

MARCIN MOLSKI

NIELOKALNOŚĆ I BIKOHERENCJA*

I. INTERPRETACJA TEORII KWANTÓW

Odkrycie przez Maxa Plancka (1900 r.) kwantowej emisji światła przez ciało doskonale czarne, wyjaśnienie przez Alberta Einsteina (1905 r.) efektu fotoelektrycznego oraz badania Artura H. Comptona (1923 r.) nad rozpraszaniem światła na elektronach doprowadziło do powstania kwantowej teorii materii. W 1924 r. Louis de Broglie opublikował słynne tezy doktorskie, w których po raz pierwszy postulował istnienie fal materii stowarzyszonych z poruszającymi się mikrocząstkami – ich istnienie potwierdziły eksperymenty dyfrakcyjne Davissona-Germera oraz Thomsona-Reida, przeprowadzone w 1927 r. Odkrycie fal materii de Broglie zainicjowało rozwój jednej z najbardziej spektakularnych teorii fizycznych – mechaniki kwantowej. Od początku jej powstania wystąpiła polaryzacja poglądów fizyków i filozofów, dotyczących natury fal materii oraz interpretacji teorii kwantów. Wyłoniły się dwie szkoły¹: kopenhaska, reprezentowana przez Maxa Plancka, Nielsa Bohra, Erwina Schrödingera, Wernera Heisenberga, oraz paryska, której przedstawicielami byli Louis de Broglie, Albert Einstein, a później David Bohm, Pier Vigier i inni. Szkoła kopenhaska preferowała interpretację statystyczną (probabilistyczną, stochastyczną) teorii kwantów i stała na sta-

Dr hab. MARCIN MOLSKI, prof. UAM – Zakład Chemii Teoretycznej na Wydziale Chemii UAM; adres do korespondencji: ul. Grunwaldzka 6, 60-780 Poznań; e-mail: marcin@rovib.amu.edu.pl

* Tematyka artykułu została zaprezentowana w formie dwóch wykładów: *Kwantowy szok światopoglądowy. Testowanie teorii kwantów* na V konferencji „Filozof wobec przyrody” z serii „Filozofia Przyrody i Nauk Przyrodniczych”, dedykowanej pamięci Księża Profesorów Stanisława Mazierskiego i Włodzimierza Sedlaka (KUL, Lublin 2003), oraz *Biokoherencja* na minikonferencji Fundacji Bioelektroniki im. W. Sedlaka (Lublin 2003).

¹ M. J a m m e r, *The conceptual development of quantum mechanics*, New York 1966.

nowisku *idealizmu subiektywnego*, którego podstawowa maksyma²: *esse est percipi* została zmodyfikowana do formy: *esse est observum*. Przedstawiciele szkoły kopenhaskiej twierdzili³, że statystyczne przewidywania mechaniki kwantowej oraz nieoznaczoność i rozmycie cech mikroobiektów stanowią immanentną własność kwantowego świata, a nie wynikają z niedostatków naszej percepcji lub niedoskonałości urządzeń pomiarowych. Innymi słowy, ontologicznie odzwierciedlają stochastyczny charakter mikroświata, a nie chwilową niemoc teorii kwantów w zakresie deterministycznych przewidywań. W trakcie obserwacji mikroobjekty mają dobrze określone atrybuty dynamiczne (pęd, położenie), natomiast przed i po obserwacji – nie⁴. Oznacza to, że elektron, atom, cząsteczka nie istnieją w zdroworozsądkowym sensie tego słowa. Henry Stapp twierdzi, że „cząstka elementarna nie jest istniejącą niezależnie całością... W istocie rzeczy jest ona zbiorem stosunków i zależności z istniejącymi poza nią rzeczami”⁵. Pojęcia takie, jak „elektron”, „foton”, „cząsteczka”, są użytecznymi modelami, które pozwalają skonsolidować obrazy generowane w naszej wyobraźni – w rzeczywistości stanowią one tylko zbiór matematycznych relacji łączących różne obserwacje i akty pomiarowe. Zgodnie z Wernerem Heisenbergiem „świat jawi się nam przeto jako złożona tkanka zdarzeń, w której różnego rodzaju związki ulegają zmianie, krzyżują się i łączą, determinując w ten sposób strukturę całości”⁶.

W przeciwieństwie do szkoły kopenhaskiej, szkoła paryska preferowała interpretację deterministyczną teorii kwantów i stała na stanowisku *realizmu obiektywnego*⁷. Zgodnie z tym poglądem statystyczny charakter mikroświata odzwierciedla naszą chwilową niewiedzę dotyczącą czynników fizycznych (reprezentowanych przez tzw. zmienne ukryte), generujących pozornie bezprzyczynowe i chaotyczne zachowania mikrocząstek. Ponieważ nie możemy zlokalizować i kontrolować zmiennych ukrytych, wpływających na zacho-

² „No physical word exists behind the apparent elementary sense impressions subjected to the reflection of the mind” (G. Berkeley, *Treatise concerning the principles of human knowledge*, 1710. Cyt. za: J. Gribbin, *Schrödinger's kittens and the search for reality. Solving the quantum mysteries*, New York 1995, s. 1).

