

M a r e k   W o s z c z e k

## Sklonnościowa interpretacja prawdopodobieństwa a teoria kwantowa. Krytyczna retrospekcja

**Słowa kluczowe:** *interpretacja skłonnościowa, kwantowa teoria prawdopodobieństwa, eksperyment Poppera, nieprzemienialna miara probabilistyczna, realizm metafizyczny*

Popper oceniał swą skłonnościową interpretację prawdopodobieństwa (dalej: PI) jako jedno ze swych największych osiągnięć filozoficznych i klucz do całej swojej filozofii (w szczególności jako odpowiednią „metafizykę dla falsyfikacjonistycznej nauki”, jak to ujął Hacohen<sup>1</sup>), a jego ambicje nie ograniczały się jedynie do zaproponowania pewnej metafizycznej interpretacji rachunku prawdopodobieństwa – od lat 50. aż do końca życia był przekonany, że pozwala ona nie tylko rozwiązać kluczowe paradoksy mechaniki kwantowej (QM), ale jest także eksperymentalnie testowalną, fizyczną hipotezą<sup>2</sup> oraz fundamentem w pełni klasycznie realistycznej interpretacji QM<sup>3</sup>, a nawet nowej metafizyki dla całej fizyki<sup>4</sup>. Zależność ta była dwukierunkowa: podkreślał, że sformuło-

---

<sup>1</sup> M.H. Hacohen, *Karl Popper – The Formative Years, 1902–1945. Politics and Philosophy in Interwar Vienna*, Cambridge 2002, s. 261. W istocie duża część *Logiki odkrycia naukowego* z 1934 r. jest już poświęcona problemowi prawdopodobieństwa, choć bez metafizycznych i kosmologicznych tez typowych dla późnego Poppera.

<sup>2</sup> K.R. Popper, *Realism and the Aim of Science*, New York 1985, s. 360.

<sup>3</sup> Zob. np. K.R. Popper, *The Propensity Interpretation of the Calculus of Probability, and the Quantum Theory*, w: S. Körner (ed.), *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*, London 1957, s. 68.

<sup>4</sup> K.R. Popper, *Realism...*, dz. cyt., s. 361. Dobrze przedstawienie w jęz. polskim: W. Załuński, *Sklonnościowa interpretacja prawdopodobieństwa*, Tarnów 2008.

wał PI w wyniku swoich zmagania z QM<sup>5</sup>. W istocie PI stała się dla późnego Poppera nie tylko główną bronią w batalii o metafizyczny realizm w fizyce, ale również kamieniem węgielnym specyficznej, realistycznej doktryny przedstawiającej nierelatywistyczną QM jako w pełni klasyczną, indeterministyczną mechanikę o pewnych holistycznych cechach. Oba te przedsięwzięcia okazały się jednak nieudane, zaś w przypadku tego ostatniego już w punkcie wyjścia skazane było ono na niepowodzenie. Zrozumienie źródeł tej porażki jest pouczające, ponieważ wskazuje możliwości i ograniczenia każdego spójnego metafizycznego realizmu w konfrontacji z teorią kwantową, ale też pozwala krytycznie ocenić, w jaki sposób ontologiczne pojęcie „skłonności” mogłoby być w niej przydatne (o ile w ogóle).

Zmagania Poppera z QM obejmowały w zasadzie całą jego karierę naukową, począwszy na okresie wiedeńskim, po obronie rozprawy doktorskiej (1928) i w toku pracy nad *Logiką odkrycia naukowego* (1934), w której cały rozdział 7 poświęcony jest wyłącznie kwantowym „relacjom nieoznaczoności” i ich statystycznej interpretacji<sup>6</sup>. W tym samym roku, jeszcze przed ukazaniem się *Logiki*, opublikował jako swój filozoficzny debiut krótki artykuł<sup>7</sup> krytykujący interpretację Heisenberga i zawierający propozycję *experimentum crucis* z rozpraszaniem cząstek, które – wbrew „relacjom niedokładności” (*Ungenauigkeitsrelationen*, jak je początkowo nazywał sam Heisenberg) – mogłoby ustalić w oparciu o interpretację statystyczną jednoczesne wartości wielkości kanonicznie sprzężonych<sup>8</sup>, co od razu spotkało się z repliką m.in. Carla F. von Weizsäckera<sup>9</sup> i samego Heisenberga (którego spotkał w Wiedniu w 1935 r.). Popper usiłował odpowiedzieć na te krytyki w kolejnych notach<sup>10</sup>, ale Einstein – jego naukowy autorytet – przekonał go, że jego argument jest nie do obrony

<sup>5</sup> K.R. Popper, *Droga do wiedzy. Domysły i refutacje*, przeł. S. Amsterdamski, Warszawa 1999, s. 108.

<sup>6</sup> K. Popper, *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*, Wien 1935, s. 154–185 (wyd. pol.: *Logika odkrycia naukowego*, przeł. U. Niklas, Warszawa 2002, s. 213–247).

<sup>7</sup> K. Popper, *Zur Kritik der Ungenauigkeitsrelationen*, „Die Naturwissenschaften” 1934, Jg. 22, H. 48, s. 807–808 (przedruk w: tegoż, *Frühe Schriften*, Tübingen 2006, s. 393–396); por. K. Popper, *Logik...*, dz. cyt., s. 172–181.

<sup>8</sup> Zob. M. Redhead, *Popper and the Quantum Theory*, w: A. O’Hear (ed.), *Karl Popper: Philosophy and Problems*, Cambridge 1995, s. 163 i n. Popper traktował relacje Heisenberga jako zwykłe relacje rozpraszania.

<sup>9</sup> C.F. von Weizsäcker, „Die Naturwissenschaften” 1934, Jg. 22, H. 48, s. 808.

<sup>10</sup> K. Popper, *Zur Kritik der Ungenauigkeitsrelationen*, 2. Mitt. [A], [B]; przedruki zamieszczone w: K.R. Popper, *Frühe Schriften*, dz. cyt., s. 404–411. Zob. też tegoż, *Ergänzung zu der vorstehenden kurzen Mitteilung* (1934), w: tamże, s. 397–403. Po ukazaniu się *Logiki* Popper ukończył jeszcze duży tekst *Zur Kritik der Ungenauigkeitsrelationen* (tamże, s. 412–447), który się w niej nie znalazł i nie był publikowany.

