Filozofia Nauki
Rok IX, 2001, Nr 4(36)

Eugeniusz Żabski

Próby zastosowań nihilistycznych rachunków zdań w fizyce

Jak wiadomo, na początku XX wieku fizycy natrafili na pewne zaskakujące «sprzeczności». Oto pewne doświadczenia fizyczne niezbicie świadczą o tym, że światło ma naturę korpuskularną, tj. składa się z cząstek. Inne zaś eksperymenty dowodzą ponad wszelką wątpliwość, że ma ono charakter falowy. Jakże to jednak jest możliwe, by światło było zarazem cząstką (czyli substancją skupioną w bardzo małym obszarze przestrzeni) i falą (i a więc czymś bardzo szeroko rozpościerającym się w przestrzeni)?

Jak się zdaje, fizycy posługują się dwoma językami: językiem matematyki i językiem zbliżonym do potocznego. Język matematyki zwięźle i ściśle (za pomocą wzorów algebraicznych) ujmuje pewne zależności zachodzące w przyrodzie. Natomiast za pomocą języka zbliżonego do potocznego fizycy mówią o swoich eksperymentach i interpretują je.

H. Reichenbach sądził, że u podstaw języka matematyki leży dwuwartościowa logika klasyczna, natomiast podstawą tego drugiego języka ma być nieklasyczna logika trójwartościowa. Uważał w szczególności, że prawa mechaniki kwantowej są dwuwartościowe, ale rozumowania ich dotyczące podlegają logice trójwartościowej. Inaczej na tę sprawę zapatrywała się P. Destouches-Février. Sądziła ona mianowicie, że logika jest teorią bytu i że odzwierciedla ogólne własności świata. Według niej jakaś teoria logiczna może odzwierciedlać własności pewnej dziedziny świata, lecz nie odzwierciedlać innej. Klasyczna logika — jej zdaniem — odzwierciedla własności makroświata, ale nie odzwierciedla własności mikroświata. Te ostatnie mogą być — jej zdaniem — odzwierciedlone jedynie przez logikę trójwartościową. Niezależnie od tego, kto ma rację: Reichenbach, czy Destouches-Février, zdaje się, że jakaś nieklasyczna logika, która jest albo logiką odzwierciedlającą własności mikroświata, albo tylko logiką rozumowań dotyczących owego mikroświata, jest fizykom potrzebna. Nic więc dziwnego, że próby konstrukcji takich logik podejmowane są już od dawna. Najważniejsze z nich to: rachunek zbudowany w 1936r. przez G. Birkhoffa i J. von Neumanna oraz systemy skonstruowane przez P. Destouches-Février i H. Reichenbacha. Więcej informacji na temat powyższych logik i poglądów ich autorów znaleźć można m.in. w [Zinowiew, 1963]. Inne próby konstrukcji takich logik, znacznie prostszych od wyżej wymienionych i z tego względu zasługujących na dokładniejsze omówienie, to nihilistyczne rachunki zdań (w skrócie: *NRZ*). Przedstawimy teraz pokrótce owe rachunki (dokładniejsze ich omówienie znaleźć można w [Żabski, 1995]).

Zaczynamy od opisu języków tych rachunków oznaczonych symbolami odpowiednio: jn_2, jn_3 i jn_4. Alfabet języka jn_2 (jn_3, jn_4) składa się z następujących symboli:

(1) stałych logicznych: $\sim$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\equiv$ czytanych odpowiednio: nieprawda, że; i; lub; jeśli..., to...; wtedy i tylko wtedy, gdy;

(2) zmiennych zdaniowych: $p, q, r, \ldots$;

(3) znaków technicznych, tj. nawiasów i przecinków;

(4) funktorów: T, F, N (M, N, M) czytanych odpowiednio: prawdą jest, że; fałszem jest, że; nieokreślone jest, że; niejednoznaczne jest, że.

Wyrażeniem języka $jn_2(jn_3, jn_4)$ jest każdy skończony ciąg symboli alfabetu języka $jn_2(jn_3, jn_4)$. Z kolei formułą języka $jn_2(jn_3, jn_4)$ jest każde i tylko takie wyrażenie języka $jn_2(jn_3, jn_4)$, które spełnia następujące warunki:

(1) Każda zmienna zdaniowa jest formułą języka $jn_2(jn_3, jn_4)$.