³ N. Bohr, *Atomic physics and human knowledge*, New York 1963.

⁴ „[...] an electron or a photon, does not have properties, such as position and momentum, except when these properties are being measured” (Gribbin, *Schrödinger's kittens and the search for reality*, s. 147).

⁵ H. P. Stapp, *S-matrix interpretation of quantum theory*, „Physical Review D” 3 (1971), s. 1310. Cyt. za: F. Capra, *Tao fizyki*, przeł. P. Macura, Kraków 1994, s. 145.

⁶ W. Heisenberg, *Physics and philosophy*, New York 1958, s. 100.

⁷ Zob. J. Jammer, *The conceptual development of quantum mechanics*.

wanie mikroobektów z poziomu submikroskopowego, jesteśmy skazani na opis statystyczny układów kwantowych. Przedstawiciele szkoły paryskiej twierdzili⁸, że mikroobiekty mają ściśle określone atrybuty dynamiczne zarówno przed, w trakcie, jak i po obserwacji. Elektrony, atomy, cząsteczki różnią się od makroobektów wyłącznie skalą wielkości przy zachowaniu tego samego statusu ontologicznego. Taki zdroworozsądkowy model natury Einstein określił mianem *obiektywnej rzeczywistości*⁹ – nie zależy ona od obserwacji prowadzonych przez świadome podmioty, a zatem, zgodnie z poglądami szkoły paryskiej, świat istnieje niezależnie od tego, czy jest obserwowany, czy też nie.

II. PARADOKS EINSTEINA-PODOLSKIEGO-ROSENA

Dyskusje między przedstawicielami dwóch szkół (Bohrem i Einsteinem) przybrały charakter „pojedyńku” na doświadczenia myślowe (*gedankenexperiments*). W 1935 r. Albert Einstein, Boris Podolsky i Nathan Rosen przedstawili słynny eksperyment myślowy¹⁰, określaną również nazwą paradoksu EPR. Schemat doświadczenia EPR jest następujący:

$$\leftarrow \text{P,r} \quad \circ \quad \otimes \quad \circ \quad \text{P,r} \rightarrow$$

spoczywająca w układzie odniesienia cząstka rozpada się na dwie cząstki o równych masach, które poruszają się w przeciwnych kierunkach. Ze względu na prawo zachowania pędu zarówno pędy, jak i położenia cząstek są równe co do bezwzględnej wartości. Zatem – pomiar pędu lub położenia jednej cząstki pozwala precyzyjnie określić pęd lub położenie cząstki drugiej bez aktu obserwacji (pomiaru). Wykonanie pomiaru atrybutów dynamicznych jednej cząstki (pęd, położenie) daje natychmiastową informację o atrybutach dynamicznych cząstki drugiej – późniejszy pomiar pędu lub położenia potwierdza przewidywany wynik. W 1951 r. Bohm¹¹ zaproponował wer-

⁸ „The belief in an external world independent of the perceiving subject is the basis of all natural sciences” (cyt. w: F. Rohrl ich, *From paradox to reality*, Cambridge 1987, s. 119).

⁹ Tamże.

¹⁰ A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, „Physical Review” 47 (1935), s. 777-780.

¹¹ D. Bohm, *The paradox of Einstein, Rosen and Podolsky*, [w:] *Quantum theory and measurements*, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton 1983.

się eksperymentu EPR, w którym bozon (cząstka o spinie $s=0$) rozpada się na dwa fermiony (cząstki o spinie $s=1/2$).

$$\leftarrow \overset{s=+1/2}{\text{---}} \circ \quad \otimes \quad \circ \text{---} \overset{s=-1/2}{\text{---}} \rightarrow$$

