁹¹ Warto przy tym wspomnieć, że nawet Einstein, który do końca nie zaakceptował zasady nieoznaczoności jako ostatecznego prawa fizycznego, uważał ją za **poprawną**, tj. zgodną z formalizmem mechaniki kwantowej, i eksperymentalnie **potwierdzoną**. Zob. S. Butryn, „*Daimonion*” *Alberta Einsteina*, dz. cyt., s. 136.

⁹² Wiele znanych autorytetów (prócz Einsteina i Bohma m.in. Max Planck, Louis De Broglie, Bertrand Russel czy wspomniany już Arthur Holly Compton) powątpiewało wszak w jej **kompletność** (suponując np. nieuwzględnienie wszystkich

nieoznaczoności może prowadzić jednak również do odkształcenia właściwego obrazu formalnych relacji między zasadą Heisenberga a mechaniką kwantową. Dając pierwszeństwo relacjom nieoznaczoności, można zbudować wrażenie, że teoria atomu stanowi rezultat słynnego odkrycia Heisenberga (z 1927 roku); wniosek takowy byłby jednak zupełnie błędny. Analizując kontekst uzasadnienia, można się bowiem zorientować, że o ile zasada nieoznaczoności wynika z równań kwantowych⁹³ i jest tym samym z nich wyprowadzalna, o tyle nie ma możliwości wyprowadzenia tych ostatnich z zasady nieoznaczoności⁹⁴. Zasada Heisenberga – na co zwrócili uwagę Lew D. Landau i Jewgienij M. Lifszyc⁹⁵ – nie wystarcza zatem do zbudowania na jej podstawie mechaniki cząstek. Niezależnie od jej popularności i ewentualnych wyobrażeń na jej temat, analogicznie nie powinna zatem stanowić punktu wyjścia wykładu teorii kwantów. Taka kolejność prezentacji nie znajduje bowiem formalnego uzasadnienia.

Warto jednakże zwrócić uwagę, że w żaden sposób nie pokrywa się ona również z chronologią zdarzeń towarzyszących odkryciu zasady nieoznaczoności. Wyróżnianie jej trudno zatem uznać za uzasadnione także z historycznego punktu widzenia. Całkiem

parametrów). Nierzadko sugerowano także (m.in. J. Bell) jej **tymczasowość** (choć w istocie pozostaje ona walorem wszystkich teorii naukowych), a nawet – na co skarżył się Heisenberg – traktowano ją jako „**symptom kryzysu** naszych czasów”. Zob. W. Heisenberg, *Ponad granicami*, dz. cyt., s. 121; K. R. Popper, *O chmurach i zegarach*, dz. cyt., s. 276, 508. Por. S. Butryn, *O naturze zasady nieoznaczoności...*, dz. cyt., s. 124n.; M. Kumar, *Kwantowy świat*, dz. cyt., s. 421. Por. C. Białobrzęski, *Podstawy poznawcze fizyki...*, dz. cyt., s. 178–188.

⁹³ W istocie ze **wszystkich** wersji równań kwantowych: mechaniki falowej, macierzy Heisenberga – Borna – Jordana, liczb q Diraca. Zob. J. Gribbin, *W poszukiwaniu kota Schrödingera*, dz. cyt., s. 150. Por. M. Heller, *Mechanika kwantowa dla filozofów*, Kraków 1996, s. 69, 93n. Zob. część II.

⁹⁴ Z tego choćby względu sam Bohr nie uważał relacji nieoznaczoności za fundament teorii kwantowej. Podobne stanowisko zajmował także Popper. Zob. M. Jammer, *The Indeterminacy Relations*, dz. cyt., s. 59–60. Por. część II.

⁹⁵ Ich zdaniem rolę fundamentu teorii takiej jak mechanika kwantowa powinny bowiem tworzyć pewne **pozytywne** twierdzenia. Zasada nieoznaczoności nie spełnia tego warunku, bo – jak to ujęli – zasadniczo znamionuje ją **treść negatywna**. Zob. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Quantum Mechanics. Non-relativistic Theory*, Vol. 3., transl. by J. B. Sykes, J. S. Bell, Oxford 1977, s. 2.