(2) Jeśli A jest formułą języka $jn_2(jn_3, jn_4)$, to wyrażenia postaci: $\sim(A)$, T(A), F(A) są także formułami języka $jn_2(jn_3, jn_4)$.

(3) Jeśli A jest formułą języka $jn_2(jn_4)$, to wyrażenie postaci: N(A) jest także formułą języka jn_2 (jn_4).

(4) Jeśli A jest formułą języka $jn_3(jn_4)$, to wyrażenie postaci: M(A) jest także formułą języka $jn_3(jn_4)$.

(5) Jeśli A i B są formułami języka $jn_2(jn_3, jn_4)$, to wyrażenia postaci: $(A) \wedge (B)$, $(A) \vee (B)$, $(A) \rightarrow (B)$, $(A) \equiv (B)$ są także formułami języka $jn_2(jn_3, jn_4)$.

Prawdę, fałsz, nieokreśloność i niejednoznaczność nazywamy wartościami logicznymi. Niech 1, 0, −1, ½ będą symbolami zdań odpowiednio: prawdziwego, fałszywego, nieokreślonego i niejednoznacznego.

Funktory: $\sim$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\equiv$, T, F, N w *NRZ* n_2 określone są przez następujące tabelki:

p	$\sim p$	Tp	Fp	Np
−1	−1	0	0	1
0	1	0	1	0
1	0	1	0	0

$\wedge$	-1	0	1
-1	-1	-1	-1
0	-1	0	0
1	-1	0	1

$\vee$	-1	0	1
-1	-1	0	1
0	0	0	1
1	1	1	1

$\rightarrow$	-1	0	1
-1	1	1	1
0	1	1	1
1	0	0	1

$\equiv$	-1	0	1
-1	1	1	0
0	1	1	0
1	0	0	1

Zaś funktory: ~, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\equiv$, T, F, M, w *NRZ* n_3 zdefiniowane są przez następujące matryce:

p	$\sim p$	Tp	Fp	Mp
0	1	0	1	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	1
1	0	1	0	0

$\wedge$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	0	0
$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
1	0	$\frac{1}{2}$	1

$\vee$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	$\frac{1}{2}$	1
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
1	1	1	1

$\rightarrow$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	1	1	1
$\frac{1}{2}$	0	1	1
1	0	1	1

$\equiv$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	1	0	0
$\frac{1}{2}$	0	1	1
1	0	1	1

Natomiast sens funktorom: ~, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\equiv$, T, F, N, M w *NRZ* n_4 nadają następujące tabelki:

p	p	Tp	Fp	Np	Mp
-1	-1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	0	1
1	0	1	0	0	0

$\wedge$	-1	0	$\frac{1}{2}$	1
-1	-1	-1	-1	-1
0	-1	0	0	0
$\frac{1}{2}$	-1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
1	-1	0	$\frac{1}{2}$	1

$\rightarrow$	-1	0	$\frac{1}{2}$	1
1	1	1	1	1
0	1	1	1	1
$\frac{1}{2}$	0	0	1	1
1	0	0	1	1

$\vee$	-1	0	$\frac{1}{2}$	1
-1	-1	0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	0	$\frac{1}{2}$	1
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
1	1	1	1	1

$\equiv$	-1	0	$\frac{1}{2}$	1
-1	1	1	0	0
0	1	1	0	0
$\frac{1}{2}$	0	0	1	1
1	0	0	1	1

Łatwo zauważyć, że gdybyśmy we wszystkich powyższych matrycach funktorów: $\sim$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\equiv$ wykreślili wiersze i kolumny, w których argumentami tych funktorów są bądź zdania nieokreślone (-1), bądź niejednoznaczne ($\frac{1}{2}$), otrzymalibyśmy matryce owych funktorów w klasycznym rachunku zdań (*KRZ*). *NRZ* n_2, n_3 i n_4 traktować zatem można jako „uzupełnienia", czy też „rozszerzenia" *KRZ*.

Wartością wyróżnioną w *NRZ* n_2 jest prawda (1). Natomiast wartościami wyróżnionymi w *NRZ* n_3 i n_4 są: prawda (1) i niejednoznaczność ($\frac{1}{2}$).