z powodów ściśle fizycznych<sup>11</sup>, i w końcu go odwołał jako nieporozumienie (uważał go później za swój wielki, wstydlivy błąd<sup>12</sup>). W 1936 r. pojechał do Kopenhagi na II Międzynarodowy Kongres Jedności Nauki (21–26.06.1936), a potem przeprowadził tam, dzięki Victorowi Weisskopfowi, kilkudniowe dyskusje z Bohrem, próbując obalić jego zasadę komplementarności<sup>13</sup> – Bohr, mistrz kwantowych niuansów, bez większego trudu wykazał elementarne błędy w jego rozumowaniach fizycznych i Popper wrócił z Kopenhagi poniekąd intelektualnie upokorzony. Po wojnie, zachęcony rozmowami z oryginalnym fizykiem kwantowym Arthurem Marchem, powrócił z nową energią do zainteresowania QM, teorią prawdopodobieństwa i indeterminizmem (w opozycji do Einsteina, który był zdeklarowanym deterministą), co zaowocowało w latach 50. i 60. szeregiem tekstów poświęconych PI oraz teorii kwantowej, której klasycznie realistyczną, indeterministyczną interpretację uważał za priorytet<sup>14</sup>. Ostrze swojej argumentacji zwrócił też przeciwko próbom jakiegokolwiek modyfikacji klasycznej logiki w kierunku logik kwantowych, atakując w 1968 r. na łamach „Nature” idee von Neumanna i Birkhoffa z 1936 r.<sup>15</sup> Wreszcie jako kulminację trzydziestu lat pracy nad interpretacją QM opublikował w 1982 r. jako trzeci tom *Postscriptum do Logiki* (dedykowany noblistom i, co znaczące, biologom J.C. Ecclesowi i P. Medawarowi) książkę *Quantum Theory and the Schism in Physics*<sup>16</sup>. Rozwija w niej właściwie całą linię rozumowania, jaką podążał w latach 1934–36 w opozycji do Bohra i Heisenberga, proponując nawet nowe doświadczenie z dwiema szczelinami (jak sam twierdził, „rozszerzony argument Einsteina-Podolsky’ego-Rosena” lub jego „uproszczenie”, dalej: P-EPR), które miałyby *eksperymentalnie* obalić interpretację kopenhaską

<sup>11</sup> Faksymilia oraz przekład listu od Einsteina do Poppera z 11.09.1935 r. zostały zamieszczone jako Apendyks \*XII do angielskiego wydania *Logiki*: K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, London – New York 2002, s. 481–488 (wyd. pol.: *Logika...*, dz. cyt., s. 473–480; zob. też. s. 233–243).

<sup>12</sup> M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York 1974, s. 174.

<sup>13</sup> Zob. K. Popper, *Bemerkung zur Komplementaritätsproblem der Quantenmechanik*, w: tegoż, *Frühe Schriften*, dz. cyt., s. 448–449.

<sup>14</sup> K.R. Popper, *Indeterminism in Quantum Physics and Classical Physics*, „British Journal for the Philosophy of Science” 1950, 1 (2), s. 117–133 (Part I) oraz 1 (3), s. 173–195 (Part II); tegoż, *The Propensity Interpretation of the Calculus...*, dz. cyt.; tegoż, *The Propensity Interpretation of Probability*, „British Journal for the Philosophy of Science” 1959, 10 (37), s. 25–42; tegoż, *Quantum Mechanics without „the Observer”*, w: M. Bunge (ed.), *Quantum Theory and Reality*, Berlin – Heidelberg – New York 1967, s. 7–44.

<sup>15</sup> K.R. Popper, *Birkhoff and von Neumann’s Interpretation of Quantum Mechanics*, „Nature” 1968, 219, s. 682–685. Argumenty Poppera streszcza M. Jammer: *The Philosophy...*, dz. cyt., s. 351 i n.

<sup>16</sup> K.R. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, ed. by W.W. Bartley, III, Totowa, N.J. 1982.

lub, alternatywnie, zasadę względności Einsteina<sup>17</sup>. Inny, choć zbliżony eksperyment rozstrzygający zaproponował wraz z fizykami Jean-Pierre'em Vigiérem oraz Augustem Garuccio na łamach prestiżowych „Physics Letters”<sup>18</sup>. Jest pewna głęboka symetria między skromnym artykułem z 1934 r. a naładowaną treścią, emfaticzną książką z 1982 r.: w pewnej mierze osamotniony i z uporem kierując się swoimi naiwnie zdroworozsądkowymi intuicjami<sup>19</sup>, Popper (i niektórzy jego uczniowie) usiłował dokonać czegoś niemożliwego – zamienić QM w pewną stochastyczną mechanikę klasyczną za sprawą samej zmiany interpretacji rachunku prawdopodobieństwa. W walkę o kwantowy realizm Popper – jak wcześniej Einstein czy de Broglie – pragnął zaprząć znajomą statystykę, wyobrażając sobie mikroświat jako wzbogacony o pola świat klasycznych, newtonowskich cząstek z prostymi trajektoriami w przestrzeni. W latach 70., epoce kwantowej relatywistycznej teorii pola (QFT) z cechowaniem, był to już jednak świat bezpowrotnie stracony.

Praktycznie prawie wszystkie formułowane od lat 60. tezy, argumenty i eksperymenty myślowe Poppera dotyczące QM spotkały się z bardzo krytyczną, czasem miążdzącą oceną fizyków, logików oraz filozofów fizyki i w efekcie żaden z nich nie jest do utrzymania w takiej postaci, na jakiej mu zależało, zaś duża część jego zarzutów filozoficznych opiera się na nieporozumieniach dotyczących zarówno matematycznego formalizmu samej teorii, jak i szczegółów fizycznych, w tym i sensu korelacji kwantowych. Popper erystycznie skonstruował swojego oponenta jako „dogmatyczną szkołę kopenhaską”, choć *de facto* nigdy ona nie zaistniała, będąc raczej konglomeratem różniących się poglądów i opinii grupy fizyków pierwszej generacji rewolucji kwantowej, zatem część jego ataków nosi znamiona sofizmu rozszerzenia, na co zwracał uwagę już jego uczeń, Feyerabend, przekonująco broniąc spójności stanowiska Bohra przeciw Popperowi<sup>20</sup>. W 1974 Erhard

<sup>17</sup> Tamże, s. 27–29, oraz tegoż, *Realism in Quantum Mechanics*, w: G. Tarozzi, A. van der Merwe (eds.), *Open Questions in Quantum Physics*, Boston 1985, s. 6 i n. Zob. też: M. Redhead, *Popper...*, dz. cyt., s. 166 i n.

<sup>18</sup> A. Garuccio, K.R. Popper, J.-P. Vigiér, *Possible Direct Physical Detection of de Broglie Waves*, „Physics Letters” A, 1981, 86 (8), s. 397–400; ulepszona wersja z uwzględnieniem krytyki (już bez udziału Poppera): A. Garuccio, V. Rapisarda, J.-P. Vigiér, *New Experimental Set-Up for the Detection of de Broglie Waves*, „Physics Letters” A, 1982, 90 (1–2), s. 17–19.

<sup>19</sup> Tę rolę „zdrowego rozsądku” w fizyce celowo podkreśla nawet tytuł *Przedmowy*, jaką Popper napisał do wydania *Quantum Theory...* z 1982 r.: *On a Realistic and Commonsense Interpretation of Quantum Theory*.