łatwo z kolei przekonać się, że nie tylko formalizm matematyczny zasady Heisenberga, ale i historia jej odkrycia może stanowić ważny trop do właściwego zrozumienia statusu zasady nieoznaczoności i rozpoznania faktycznych zależności między nią a „nową” mechaniką. Tym tropem będziemy zatem podążać w II części artykułu, aby ostatecznie pokazać, że analiza kontekstu odkrycia ma pewne, całkiem istotne walory heurystyczne, o których popularyzatorzy nauki nie powinni zapominać. Dzięki nim bowiem powiedzenie, „co się właściwie robi, uprawiając fizykę”, może stać się nieco prostsze, nawet w przypadku zmagających się z nieoznaczonością fizyków kwantowych.

Summary

Heisenberg's Aria (I): The negative effects of accentuating the uncertainty principle in the lecture of the atomic theory

According to the author, a perfect example of the theory, which is considered to be removed from the historical context, is the uncertainty principle. For various reasons, this principle became the most famous element of atomic theory, and it usually serves as kick-off for popular lectures in quantum mechanics. This order of presentation can, however, distort an accurate picture of the uncertainty principle and quantum mechanics in general. In this article we try to identify specifically the misunderstandings initiating a course of quantum mechanics contrary to the chronology from the uncertainty principle can lead.

Keywords Werner Heisenberg, uncertainty principle, quantum mechanics, popularization of science, context of discovery, history of science

Bibliografia

- Bell J. S., *On The Einstein Podolsky Rosen Paradox*, „Physics” 1964, Vol. 1, No. 3, s. 195–200.
- [Bell J. S.], *Rozmowa z Johnem Bellem*, tłum. W. Skoczny, <http://www.obiopoka.org.pl/zfn/010/zfn01002Bell.pdf> (6.07.2014), s. 1–13; pwrdr.: „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 1988, nr 10, s. 15–24.
- Białobrzeski C., *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*, Warszawa 1984.

- Bielik-Robson A., *Słowo i trauma: czas, narracja, tożsamość*, [w:] *Formy reprezentacji umysłowych*, red. R. Piłat, S. Wróbel, Warszawa 2006.
- Bigaj T., *O pewnych wzmocnieniach twierdzenia Bella*, „Przegląd Filozoficzny” R. 17, 2008, z. 2 (66), s. 127–146.
- Bohm D., *Ukryty porządek*, tłum. M. Tempczyk, Warszawa 1988.
- Butryn S., „*Daimonion*” Alberta Einsteina, [w:] *Wiedza a podmiotowość*, red. A. Motycka, Warszawa 1998, s.131–142.
- Butryn S., *O naturze zasady nieoznaczoności Heisenberga i idei „Boga od zamykania dziur”*, [w:] *Filozoficzne i naukowo-przyrodnicze elementy obrazu świata. 7.*, red. A. Latawiec, G. Bugajak, Warszawa 2008, s. 124–134.
- Cassidy D. C., *Heisenberg, Uncertainty and the Quantum Revolution*, [w:] *Quantum Mechanics: Science and Society*, ed. P. Galison, M. Gordin, D. Kaiser, New York 2001, s. 146–152.
- Danin D., *Rewolucja kwantowa*, tłum. Z. Ajduk, Warszawa 1990.
- Dirac P. A. M., *Matematyczne podstawy teorii kwantów*, tłum. M. Heller, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 1997, nr 21, s. 107–112.
- Dwie wieże na zgliszcach (I)*, <http://3obieg.pl/dwie-wieze-na-zgliszcach-i> (6.07.2014).
- Eddington A., *Nauka na nowych drogach*, tłum. S. Szczeniowski, Warszawa 1937.
- Einstein A., *Wiedza o przeszłości i przyszłości w mechanice kwantowej*, [w:] A. Einstein, *Pisma filozoficzne*, tłum. K. Napiórkowski, Warszawa 1999, s. 159–162.
- Einstein A., *Letter to Max Born, 4 December, 1926*, [w:] *The Born-Einstein Letters. The Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955*, ed. M. Born, transl. by I. Born, New York 1971, s. 90–91.
- Eisberg R., Resnick R., *Fizyka kwantowa atomów, cząsteczek, ciał stałych, jąder i cząstek elementarnych*, tłum. D. Błocka-Śledziwska, Warszawa 1983.
- February 1927: Heisenberg’s Uncertainty Principle*, <http://www.aps.org/publications/apsnews/200802/physicshistory.cfm> (6.07.2014).
- Feynman R. P., *Czym jest nauka?*, [w:] R. P. Feynman, *Przyjemność poznawania. Zbiór najciekawszych, krótkich wypowiedzi Richarda Feynmana*, tłum. K. Karpińska, Warszawa 2005, s. 151–164.