Tautologią (prawem) *NRZ* $n_2(n_3, n_4)$ jest każda i tylko taka formuła języka jn_2 (jn_3, jn_4), która przy dowolnym wartościowaniu przyjmuje wartość wyróżnioną. Kontrtautologią zaś *NRZ* $n_2(n_3, n_4)$ jest z kolei każda i tylko taka formuła języka jn_2 (jn_3, jn_4), która przy żadnym wartościowaniu nie przyjmuje wartości wyróżnionej.

Łatwo sprawdzić, że np. alternatywa: $p \vee \sim p$ i negacja: $\sim(p \wedge \sim p)$ są tautologiami *NRZ* n_3, nie są jednak tautologiami ani n_2, ani n_4 (nie są też kontrtautologiami ani n_2, ani n_4). Łatwo też sprawdzić, że negacja: $\sim(p \vee \sim p)$ oraz koniunkcja: $p \wedge \sim p$ są kontrtautologiami n_2, nie są jednak kontrtautologiami ani n_3, ani n_4 (nie są także tautologiami ani n_3, ani n_4). Łatwo również sprawdzić, że koniunkcja: $\mathrm{T}p \wedge \mathrm{F}p$ jest kontrtautologią *NRZ* n_2 i n_3, nie jest jednak kontrtautologią *NRZ* n_4 (nie jest również tautologią n_4). Łatwo wreszcie sprawdzić, że negacja: $\sim(\mathrm{T}p \wedge \mathrm{F}p)$ jest tautologią n_2 i n_3, nie jest jednak tautologią n_4 (ani też kontrtautologią n_4).

To, że *NRZ* n_3 i n_4 sankcjonują wyniki eksperymentów dotyczących natury światła jest oczywiste. Na gruncie tych rachunków uznać bowiem można zarówno zdanie: „Światło ma naturę korpuskularną", jak i zdanie: „Nieprawda, że światło ma naturę korpuskularną" nie uzyskując przy tym sprzeczności. Na gruncie *NRZ* n_4 z kolei można nawet uznać zdania: „Prawdą jest, że światło ma naturę korpuskularną" oraz „Fałszem jest, że ma ono naturę korpuskularną" i nie prowadzi to do sprzeczności.

W rozdziale X słynnej książki *Fizyka a filozofia* W. Heisenberg stwierdza, że zarówno język, jak i aparatura pojęciowa, którą posługują się fizycy opisując i interpretując wyniki swych doświadczeń, nie nadają się do opisu mikroświata. Ów język jest, jego zdaniem, nieścisły, a aparaturę pojęciową należy zmodyfikować:

> W szczególności należy zmodyfikować pewne podstawowe twierdzenie logiki klasycznej. W logice tej zakłada się, że jeśli tylko zdanie ma jakiś sens, to bądź ono samo, bądź jego negacja — musi być zdaniem prawdziwym. Z dwóch zdań: 'Tu znajduje się stół' oraz 'Tu nie ma stołu' — jedno musi być prawdziwe. *Tertium non datur*, trzecia możliwość nie istnieje. Może się zdarzyć, że nie wiemy, które z dwóch zdań jest prawdziwe, ale w «rzeczywistości» jedno z nich jest prawdziwe.

W teorii kwantów to prawo *tertium non datur* ma ulec modyfikacji. Przeciwko wszelkim próbom modyfikacji tego podstawowego twierdzenia można oczywiście od razu zaoponować, powołując się na argument, że twierdzenie to jest słuszne, jeśli chodzi o język potoczny, i że co najmniej o ewentualnej modyfikacji logiki musimy mówić posługując się właśnie tym językiem [...].
Ewentualna modyfikacja logiki klasycznej dotyczyłaby przede wszystkim tego poziomu języka, który odnosi się do obiektów. Wyobraźmy sobie, że atom porusza się w zamkniętej komorze przedzielonej przesłoną na dwie równe części. W przesłonie jest mały otwór, przez który atom może się przedostać. Zgodnie z logiką klasyczną atom powinien znajdować się bądź w lewej, bądź w prawej części komory, trzecia możliwość nie istnieje, *tertium non datur*. Z punktu widzenia teorii kwantów, musielibyśmy jednak dodać, jeśli mielibyśmy w ogóle posługiwać się w niej takimi pojęciami, jak atom i komora, że istnieją jeszcze inne możliwości, z których każda stanowi pewien dziwny splot dwóch poprzednio wymienionych. Jest to teza niezbędna do wytłumaczenia wyników naszych doświadczeń [Heisenberg 1965, 187—188].