<sup>20</sup> P.K. Feyerabend, *On a Recent Critique of Complementarity*, „Philosophy of Science” 1968, 35 (4), s. 309–331 (Part I) oraz 1969, 36 (1), s. 82–105 (Part II); przedruk w: tegoż, *Realism, Rationalism and Scientific Method (Philosophical Papers, vol. 1)*, Cambridge 1981, s. 247–297. Por. uwagi A. Peresa, *Karl Popper and the Copenhagen Interpretation*, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics” 2002, 33, s. 29, oraz D. Howarda, *Popper and Bohr on Realism in Quantum Mechanics* [1981], „Quanta” 2012, 1 (1), s. 33–57. Feyerabend

Scheibe<sup>21</sup> poddał druzgocącej krytyce tekst Poppera wymierzony w artykuł von Neumanna i Birkhoffa, pokazując, że prezentacja Poppera jest myląca (przypisuje im na przykład założenia, których w ogóle nie poczynili), a jego zarzuty opierają się na niezrozumieniu ich matematycznej argumentacji oraz pewnych szczegółów logiki krat podprzestrzeni przestrzeni Hilberta  $\mathcal{H}$  (w szczególności sensu ortodopełnienia i modularności w  $\mathcal{H}$ , co sprawiło, iż Popper błędnie sądził, że kraty te, jak i QM, są w istocie boolowskie). Błędy matematyczne i chybione zarzuty fizyczne Poppera wobec von Neumanna i Birkhoffa, motywowane jego *idée fixe* kartezyjańskiego traktowania<sup>22</sup> nierówności Heisenberga jako zwykłych mechaniczno-statystycznych efektów rozpraszania cząstek<sup>23</sup>, jeszcze trzydzieści lat później przedstawili równie dobitnie i w szerszym kontekście Maria L. Dalla Chiara i Roberto Giuntini podczas plenarnego wykładu jubileuszowego *Karl Popper 2002 Centenary*

---

kończy swój tekst zdecydowaną konkluzją, iż Popperowska krytyka szkoły kopenhaskiej „nie ma żadnego znaczenia, a jego własna interpretacja jest nieadekwatna”, zaś błędy, o które oskarża Bohra, Heisenberga i innych fizyków, „nie tylko nie zostały popełnione, ale sami Bohr i Heisenberg całkiem otwarcie nawet przed nimi ostrzegali” (tamże, s. 293). Feyerabend jako pierwszy również odnotował fakt posługiwania się taktyką „wymyślenia przygnębiających historycznych mitów” (tamże, s. 293 i n.), jakimi w tym przypadku są tezy o pierwotnym „wielkim błędzie”, któremu ulegli myślący zbiorowo fizycy, niezrozumiejący rzekomo „prawdziwego sensu” QM, odkrytego dopiero przez filozofa. Popper (*Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 2) sam przyznał później z rozbrajającą szczerością, że część jego argumentów w obronie metafizycznego realizmu w fizyce, poza racjonalnymi, to argumenty *ad hominem*, a nawet etyczne, co „subiektywistyczną” filozofię Bohra miałyby czynić „nieakceptowalną”!

<sup>21</sup> E. Scheibe, *Popper and Quantum Logic*, „British Journal for the Philosophy of Science” 1974, 25 (4), s. 319–328. Wcześniej błędy takie wytknęli Popperowi w prywatnej korespondencji tacy matematycy jak J.M. Jauch, A. Ramsay czy C.T. Pool, a dwaj ostatni dwukrotnie przygotowali dla „Nature” krytyczne odpowiedzi (1968/69) na tekst Poppera – niestety nigdy nie ukazały się one drukiem (za: M. Jammer: *The Philosophy...*, dz. cyt., s. 353). W swojej eulogii, nawet Jammer (*Sir Karl Popper and His Philosophy of Physics*, „Foundations of Physics” 1991, 21, s. 1365) uchylił się od zaznaczenia ewidentnych nieporozumień z artykułu z 1968 r.

<sup>22</sup> Częściowa analogia (może nawet *quasi*-teologiczna) konserwatywnej mechaniki Popperowskiej z kartezyjańską nasuwa się w związku z wyobrażeniem Poppera, iż nieredukowalny mikro-indeterminizm ujawnia się jedynie w procesach rozpraszania, jak to wymownie przedstawia Popperowska ilustracja w postaci tablicy ze szpilkami (por. M. Redhead, *Popper...*, dz. cyt., s. 172). Tak jak w systemie Kartezjusza *cala* mechaniczna różnorodność przyrody zależy *wyłącznie* od gwarantowanego przez Boga ruchu (momentalnych zderzeń porcji materii), tak w świecie Poppera *cala* twórczość i nowość zależy od tajemniczej przypadkowości, ujawniającej się w momentach zderzeń *w pełni klasycznych* cząstek – strukturalna rola Boga Kartezjusza przypada skłonnościom-siłom, co miałyby odzwierciedlać czysto stochastyczne relacje komutacyjne QM. Popper (*Wszelchświat otwarty. Argument na rzecz indeterminizmu*, przeł. A. Chmielewski, Kraków 1996, s. 119) retorycznie nazwał Einsteina „Parmenidesem”; być może właściwe byłoby nazwanie Poppera – nie tylko w kontekście jego metafizyki trzech światów i współpracy z J.C. Ecclesem – „Kartezjuszem”?

<sup>23</sup> K.R. Popper, *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 53 i n.; tegoż, *Realism...*, dz. cyt., s. 4 i n.

*Congress* w Wiedniu<sup>24</sup>. Już w 1975 r. Jeffrey Bub<sup>25</sup> przeprowadził także fundamentalną, opartą na logicznej strukturze samej teorii krytykę Popperowskiej interpretacji QM wspartej na PI, która została jednak przez Poppera zupełnie zignorowana (nie jest nawet wzmiankowana w *Quantum Theory...*). Słuszna konkluzja Buba, zbieżna z Feyerabendowską, sprowadza się do faktu, iż PI nie rozwiązuje żadnego z podstawowych problemów interpretacji QM, w szczególności tzw. problemu pomiaru, co wynika z podstawowego twierdzenia *no-go* (które Popper powinien był już znać), iż nie jest możliwe zanurzenie krat kwantowych w boolowskich kratach zdań eksperymentalnych mechaniki klasycznej, zatem ciągłe zapewnienia o rewolucyjności boolowskiej PI w QM są „całkowicie puste”<sup>26</sup> i z perspektywy fizyka mają charakter czysto werbalny (do tego faktu powrócę w dalszej części). Jeszcze wcześniej (1972) miażdżącą krytykę tezy, że sama reinterpretacja klasycznych prawdopodobieństw wystarczy, by rozwiązać wszystkie „paradoksy” i interpretacyjne trudności QM, przeprowadził Neal Grossman<sup>27</sup> (równoległe z łagodniejszą, sympatyzującą z PI analizą Patricka Suppesa<sup>28</sup> i późniejszą Dona Howarda<sup>29</sup>). Podobną krytykę zawarł dziesięć lat później na łamach „*Philosophy of Science*” fizyk-teoretyk N. David Mermin<sup>30</sup> w swojej recenzji obu tomów Poppera,

---

<sup>24</sup> M.L. Dalla Chiara, R. Giuntini, *Popper and the Logic of Quantum Mechanics*, w: I. Jarvie, K. Milford, D. Miller (eds.), *Karl Popper: A Centenary Assessment*, t. III, Aldershot 2006, s. 49–56. Zob. też: tychże, *Popper e la logica della meccanica quantistica*, „*Le Scienze*” 2003, 414, s. 64–70.