- Feynman R. P., *Jaka jest i jaka powinna być rola kultury naukowej we współczesnym społeczeństwie*, [w:] R. P. Feynman, *Przyjemność poznawania. Zbiór najciekawszych, krótkich wypowiedzi Richarda Feynmana*, tłum. K. Karpińska, Warszawa 2005, s. 92–106.
- Finkelsztein A., *Języki nauki i sztuki*, tłum. E. Milewska-Zonn, [w:] W. Zonn, A. Finkelsztein, *O nauce*, Warszawa 1977, s. 142–165.
- Frank Ch., *An Uncertain Life*, „Notes and Records of the Royal Society of London” 1994, Vol. 48, No. 1, s. 147–151.
- Gamow G., *Zasada niepewności*, [w:] *Mezony, grawitacja, antymateria*, wyb. i opr. K. Majewski, tłum. K. i W. Majewscy, Warszawa 1962, s. 13–32.
- Gardner M., „*Bourgeois Idealism*” in *Soviet Nuclear Physics*, [w:] M. Gardner, *Science: Good, Bad, and Bogus*, Buffalo 1989, s. 15–26.
- Garlington A. S., Jr, *Opera*, „The Musical Quarterly” 1982, Vol. 68, No. 2, s. 238–244.
- Gawecki B., *Konsekwencje filozoficzne indeterminizmu w fizyce współczesnej*, „Przegląd Filozoficzny” R. 34, 1931, z. 1, s. 3–14.
- Gribbin J., *W poszukiwaniu kota Schrödingera. Realizm w fizyce kwantowej*, tłum. J. Bieroń, Poznań 1997.
- Heisenberg W., *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, „Zeitschrift für Physik” 1927, Bd. 43, s. 172–198.
- Heisenberg W., *Część i całość. Rozmowy o fizyce atomu*, tłum. K. Napiórkowski, Warszawa 1987.
- Heisenberg W., *Ponad granicami*, tłum. K. Wolicki, Warszawa 1979.
- Heller M., *Ontologiczne zaangażowania współczesnej fizyki*, „Analecta Cracoviensia” 1986, t. 18, s. 3–20.
- Heller M., *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i coda*, Kraków 2012.
- Heller M., *Mechanika kwantowa dla filozofów*, Kraków 1996.
- Heller M., *Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata*, Warszawa 2002.
- Hilgevoord J., Uffink J., *The Uncertainty Principle*, [w:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2014 Edition), ed. E. N. Zalta, <http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/> (6.07.2014).
- History of Chinese Writing System*, <http://www.char4u.com/content/history-of-chinese-writing-system/> (6.07.2014).