Dalej Heisenberg opisuje wspomniane doświadczenia i zwraca uwagę na pewne trudności, m.in. następujące:

W logice klasycznej stosunek między rozmaitymi szczeblami języka jest stosunkiem odpowiedniości jedno-jednoznacznej. Dwa zdania: 'Atom znajduje się w lewej części komory' i 'Prawdą jest, że atom znajduje się w lewej części komory' — z punktu widzenia logiki należą do różnych poziomów języka. W logice klasycznej te dwa zdania są całkowicie równoważne w tym sensie, że oba są bądź prawdziwe, bądź fałszywe. Jest rzeczą niemożliwą, aby jedno z nich było prawdziwe, drugie zaś — fałszywe. Natomiast w logicznym schemacie komplementarności zależność ta jest bardziej skomplikowana. Prawdziwość (lub fałszywość) pierwszego zdania nadal implikuje prawdziwość (*resp.* fałszywość) drugiego. Jeśli jednak drugie zdanie jest fałszywe, to z tego nie wynika, że fałszywe jest zdanie pierwsze. Jeśli drugie zdanie jest fałszywe, to może być kwestią nie rozstrzygniętą, czy atom znajduje się w lewej części komory, atom nie musi koniecznie znajdować się w prawej części. Istnieje tu więc nadal pełna równoważność dwóch poziomów języka, jeśli chodzi o prawdziwość zdań, nie ma jej jednak, jeśli chodzi o ich fałszywość [Heisenberg 1965, 190—191].

Zauważmy, że powyższe «trudności», na które wskazuje Heisenberg, na gruncie logik nihilistycznych znikają. I tak:

1. Zdania: (a) „Atom znajduje się w lewej części komory" i (b) „Prawdą jest, że atom znajduje się w lewej części komory" z punktu widzenia logik nihilistycznych należą do tego samego poziomu języka.

2. W logikach nihilistycznych, analogicznie jak w logice klasycznej, zdania (a) i (b) są równoważne w tym sensie, że oba te zdania mają zawsze tę samą wartość logiczną. W logikach nihilistycznych ponadto — w przeciwieństwie do logiki klasycznej — zdania te są logicznie równoważne, tzn. że z każdego z nich wynika (na mocy prawa $\mathrm{T}p \equiv p$) — drugie.

3. Na gruncie logik nihilistycznych n_2 i n_4 jeśli zdanie (b) jest fałszywe, to z tego nie wynika fałszywość zdania (a), gdyż w logikach tych, jak łatwo stwierdzić, nie jest prawem wyrażenie: $\mathrm{FT}p \rightarrow \mathrm{F}p$.

4. Łatwo zauważyć, że w logikach nihilistycznych n_2 i n_4 zamiast prawa wyłączonego środka ($p \vee \sim p$) obowiązuje nieco słabsze, zmodyfikowane i — jak się wydaje — dostosowane do potrzeb teorii kwantów następujące prawo: $p \vee \sim p \vee \mathrm{N}p$.

Konkludując: Ponieważ *NRZ* n_2 i n_4 są modyfikacjami logiki klasycznej zgodnymi z wymogami teorii kwantów, wydaje się więc, że mogą być one z powodzeniem użyte do opisu pewnych zjawisk mikroświata.

NRZ mogą też z powodzeniem być użyte do opisu słynnego eksperymentu myślowego zwanego „paradoksem kota Schrödingera".

Umieszczamy kota w zapieczętowanym pudle. Mierzymy w niego strzelbą, która wystrzeli, gdy nastąpi rozpad jądra atomu pierwiastka radioaktywnego. Prawdopodobieństwo tego zdarzenia wynosi ½.