<sup>25</sup> J. Bub, *Popper's Propensity Interpretation of Probability and Quantum Mechanics*, w: G. Maxwell, R.M. Anderson (eds.), *Induction, Probability and Confirmation*, Minneapolis, MN 1975, s. 416–429.

<sup>26</sup> Tamże, s. 429.

<sup>27</sup> N. Grossman, *Quantum Mechanics and Interpretations of Probability Theory*, „*Philosophy of Science*” 1972, 39 (4), s. 451–460. Krytyka ta uderza nie tylko w PI Poppera, ale też interpretacje QM H. Margenau i J. Parga, oparte na częstościowym (nawet ściśle Misesowskim) ujęciu prawdopodobieństwa, jak u wczesnego Poppera.

<sup>28</sup> P. Suppes, *Popper's Analysis of Probability in Quantum Mechanics*, w: P.A. Schilpp (ed.), *The Philosophy of Karl Popper*, t. 2, La Salle, Ill. 1974, s. 760–774. Suppes podkreślał (tamże, s. 774), jak J. Bub i inni, że struktura QM sprawia, że nie może ona być żadną standardową mechaniką statystyczną z dobudowaną filozoficzną interpretacją taką jak PI (twierdzenia Gleasona i Kochena-Speckera *nie są* trywialne) – Popper najwyraźniej tego nie rozumiał i w swojej *Quantum Theory...*, jak i później, nie próbował się nawet z tym faktem mierzyć. Załuski w swojej monografii (*Sklonnościowa interpretacja...*, dz. cyt.), pozytywnie oceniając PI jako program metafizyczny, także nie analizuje tego matematyczno-fizycznego problemu (struktury samej QM), wzmiankując go tylko jako jedną z trudności (tamże, s. 181), jak gdyby decydującą kwestią było *à la* Popper, czy „indeterministyczna wizja świata” jest prawdziwa. Z perspektywy filozofa fizyki jest dokładnie odwrotnie.

<sup>29</sup> D. Howard, *Popper and Bohr...*, dz. cyt.

<sup>30</sup> N.D. Mermin, *The Great Quantum Muddle* (recenzja), „*Philosophy of Science*” 1983, 50, s. 651–656 (przedruk w: tegoż, *Boojums All The Way Through*, Cambridge 1990, s. 190–197).

*The Open Universe* i *Quantum Theory...*, wskazując, że QM, którą chciałby uzyskać Popper, nie jest nawet „kwantowa”, zaś boolowska PI nie ma żadnego znaczenia dla rozumienia QM, już choćby dlatego, że to nie prawdopodobieństwa odgrywają w niej podstawową rolę i nie one podlegają zasadzie superpozycji, lecz kwantowe (zespolone) amplitudy, co powoduje, że analogia układu takiego jak atom czy kondensat Bosego-Einsteina z „tablicą ze szpilkami” i opadającymi kulkami jest pozbawiona sensu, co zresztą narusza własne metodologiczne ostrzeżenia Poppera<sup>31</sup>. Żadnej z tych krytyk nie udało się Popperowi odeprzeć, co nie powinno dziwić: nie jest możliwa, z powodów fundamentalnych, transformacja QM w mechanikę *quasi*-klasyczną za pomocą samej tylko (niekołmogorowskiej) PI czy jakiegokolwiek innej interpretacji filozoficznej.

Również Popperowska propozycja eksperymentalnego podważenia zasady komplementarności Bohra i związane z nią argumenty na rzecz PI zostały odrzucone, choć z pewnością nie wszyscy filozoficzni czytelnicy prac Poppera pojęli niuansy nieporozumień fizycznych, na których się opierały (jeszcze w latach 90. P-EPR jako „eksperyment Poppera” przytaczany bywał czasem w tekstach filozoficznych jako realne wyzwanie dla całej standardowej QM<sup>32</sup>). Wnikliwe krytyki, unieważniające oczekiwania Poppera związane z P-EPR oraz wskazujące błędy lub nierealistyczne założenia, które legły u podstaw jego sformułowania, opublikowali już w latach 80. m.in. fizycy i filozofowie: Henry Krips<sup>33</sup>, Peter Milne<sup>34</sup>, Anthony Sudbery<sup>35</sup>, Michael Readhead<sup>36</sup>,

---

Mermin nazywa nawet fizyczne argumenty Poppera, używając jego własnego określenia pod adresem krytykowanych fizyków, „*rubbish*” (tamże, s. 656).

<sup>31</sup> K.R. Popper, *Logika...*, dz. cyt., s. 457–471.

<sup>32</sup> Jednym z ostatnich obrońców falsyfikacyjnej mocy P-EPR i kauzalnie lokalnej, klasycznie stochastycznej, tj. kołmogorowskiej QM bez stanów nieseparowalnych (powszechnie odrzuconej) jest wśród fizyków przyjaciół Poppera, Thomas D. Angelidis, zob. np. tegoż, *On Some Implications of the Local Theory Th(G) and of Popper's Experiment*, w: R.L. Amoroso, G. Hunter, M. Kafatos, J.-P. Vigiier (eds.), *Gravitation and Cosmology: From the Hubble Radius to the Planck Scale*, New York 2002, s. 525–536.

<sup>33</sup> H. Krips, *Popper, Propensities and Quantum Theory*, „British Journal for the Philosophy of Science” 1984, 35, s. 253–292.

<sup>34</sup> P. Milne, *A Note on Popper, Propensities and the Two Slit Experiment*, „British Journal for the Philosophy of Science” 1985, 36, s. 66–70.

<sup>35</sup> A. Sudbery, *Popper's Variant of the EPR Experiment Does Not Test the Copenhagen Interpretation*, „Philosophy of Science” 1985, 52, s. 470–476; tegoż, *Testing Interpretations of Quantum Mechanics*, w: A. van der Merwe, F. Selleri, G. Tarozzi (eds.), *Microphysical Reality and Quantum Formalism*, t. 1, Dordrecht 1987, s. 267–277.

<sup>36</sup> Zob. M. Redhead, *Popper...*, dz. cyt.