- Ho-Kim Q., Kumar N., Chi-Sing Lam, *Zaproszenie do fizyki współczesnej*, tłum. Z. Jacyna-Onyszkiewicz, Poznań 1995.
- Hoffmann B., *Niezwykła historia kwantów*, tłum. J. Szyleman, Warszawa 1965.
- Jammer M., *The Indeterminacy Relations*, [w:] M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York 1974, s. 55–84.
- Johnson S., *What is the Chinese language?*, <http://www.economist.com/blogs/johnson/2011/12/chinese> (6.07.2014).
- Kaiser D., *Jak kształcić mechaników kwantowych*, tłum. M. Staszal, „Postępy Fizyki” 2007, t. 58, z. 5, s. 201–206.
- Kaku M., *Physics of the Impossible: A Scientific Exploration Into the World of Phasers, Force Fields, Teleportation, and Time Travel*, New York 2008.
- Kozłowski J., *Upowszechnianie nauki*, [w:] *Co wiemy o nauce? Polska a kraje Unii europejskiej*, red. I. Bialecki, Warszawa 2003, s. 15–50.
- Kuhn T., *Struktura rewolucji naukowych*, tłum. H. Ostromecka, Warszawa 1968.
- Kumar M., *Kwantowy świat. Einstein, Bohr i wielki spór o naturę rzeczywistości*, tłum. U. i M. Seweryńscy, Warszawa 2012.
- Landau L. D., Lifshitz E. M., *Quantum Mechanics. Non-relativistic Theory*, Vol. 3, transl. by J. B. Sykes, J. S. Bell, Oxford 1977.
- Leoncavallo R., *Vesti la giubba*, [w:] R. Leoncavallo, *Pajace (Pagliacci)*, 1892, akt I.
- Mianowski J., *W stronę historiozofii opery*, [w:] *Bliżej opery. Twórcy – dzieła – konteksty*, J. Mianowski, R. D. Golianek, Toruń 2010, s. 13–22.
- Morgan M. A., *A Postage Stamp History of the Atom. Part II: The Quantum Era*, „Philatelia Chimica et Physica” 2006, Vol. 28, No. 1, s. 35–43.
- Motycka A., *Rozwój a obiektywność wiedzy naukowej*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 1989, t. 97, nr 1, s. 11–22.
- Nauenberg M., *Critique of „Quantum Enigma: Physics Encounters Consciousness”*, <http://physics.ucsc.edu/~michael/qefoundations.pdf> (6.07.2014), s. 1–16; pwrdr.: „Foundations of Physics” 2007, Vol. 37, No. 11, s. 1612–1627.
- Pais A., *Czas Nielsa Bohra: w fizyce, filozofii i polityce*, tłum. P. Amsterdamski, Warszawa 2006.
- Pogoda Z., *Popularyzacja matematyki – rola mediów. Impresje*, [w:] *Nauka a kultura masowa*, red. M. Heller, J. Mączka, P. Polak, M. Szczerbińska-Polak, Kraków–Tarnów 2009, s. 83–92.

- Popper K. R., *Logika odkrycia naukowego*, tłum. U. Niklas, Warszawa 2002.
- Popper K. R., *O chmurach i zegarach. Zarys teorii racjonalności i wolności człowieka*, [w:] K. R. Popper, *Wiedza obiektywna. Ewolucyjna teoria epistemologiczna*, tłum. A. Chmielewski, Warszawa 1992, s. 266–324.
- Reichenbach H., *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Mineola, NY 1998.
- Rodzeń J., *David Bohma filozofia ukrytego porządku*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 1991, nr 13, s. 43–57.
- Sady W., *Spor o racjonalność naukową. Od Poincarego do Laudana*, Wrocław 2000.
- Staruszkiewicz A., *Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej*, „Foton” 2008, nr 100, s. 18–23.
- Strugalski Z., *O zasadzie nieoznaczoności Wernera Heisenberga*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” R. 24, 1979, z. 2, s. 355–366.
- Suchodolski B., *Historia nauki jako czynnik wychowania nowoczesnego człowieka*, [w:] *O nauczaniu historii nauki*, red. W. Osińska, Gdańsk 1974, s. 43–58.
- Szczuciński A., *Zasada nieoznaczoności. Ograniczenie, czy rozszerzenie możliwości poznawczych?*, [w:] *Z epistemologii wiedzy naukowej*, red. J. Such, M. Szcześniak, Poznań 1998, s. 147–160.
- Tałasiewicz M., *Rola nauki w kulturze i dyskursie publicznym*, [w:] *Nauka a kultura masowa*, red. M. Heller, J. Mączka, P. Polak, M. Szczerbińska-Polak, Kraków–Tarnów 2009, s. 17–22.
- Tempczyk M., *Granice i pułapki popularyzacji nauki*, [w:] *Nauka a kultura masowa*, red. M. Heller, J. Mączka, P. Polak, M. Szczerbińska-Polak, Kraków–Tarnów 2009, s. 93–106.
- Tempczyk M., *Rola obserwatora w mechanice kwantowej*, [w:] *Wiedza a podmiotowość*, red. A. Motycka, Warszawa 1998, s. 114–122.
- The Official Web Site of the Nobel Prize*, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/ (6.07.2014).
- Topolski J., *Wprowadzenie do historii*, Poznań 1998.
- Verdi G., *Chór Cyganów (Coro degli zingari)*, [w:] G. Verdi, *Trubadur (Il Trovatore)*, 1853, akt II.
- Weizäcker C. F. von, *Jedność przyrody*, tłum. K. Napiórkowski, J. Prokopiuk, H. Tomasik, K. Wolicki, Warszawa 1978.
- Wróblewski A. K., *Historia fizyki*, Warszawa 2009.