Zdrowy rozsądek podpowiada nam, że kot ma 50% szans na przeżycie i bez zaglądania do pudła możemy powiedzieć, że kot jest albo żywy, albo martwy. To zdroworozsądkowe podejście kłóci się jednak z konsekwencjami teorii kwantów. Otóż zgodnie z tzw. kopenhaską interpretacją teorii kwantów żadna z tych dwóch nie jest realna, dopóki nie zostanie zaobserwowana. Rozpad jądra atomu pierwiastka radioaktywnego ani nastąpił, ani nie nastąpił, kot nie jest ani żywy, ani martwy, dopóki nie zajrzymy do środka i nie zobaczymy, co się stało. Fizycy hołdujący kopenhaskiej interpretacji teorii kwantów mówią, że kot znajduje się w pewnym nieokreślonym stanie, ani martwym, ani żywym, tak długo, aż obserwator nie zajrzy do pudła i nie sprawdzi, co się dzieje. Krótko mówiąc: nic nie jest rzeczywiste, dopóki nie zostanie zaobserwowane. Ta dziwna konsekwencja była nie do przyjęcia dla wielu fizyków, np. dla Einsteina. Z tego względu odrzucali oni kopenhaską interpretację teorii kwantów.

Inną, nie pociągającą owej solipsystycznej w gruncie rzeczy konsekwencji, ale z kolei obciążoną dużym bagażem metafizycznym próbą rozwiązania „paradoksu kota Schrödingera" jest Hugh'a Everetta teoria wielu światów. Według tej teorii istnieje wiele — być może nieskończenie wiele światów, w których historia potoczyła się nieco (albo zupełnie) inaczej niż w naszym świecie. Są — być może — światy, w których Polska jest monarchią rozpościerającą się „od morza, do morza", a Piłsudski nie był Naczelnikiem Państwa, a tylko naczelnikiem poczty. Są — być może — światy, w których nigdy nie było ani Marszałka Piłsudskiego, ani nawet Polski. Światy te są „odległe" od naszego i w zasadzie dla nas niedostępne.

Teoria wielu światów, acz nie przez wszystkich fizyków uznawana, przez wielu z nich traktowana jest bardzo poważnie.

„Paradoks kota Schrödingera" w teorii Everetta rozwiązuje się niezwykle prosto. Kot Schrödingera istotnie może być równocześnie żywy i martwy, ale w dwu (lub więcej) różnych światach. Zgodnie z teorią wielu światów nie ma nic zaskakującego w tym, że kot jest żywy i martwy równocześnie. Zgodnie z tą teorią w jednym ze światów pudło zawiera kota żywego, a w innym świecie w takim samym pudle leży martwy kot. John Gribbin [Gribbin 1997, 222] pisze na ten temat tak:

Równania mechaniki kwantowej mówią nam, że wewnątrz pudła w myślowym eksperymencie Schrödingera istnieje wersja «żywa» i wersja «martwa» słynnego kota, obie wersje są równie rzeczywiste. Konwencjonalna interpretacja kopenhaska traktuje te dwie możliwości z innej perspektywy i mówi, że obie funkcje falowe są jednakowo nierzeczywiste, i że tylko jedna z nich wykrystalizowuje się w rzeczywistość, gdy zajrzymy do środka pudła. Wersja Everetta uznaje równania kwantowe i mówi, że oba koty są rzeczywiste. Jest żywy kot i jest kot martwy, ale istnieją one w różnych światach. To nie tak, że radioaktywny atom wewnątrz pudła albo rozpadł się, albo nie — on zrobił jedno i drugie, a zmuszony do podjęcia decyzji świat rozszczepił się na dwie wersje samego siebie, dwa pod każdym względem identyczne wszechświaty — z jednym wyjątkiem: w jednym z nich atom się rozpadł i kot zginął, podczas gdy w drugim atom się nie rozpadł i kot przeżył. To brzmi jak fantastyka naukowa, ale w istocie sięga znacznie głębiej, a oparte jest na równaniach matematycznych będących konsystentną i logiczną konsekwencją potraktowania mechaniki kwantowej dosłownie.

Teoria Everetta nie tylko niezwykle klarownie rozwiązuje „paradoks kota Schrödingera", ale rzuca także pewne światło na koncepcję zdań równocześnie prawdziwych i fałszywych. Przestaje być zagadką to, jak zdanie dotyczące rzeczywistości może być prawdziwe i fałszywe równocześnie. Otóż, to samo zdanie jest prawdziwe w jednym świecie, podczas gdy w innym — jest fałszywe. Teoria wielu światów rozjaśnia więc koncepcję zdania zarazem prawdziwego i fałszywego, z kolei *NRZ* n_3,n_4 — jak się wydaje — dają znaczne wsparcie rachunkowe teorii Everetta. Zatem teoria wielu światów i *NRZ* n_3 i n_4 w pewnym sensie potwierdzają się wzajemnie.