Donald Bedford i Franco Selleri<sup>37</sup>, Manfred Stöckler<sup>38</sup> czy Matthew Collet i Rodney Loudon<sup>39</sup>. „Eksperyment Poppera” w zmodyfikowanej wersji (zaadaptowanej do warunków laboratoryjnych, uwzględniającej krytykę Sudbery’ego i Colleta-Loudona) został jednak w 1999 r. faktycznie przeprowadzony w laboratorium przez Yoon-Ho Kima i Yanhua Shiha<sup>40</sup> z wykorzystaniem par splątanych fotonów i soczewek skupiających wiązki na szczelinach, a uzyskane wyniki mogły sprawiać wrażenie, zgodnie z przewidywaniami Poppera (tak jak sześćdziesiąt lat wcześniej Einsteina-Podolsky’ego-Rosena), pozornie naruszających „zasadę nieoznaczoności” Heisenberga i „interpretację kopenhaską”, co dodatkowo wywołało falę sprzecznych komentarzy i powiększyło zamęt w dyskusji<sup>41</sup>. Jednak wyniki tych eksperymentów typu P-EPR, podobnie jak w ogóle wszystkie wyniki eksperymentów typu EPR (których są one wariantem), nie tylko odpowiadają przewidywaniom standardowej QM i nie naruszają tej zasady, ale są w pełni z nią zgodne, choć odmiennie, niż spodziewał się Popper i niektórzy filozofowie. Problem kontrowersji wokół P-EPR tkwi bowiem nie tylko w szeregu fizycznych (choć nie zawsze oczywistych) błędów, ale przede wszystkim w konceptualnych nieścisłościach lub nadużyciach, które prowadzą do fałszywych wniosków lub są nawet w sprzeczności z samym formalizmem QM<sup>42</sup> – w praktyce traktują teorię kwantową jako formę mechaniki *quasi*-klasycznej z pewnymi *quasi*-klasycznymi modyfikacjami i ta hybrydowość przenosi się na rozumienie właściwie wszystkich elementów sytuacji eksperymentalnej, z „obiektami

---

<sup>37</sup> D. Bedford, F. Selleri, *On Popper’s New EPR-Experiment*, „Lettere al Nuovo Cimento” 1985, 42 (7), s. 325–328.

<sup>38</sup> M. Stöckler, *Abschied von Kopenhagen? Karl Popper und die realistische Interpretation der Quantenmechanik*, w: K. Müller, F. Stadler, F. Wallner (hrsg.), *Versuche und Widerlegungen. Offene Probleme im Werk Karl Poppers*, Vienna 1986, s. 353–367.

<sup>39</sup> M.J. Collet, R. Loudon, *Analysis of a Proposed Crucial Test of Quantum Mechanics*, „Nature” 1987, 326, s. 671–672. Popper odpowiedział autorom na łamach „Nature” (1987, 328, s. 675) w charakterystyczny dla siebie sposób – zasłaniając się dyskusją filozoficzną i ignorując ich ściśle fizyczne zarzuty.

<sup>40</sup> Y.-H. Kim, Y. Shih, *Experimental Realization of Popper’s Experiment: Violation of Uncertainty Principle?*, „Foundations of Physics” 1999, 29, s. 1849–1861.

<sup>41</sup> Por. np. wcześniejszą dyskusję w: G. Tarozzi, A. van der Merwe (eds.), *Open Questions...*, dz. cyt., s. 26–32.

<sup>42</sup> Klarowna analiza nieporozumień interpretacyjnych wokół P-EPR w opozycji do Poppera np. w: Y. Shih, Y.-H. Kim, *Quantum Entanglement: From Popper’s Experiment to Quantum Eraser*, „Optics Communications” 2000, 179, s. 357–369; Y. Shih, *The Physics of  $2 \neq 1 + 1$* , w: W.C. Myrvold, J. Christian (eds.), *Quantum Reality, Relativistic Causality and Closing the Epistemic Circle. Essays in Honour of Abner Shimony*, New York – Berlin 2009, s. 157–208; A. Peres, *Karl Popper...*, dz. cyt., s. 23–34; T. Qureshi, *Popper’s Experiment, Copenhagen Interpretation and Nonlocality*, „International Journal of Quantum Information” 2004, 2 (3), s. 407–418; tegoż, *Popper’s Experiment: A Modern Perspective*, „Quanta” 2012, 1 (1), s. 19–32.



kwantowymi”, pomiarami, korelacjami, informacją i prawdopodobieństwami łącznie. Pomimo ogromnego wysiłku, jaki Popper włożył w swoje analizy w *Quantum Theory...*, Feyerabend miał rację: Popper jako metafizyczny konserwatysta zaciemnił lub dogmatycznie zniekształcił to, co klarownie wyraził lub próbował wyrazić Bohr w swojej fizycznej epistemologii dla rewolucyjnie nowej mechaniki. Teoria kwantowa jest czymś o wiele więcej niż zmodyfikowaną mechaniką klasyczną z dyspozycjami – jest zupełnie nową, nieklasyczną teorią prawdopodobieństwa, które nie jest ani częstością, ani zwykłym stopniem przekonania, ani Popperowską skłonnością, zaś nierówności Heisenberga z pewnością nie są „statystycznymi relacjami rozpraszania”<sup>43</sup> cząstek o pewnych mierzonych klasycznych własnościach<sup>44</sup>.

Struktura QM, zarówno w jej nierelatywistycznej wersji, jak i QFT, nakłada rygorystyczne ograniczenia na możliwe interpretacje filozoficzne, w tym sensu miary probabilistycznej, z których najważniejsze wynikają z twierdzeń Gleasona (1957) oraz Kochena-Speckera (1968), pomijając już nawet kwantowe symetrie permutacyjne i cechowania. Podstawowe fenomeny kwantowe (takie jak interferencja), komplementarność i wykluczenie istnienia mikroobiektów kwantowych o wewnętrznych własnościach, czego nie mógł zaakceptować Popper (podobnie jak Einstein), są bezpośrednimi wyrazami tego faktu.

Stan kwantowy złożonego układu, takiego jak splątana para fotonów z eksperymentu typu P-EPR, koduje matematycznie w postaci macierzy gęstości wszystkie jego wewnętrzne korelacje, tj. korelacje między wynikami dowolnych pomiarów wielkości fizycznych na jego podukładach. Korelacje te można rozumieć jako średnie wartości wszystkich możliwych obserwabli układu w określonej chwili  $t + \delta t$ , składających się z produktów poszczególnych obserwabli na wszystkich wyodrębnionych podukładach (w tym przypadku na fotonach rejestrowanych przez detektory). Wśród poszczególnych operatorów przypisanych do podukładów znajdują się (zgodnie z fundamentalnym twierdzeniem o rozkładzie spektralnym) projektory na liniowe podprzestrzenie przestrzeni stanu tych podukładów, zatem można równoważnie powiedzieć, że zbiór powyższych korelacji obejmuje po prostu rozkłady łącznych prawdopodobieństw dla wyników pomiarów na podukładach, co pozwala tak czy inaczej odtwarzać średnie wartości obserwabli. Jak jednak zwrócił Popperowi uwagę już Suppes, w QM *nie ma możliwości* zdefiniowania dla układu, jak w mechanice klasycznej, wszystkich prawdopodobieństw łącznych (dla wszystkich obserwabli), co odkryto w 2. połowie lat 20. XX w. i co było jasne przynajmniej od wykładu Borna i Heisenberga na V Kongresie Solvaya w 1927 r. Strukturalna wyjątkowość QM polega na tym, że nawet znajomość

---

<sup>43</sup> K.R. Popper, *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 54.

<sup>44</sup> Por. A. Peres, *Karl Popper...*, dz. cyt., s. 27 i n.

danych rozkładów prawdopodobieństw łącznych oraz niezmienniczych prawdopodobieństw brzegowych dla poszczególnych podukładów nie pozwala podać zupełnego i spójnego zbioru prawdopodobieństw warunkowych dla wszystkich obserwabli, co sprawia, iż domniemane fizyczne obiekty, niekontekstualne *relata*, na których miałyby być jednocześnie zdefiniowane wszystkie te statystyczne korelacje, nie mogą istnieć<sup>45</sup>. Jest to w gruncie rzeczy ogólne sformułowanie szczegółowego zarzutu, jaki stawiał już Feyerabend pod adresem Popperowskiej interpretacji doświadczenia z dwiema szczelinami: klasyczna interpretacja statystyczna nie potrafi wyjaśnić, dlaczego przy zmianie warunków eksperymentalnych dochodzi do charakterystycznej redystrybucji trajektorii i niektóre z nich jako wartości obserwabli zostają wykluczone, a inne dopuszczone<sup>46</sup>. Kwantowa przestrzeń stanu, niezależnie od preferowanej metafizyki, *nie jest i nie może być* klasycznie mechaniczną przestrzenią fazową i tym samym sens pojęcia „stanu fizycznego” musi ulec tu radykalnej zmianie, co uświadomił sobie Bohr. W tym właśnie momencie Popperowska analogia szczelin i fotonów z tablicą ze szpilekami i spadającymi po przestrzennych trajektoriach kulkami, dla których definiowane są pewne „skłonności”, jest chybiona<sup>47</sup>, nawet jeśli nada im się holistyczne cechy, bez względu na „kopenhaską filozofię”. W QM, nie mówiąc już o QFT, takie mikroobiekty są wykluczone, ponieważ nieklasycznym statystykom podlegają wszystkie ich kwantowe własności, te zaś są sobie równorzędne (żadna nie jest *a priori* wyróżniona, a czasoprzestrzeń nie jest absolutną sceną QM)<sup>48</sup>. Jak się zdaje,

<sup>45</sup> Zob. np. N.D. Mermin, *What Is Quantum Mechanics Trying to Tell Us?*, „American Journal of Physics” 1998, 66, s. 753–767. Na korzyść Poppera może chyba świadczyć, że nawet Born i Heisenberg początkowo nie rozumieli fizycznych konsekwencji tego nowego reżimu probabilistycznego i zwłaszcza Born zdawał się myśleć o *quasi*-klasycznych cząstkach mechaniki i realnych, interferujących polach prawdopodobieństw (por. np. trafne uwagi Poppera dotyczące Heisenberga: *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 5, 17).

<sup>46</sup> P.K. Feyerabend, *On a Recent Critique...*, dz. cyt., s. 322–327; zob. także: M. Stöckler, *Abschied...*, dz. cyt.

<sup>47</sup> Por. N.D. Mermin, *The Great...*, dz. cyt., s. 653. Dlatego na przykład H. Krips (*Popper...*, dz. cyt., s. 267–273) zaproponował modyfikację PI, w której nie wszystkie własności cząstek są jednocześnie fizycznie określone.

<sup>48</sup> Matematycznie możliwe jest (o czym Popper dobrze wiedział: *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 36, 151, 174) konstruowanie QM, takiej jak nierelatywistyczna mechanika bohmska z 1952 r., z parametrami ukrytymi i nieprzemiennością obserwabli, odtwarzającej wszystkie stany statystyczne i wyróżniającej pewne obserwable, np. przestrzenne położenia w absolutnej czasoprzestrzeni (zob. np. C. Philippidis, C. Dewdney, B.J. Hiley, *Quantum Interference and the Quantum Potential*, „Il Nuovo Cimento” 1979, 52 B (1), s. 15–28). Taka mechanika *musi* jednak mieć inne ekstremalnie nieklasyczne, nietrywialne właściwości, takie jak kontekstualność pozostałych obserwabli (wówczas każda cząstka jest co prawda zlokalizowana, ale wszystkie inne zależne od stanu własności, takie jak jej pęd, spin czy energia, są funkcją otoczenia, czyli *de facto* Wszechświata jako całości, co sprawia, że nie jest już nawet *quasi*-klasyczna!). Sam Bohm, motywowany QFT i zasadą względności, porzucił więc tę mechanikę i budował ontolo-

Popper – skupiając się obsesyjnie na „egzorcyzmowaniu ducha”<sup>49</sup> subiektywizmu w fizyce oraz obalaniu komplementarności Bohra – nie rozumiał ściśle fizycznej specyfiki kwantowych korelacji, które odnoszą się do nowego, całkowicie nieklasycznego reżimu procesów przyrody.

Bornowskie prawdopodobieństwa w QM jako takie nie są więc problemem pierwotnym ani kwestią jedynie filozoficzną (przy czym upierał się Popper), gdyż kłopoty PI sięgają głębiej – samej kodowanej algebraicznie struktury kwantowych działań, tzn. algebr opisujących dowolne kwantowe transfery informacji i generujących zupełnie nową termodynamikę. Jeśli stan kwantowy układu  $S$  reprezentowany jest w separowalnej przestrzeni Hilberta  $\mathcal{H}$  i dana jest krata  $\wp(\mathcal{H})$  operatorów rzutowych  $\hat{P}$  na  $\mathcal{H}$ , reprezentujących testowalne stwierdzenia (informacje)  $P$  o  $S$ , wówczas istotnie każdy przeliczalny, maksymalny zbiór zgodnych i wzajemnie ortogonalnych rzutowań (zdań)  $\{\hat{P}_i\} \subset \wp(\mathcal{H})$  jest  $\sigma$ -skończoną algebrą boolowską i możliwe jest określenie miary probabilistycznej  $\mu_c$  spełniającej wszystkie aksjomaty klasycznego, boolowskiego rachunku prawdopodobieństwa, w szczególności boolowską regułę dla prawdopodobieństw warunkowych, jak by chciał Popper dla swojej PI. Termodynamika kwantowa różni się jednak radykalnie od termodynamiki klasycznej, ponieważ odmienna jest geometria opisująca transfer informacji kwantowej między dowolnymi kwantowymi układami, co dobrze odzwierciedlają dawne intuicje Bohra. Zgodnie z twierdzeniem Gleasona, możliwe jest potraktowanie *quasi*-stanów (czy kwantowych „stanów statystycznych”) – macierzy gęstości  $\hat{W}$ , tj. dodatnich operatorów na  $\mathcal{H}$  o jednostkowym śladzie, jako autentycznych stanów fizycznych  $W$ , ponieważ dla  $\dim\mathcal{H} \geq 3$  oraz kraty  $\wp(\mathcal{H})$  w ogólności nieprzemiennej operatorów istnieje uogólniona (nieklasyczna, tzn. nieprzemienna) miara probabilistyczna  $\mu_q(W): \wp(\mathcal{H}) \rightarrow \mathbb{R}$ , tzn. można rozszerzyć dowolną skończoną addytywną lub  $\sigma$ -skończoną miarę na  $\{\hat{P}_i\}$  na całą  $\wp(\mathcal{H})$ , ale oczywiście nie posiada ona wtedy własności addytywności poza szczególnym ograniczeniem do  $\{\hat{P}_i\}$  i jest matematycznie niemożliwe wierne reprezentowanie kwantowych stanów  $W$  za pomocą miar  $\mu_c$  na klasycznej przestrzeni zdarzeń. Innymi słowy, znajoma miara  $\mu_c$  jest tylko szczególnym przypadkiem nieprzemiennej, kwantowej miary  $\mu_q$ . Ma to daleko idące konsekwencje dla kwantowej teorii prawdopodobieństwa i ontologii fizyki: kwantowa statystyka