Odnotujmy jeszcze jedną próbę rozwiązania „paradoksu kota Schrödingera". Jest to wyjaśnienie podane przez S. Hawkinga. Ten najsłynniejszy obecnie fizyk godzi (niekiedy kosztem klarowności) oba powyżej zaprezentowane sposoby rozwiązania „paradoksu kota Schrödingera" a jednocześnie proponowana przez niego interpretacja teorii kwantów wyjaśniająca ów paradoks wolna jest od niepożądanych konsekwencji zarówno kopenhaskiej interpretacji teorii kwantów jak i teorii wielu światów: do konsekwencji Hawkinga interpretacji teorii kwantów wyjaśniającej „paradoks kota Schrödingera" nie należy bowiem ani swoisty solipsyzm, ani nadmierny bagaż metafizyczny.

Zdaniem Hawkinga zanim pudło z owym kłopotliwym kotem zostanie otwarte, to „stan kwantowy kota będzie mieszaniną stanu kota martwego ze stanem, w którym kot żyje". Ów «dziwny» ze zdroworozsądkowego punktu widzenia fakt Hawking wyjaśnia następująco:

Dla niektórych filozofów nauki jest to bardzo trudne do przyjęcia. Twierdzą, że kot nie może być na wpół zabity i na wpół żywy, tak jak nie można być trochę w ciąży. Ich wątpliwości wynikają z tego, że stosują oni klasyczne pojęcie rzeczywistości, w której dany obiekt ma jedną określoną historię. A cała zasada mechaniki kwantowej polega na tym, że ma ona inną wizję rzeczywistości. W tej wizji dany obiekt nie ma tylko jednej historii — ma wszelkie możliwe historie. W większości wypadków prawdopodobieństwo posiadania konkretnej historii będzie się znosiło z prawdopodobieństwem posiadania historii tylko odrobinkę innej, ale w pewnych wypadkach prawdopodobieństwa sąsiednich historii wzmacniają się wzajemnie. To właśnie jedną z tych historii o wzmocnionym prawdopodobieństwie postrzegamy jako historię danego obiektu.

W przypadku kota Schrödingera zwiększa się prawdopodobieństwo dwóch historii. W jednej z nich kot zostaje zastrzelony, w drugiej pozostaje żywy. W teorii kwantowej obie możliwości mogą występować razem. Ale niektórzy filozofowie natrafiają na barierę nie do pokonania, ponieważ najwyraźniej zakładają, że kot może mieć wyłącznie jedną historię [Hawking 1995, 67].

Konkludując: kwantowa rzeczywistość zdaje się przeczyć zdrowemu rozsądkowi. Opis rzeczywistości na poziomie mikro wymaga zatem logiki, która z tym rozsądkiem także wydaje się być na bakier. Ponieważ *NRZ* są modyfikacjami logiki klasycznej, zgodnej z wymogami teorii kwantów, więc — można sądzić — z powodzeniem mogą być one użyte do opisu owej «dziwnej» rzeczywistości. Ponadto wydaje się, że do opisu tejże rzeczywistości zgodnego z kopenhaską interpretacją teorii kwantów dobrze nadają się te spośród *NRZ*, w których tautologią nie jest alternatywa: $p \vee \sim p$, a więc *NRZ* n_2 i n_4. Natomiast do opisu owej rzeczywistości zgodnego z teorią wielu światów i koncepcją Hawkinga z powodzeniem użyte być mogą z kolei te z *NRZ*, w których prawem nie jest negacja: $\sim(p \wedge \sim p)$, a więc *NRZ* n_3 i n_4.

BIBLIOGRAFIA

Gribbin, John (1997), *W poszukiwaniu kota Schrödingera*, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań.

Hawking, Stephen (1995), *Czarne dziury i wszechświaty niemowlęce*, Wydawnictwo Alkazar, Warszawa.

Heisenberg, Werner (1965), *Fizyka a filozofia*, Książka i Wiedza, Warszawa.

Zinowiew, Aleksander (1963), *Filozoficzne problemy logiki wielowartościowej*, PWN, Warszawa.

Żabski, Eugeniusz (1995), *Logiki nihilistyczne. Zarys problematyki*, Oficyna Akademicka, Warszawa.