---

gię „ukrytego porządku”/„holoruchu”, w której nawet położenia przestrzenne nie są wyróżnione (zob. np. B.J. Hiley, *Quantum Mechanics: Harbinger of the Non-Commutative Probability Theory?*, w: H. Atmanspacher, E. Haven, K. Kitto, D. Raine (eds.), *Quantum Interaction. 7th International Conference QI 2013*, Heidelberg – New York 2014, s. 9 i n.). Dla Poppa „Kartezjusza” taka ontologia oparta na nieprzemiennej algebrze kwantowych, redukująca cząstki i lokalne obiekty jako wtórne (emergentne), mimo że realistyczna, była trudną do zaakceptowania ekstrawagancją.

<sup>49</sup> K.R. Popper, *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 35.

jest nieboolowska, nie może być symulowana czy rekonstruowana żadnymi boolowskimi prawdopodobieństwami (funkcjami), a więc każda interpretacja filozoficzna oparta na tych ostatnich jest *bez znaczenia* dla rozumienia QM i QFT, co jasno stwierdził już zignorowany przez Poppera J. Bub<sup>50</sup>.

Innymi słowy, nie jest możliwe potraktowanie przestrzeni  $\wp(\mathcal{H})$  jako kraty elementów statystycznych, która sama jest rzutowaniem pewnej ukrytej, w pełni boolowskiej kraty zdarzeń atomowych, zachowującej relacje funkcyjne obserwabli kwantowych: kwantowa teoria informacji (termodynamika) jest nieredukowalna do klasycznej, a  $\mu_q$  nie może definiować klasycznych częstości, skłonności układów, ani „stopni przekonania” klasycznego obserwatora. Popper chciał odzyskać metodami czysto filozoficznymi (przez reinterpretację prawdopodobieństwa) klasyczną przestrzeń fazową – z trywialną, boolowską zasadą aktualizacji informacji o układzie – z algebry  $\wp(\mathcal{H})$ , ale istota problemu tkwi w tym, że żadna tego typu procedura nie może się powieść, jeśli chcemy za pomocą zwykłej statystyki zredukować nierówności Heisenberga jako „trywialnie” mechaniczne. W tym sensie porażka P-EPR i „kartezjańskiej mechaniki kwantowej” Poppera, jako broni przeciwko tym ostatnim, jest fizyczną ilustracją nieklasyczności kwantowej teorii informacji, w której prawdopodobieństwa warunkowe i informacyjna entropia warunkowa posiadają własności skrajnie odmienne od ich klasycznych odpowiedników (w szczególności kołmogorowskich). Dodatkowo przestrzeń  $\mathcal{H}$  i miara  $\mu_q(W)$  na niej (z nierelatywistycznej QM) to za mało, ponieważ w relatywistycznej QFT czy nawet termodynamice kwantowej sama przestrzeń Hilberta, nie tylko skończenie wymiarowa, jest czasem niedefiniowalna i potrzebne są radykalnie odmienne matematycznie, nieprzemienne algebry operatorów ( $W^*$ -algebry) innego typu, np. nieposiadające w ogóle rzutowań minimalnych jak w  $\mathcal{H}$ , choć oczywiście można na nich również zdefiniować stany, odpowiednie rzutowania

---

<sup>50</sup> J. Bub, *Popper's Propensity...*, dz. cyt., s. 419–428. W tym sensie wysiłki Poppera (i nie tylko jego) od początku skazane były na niepowodzenie. Tłumaczy to też, dlaczego skierował swój chybiony atak na von Neumanna i Birkhoffa, ponieważ to właśnie geometria  $\wp(\mathcal{H})$  rzutowań i stanów normalnych na  $\mathcal{H}$  przesądza kwantową naturę generowanych statystyk (por. np. M.L. Dalla Chiara, R. Giuntini, *Popper...*, dz. cyt.; *Popper e la logica...*, dz. cyt.). Nieprzemienne uogólnienie prawdopodobieństw warunkowych, wymuszone przez kwantowe statystyki, nie spełnia warunku ich addytywności względem warunkujących zdarzeń (co filozoficznie jest bardzo trudno zinterpretować i stanowi, wbrew Popperowi, prawdziwe wyzwanie dla ontologii fizyki). Gdyby było inaczej, boolowska PI miałaby szansę, a słynna „redukcja funkcji falowej” byłaby rzeczywiście problemem fizycznie trywialnym. Można zgodzić się z Merminem (*The Great...*, dz. cyt., s. 653), iż sugerowanie przez Poppera, że „interpretacja kopenhaska” byłaby niepotrzebna, gdyby tylko Bohr czy Heisenberg lepiej rozumieli naturę prawdopodobieństw warunkowych (zob. np. tegoż, *Realism...*, dz. cyt., s. 19), jest tyleż filozoficzną arogancją, co zaskakującą ignorancją. Właśnie dlatego, że rozumieli, próbowali wypracować spójną interpretację *zupełnie nowej* mechaniki.

oraz uogólnioną kwantową miarę probabilistyczną. Innymi słowy, wielu układów kwantowych nie da się opisać nawet przy użyciu przestrzeni Hilberta i jej  $\wp(\mathcal{H})$ , co radykalizuje problemy z nadaniem jakiegokolwiek sensu pojęciu „skłonności”, które miałyby wykazywać jakieś mechaniczne „obiekty” z „tendencjami” do zachowania.

Z perspektywy ściśle filozoficznej, próby wprowadzania skłonnościowej interpretacji prawdopodobieństw kwantowych są w tak samo trudnej (jeśli nie beznadziejnej) sytuacji, co interpretacje częstościowe czy bayesowskie, i źródłem ich problemów jest skrajnie nieklasyczna  $\mu_q$  przestrzeni kwantowych. Filozof fizyki zainteresowany teorią prawdopodobieństwa powinien więc, dokładnie odwrotnie niż Popper, zaczynać od  $\mu_q$ , a nie od  $\mu_c$ : własności klasycznych prawdopodobieństw nie rzucają żadnego światła na procesy kwantowe (choć możliwa jest sytuacja odwrotna!). Odpowiednie kwantowe uogólnienia prawdopodobieństw warunkowych czy informacyjnej entropii warunkowej nie pozostawiają złudzeń: proste problemy z interpretacją P-EPR, które zajmowały Poppera, to jedynie drobny wycinek fizyki mikroskali, w której transfery informacji między dowolnymi układami naruszają klasyczne reguły, co ma *bezpośrednie, fizycznie obserwowalne* konsekwencje. Popper pochopnie (i również zdroworozsądkowo) sądził, że jeśli eksperyment P-EPR da wyniki niezgodne z jego oczekiwaniami (co w istocie się stało, jak w przypadku doświadczeń typu EPR), może to wskazywać na istnienie fizycznych oddziaływań nielokalnych we Wszczęświecie (dynamicznej nielokalności, pogwałcającej teorię względności i wskazującej absolutną newtonowsko-lorentzowską przestrzeń)<sup>51</sup>, ale nawet ten wniosek jest nieuprawniony jako artefakt klasycznego myślenia o mechanice. W istocie, kwantowa nieseparowalność stanów układów *jest* niewytłumaczalna na gruncie fizyki klasycznej i wymusza nietrywialny holizm obcy tej ostatniej, ale *nie musi* oznaczać bezpośredniej przestrzennej nielokalności, a już na pewno nie wprowadza żadnego nowego „eteru”.

Czy trwająca pół wieku batalia Poppera z QM miała jakieś pozytywne strony? Z pewnością. P-EPR jako rzucone wyzwanie, podobnie jak wcześniej eksperyment myślowy EPR, wywołał sporą dyskusję nawet wśród samych fizyków, choć ostatecznie, zgodnie z oczekiwaniami, QM wyszła z laboratorium bez szwanku w sposób, jaki Popperowi trudno byłoby zaakceptować. Co więcej, wykonano całe serie kolejnych eksperymentów, które jeszcze dobitniej

<sup>51</sup> K.R. Popper, *Quantum Theory...*, dz. cyt., s. 29 i n.; tegoż, *Realism...*, dz. cyt., s. 11 i n. Popper znał wyniki eksperymentu zespołu A. Aspecta (1982) i pochopnie sądził, że mógłby on być, podobnie jak jego P-EPR, eksperymentem rozstrzygającym pomiędzy czasoprzestrzenią einsteinowską a lorentzowską z eterem. Jak broniący go Angelidis ze swoją teorią *Th(G)*, błędnie też uważał, że oba mogą mieć klasyczno-mechaniczny, statystyczny model.

ilustrują efekty kwantowe bez żadnej możliwości klasycznej symulacji<sup>52</sup>. Po drugie, Popper słusznie opierał się dogmatycznej tezie, że QM musi być teorią ostateczną i zupełną. Możliwe, że istnieje teoria ogólniejsza niż standardowa QM i na pewnym etapie rozwoju fizyki jej zaakceptowanie może okazać się nieuniknione, ale nawet jeśli tak jest, teoria ta musi mieć własności radykalnie odbiegające od tego, na co Popper mógłby się zgodzić. Po trzecie, Popper miał rację, że filozofia nie musi i nie powinna porzucać realistycznej metafizyki tylko dlatego, że w samej filozofii nauki szczególnym powodzeniem cieszy się okazjonalnie nastawienie instrumentalistyczne czy antyrealistyczne. Ontologiczny realizm jest, rzecz jasna, fundamentalną opcją, tyle że teoria kwantowa wymaga konstruowania zupełnie nowych jego form – nie ma powrotu do realizmu naiwnego<sup>53</sup> i konserwatyzm wyobraźni filozoficznej w niczym nie będzie pomocny. Porażka Poppera i jego sposobu czy nawet stylu argumentacji jest w tym zakresie bardzo pouczająca. I wreszcie po czwarte, Popper słusznie dostrzegał ogromną, konstruktywną rolę „metafizycznych programów badawczych” w historii fizyki i nauki w ogóle; nie ma powodów, by tak nie mogło być nadal, pomimo niesłychanej specjalizacji fizyki teoretycznej. Zapominał chyba jednak o tym, że równie często pełnią one rolę hamującą i obstrukcyjną, gdyż metafizyczny konserwatyzm jest częstszy wśród filozofów, niż przewiduje to ich autodeskrypcja jako rewolucjonistów myśli. PI jest mniej rewolucyjna, niż sądził Popper, i o wiele za mało, by mogła uchwycić specyfikę procesów kwantowych. Kwantowy reżim przyrody w istocie może być głęboko indeterministyczny w obiektywnym sensie, ale w żadnym razie nie oznacza to tym samym, że klasyczne pojęcie „skłonności” i związane z nim zdroworozsądkowe wyobrażenia (klasycznych obiektów w przestrzeni z „otwartą przyszłością” i asymetrii „płynącego” czasu) są jakkolwiek przydatne w metafizycznym wyrażeniu czy opracowaniu tego faktu.

---

<sup>52</sup> Zob. np.: T.J. Herzog, P.G. Kwiat, H. Weinfurter, A. Zeilinger, *Complementarity and the Quantum Eraser*, „Physical Review Letters” 1994, 75 (17), s. 3034–3037; Y. Shih, Y.-H. Kim, *Quantum Entanglement...*, dz. cyt.; Y. Shih, *The Physics...*, dz. cyt.

<sup>53</sup> Tę pełną zniecierpliwienia naiwność postawy metafizycznej Poppera widać już w sposobie, w jaki przedstawia swoje realistyczne stanowisko – np. w: tegoż, *Realism...*, dz. cyt., s. 3 i n. Wziąwszy pod uwagę bogactwo dyskusji w obszarze metafizyki i filozofii fizyki, mamy prawo oczekiwać od filozofa czegoś więcej niż emfaticznych argumentów ze „zdrowego rozsądku” i *everyman's belief*.

## Streszczenie

Artykuł zawiera krótki przegląd i ocenę propozycji w zakresie interpretacji mechaniki kwantowej, jakie wysunął Popper w oparciu o swą własną skłonnościową interpretację prawdopodobieństwa. Żaden z wysuniętych przez Poppera argumentów, mających na celu obalenie Bohrowskiej zasady komplementarności, przedstawienie nierówności Heisenberga jako stochastycznych relacji rozpraszania cząstek czy traktowanie kwantowych prawdopodobieństw jako „skłonności”, nie da się utrzymać, co wynika z faktu, że teoria kwantowa, zarówno nierelatywistyczna, jak i relatywistyczna, jest całkowicie nieklasyczną (nieboolowską) teorią prawdopodobieństwa. Ma to daleko idące konsekwencje dla prób realistycznego jej interpretowania i błędy Poppera mogą być w tym zakresie pouczające.