Ponieważ prawo zachowania momentu pędu (spinu) wymaga, by spiny cząstek były przeciwnie skierowane (suma spinów musi być równa 0), pomiar spinu jednego fermionu daje natychmiastową informację o spinie drugiego fermionu. Przed pomiarem spinu jednej z cząstek układ znajduje się w stanie opisywanym liniową kombinacją

$$|\psi\rangle = |1\uparrow\rangle|2\downarrow\rangle - |1\downarrow\rangle|2\uparrow\rangle$$

stanu $|1\uparrow\rangle|2\downarrow\rangle$ – pierwsza cząstka ma spin $+1/2$, druga spin $-1/2$, oraz stanu $|1\downarrow\rangle|2\uparrow\rangle$ – cząstka pierwsza ma spin $-1/2$, druga spin $+1/2$. Znak minus w liniowej kombinacji stanów gwarantuje antysymetryczność stanu $|\psi\rangle$ ze względu na permutację fermionów (konsekwencja zasady nie odróżniania jednakowych cząstek). Jeżeli zmierzmy spin pierwszego fermionu w kierunku pionowym i okaże się, że jest on skierowany do góry ($s = +1/2$), to układ przeskakuje natychmiast do stanu $|1\uparrow\rangle|2\downarrow\rangle$, co jednoznacznie określa orientację spinu drugiego fermionu do dołu ($s = -1/2$). Jeżeli pomiar dostarczy informacji o spinie pierwszego fermionu skierowanym do dołu, to układ przeskakuje natychmiast do stanu $|1\downarrow\rangle|2\uparrow\rangle$, co jednoznacznie ustala orientację spinu drugiego fermionu do góry. Pomiar stanu (spin) układu pierwszego dostarcza natychmiastowej informacji o stanie układu drugiego. Przeskok od superpozycji (mieszanych) stanów do określonego stanu „czystego” nosi nazwę redukcji pakietu falowego lub kolapsu funkcji stanu.

Zgodnie z Einsteinem „[...] jeśli, nie zaburzając w żaden sposób układu, możemy przewidzieć z całą pewnością [...] wartość pewnej wielkości fizycznej, to istnieje element fizycznej rzeczywistości, odpowiadający tej wielkości¹².” Analizując wyniki eksperymentu EPR, Einstein doszedł do wniosku, że cząstka nieobserwowana musi mieć rzeczywiste, dobrze określone atrybuty dynamiczne, a fakt ten jest niezależny od tego, czy cząstka jest

¹²Zob. Einstein, Podolsky, Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, s. 777.

obserwowana, czy też nie. Najbardziej niezwykłą cechą eksperymentu EPR jest to, że informację o stanie cząstki nieobserwowanej, otrzymujemy natychmiast, niezależnie od odległości, która może wynieść nawet lata świetlne. Dwie dowolnie odległe mikrocząstki tak korelują swoje właściwości, że niezależne pomiary wykonane na każdej z nich dają zgodne wyniki. Jest to sprzeczne ze szczególną teorią względności, która nakłada ograniczenie na transfer informacji – nie może się on odbywać z prędkością większą od prędkości światła w próżni, zatem natychmiastowy przepływ informacji między cząstkami nie powinien mieć miejsca. To specyficzne superświatłne oddziaływanie między skorelowanymi obiektami kwantowymi Einstein nazwał „nadprzyrodzonym działaniem na odległość”¹³. Zdaniem Einsteina obiektywna rzeczywistość powinna być zlokalizowaną cechą każdej cząstki, a lokalność zakłada, że cząstki nie mogą się komunikować z prędkością większą niż prędkość światła w próżni. Żądanie, by mechanika kwantowa była teorią deterministyczną i lokalną, doprowadziło do konfliktu między szkołą kopenhaską a paryską. Rozstrzygnięcie, który z proponowanych modeli rzeczywistości jest prawdziwy, mógł dokonać tylko eksperyment. Podstawy teoretyczne dla jego przygotowania opracował Erwin Schrödinger w 1935 r. oraz irlandzki fizyk John Stuart Bell w 1964 r.

III. KWANTOWE SPLĄTANIE

W 1935 r. Schrödinger¹⁴ podał warunek konieczny wystąpienia długozasięgowych, nielokalnych korelacji typu EPR między parą odseparowanych obiektów kwantowych. Według Schrödingera, gdy dwa odseparowane układy wchodzi w czasową fizyczną interakcję wskutek działania znanych sił (chemicznych, elektrycznych, magnetycznych, grawitacyjnych, jądrowych), to, gdy po upływie pewnego czasu wzajemnych oddziaływań układy te zostaną odseparowane ponownie, nie mogą one być opisane w ten sam sposób

¹³ P. C. W. Davies, J. R. Brown, *Duch w atomie. Dyskusja o paradoksach teorii kwantowej*, przeł. P. Amsterdamski, Warszawa 1996, s. 27.

¹⁴ „When two systems, of which we know the states by their respective representatives, enter into temporary physical interaction due to known forces between them, and when after a time of mutual influence the systems separate again, then they can no longer be described in the same way as before... By the interaction the two representatives [the quantum states] have become *entangled*” (E. Schrödinger, *Discussion of probability relations between separated systems*, „Proceedings of the Cambridge Philosophical Society” 31 (1935), s. 555).

jak przed oddziaływaniami: dwa układy, wskutek oddziaływania, stają się splątane (uwikłane), a w konsekwencji pojawiają się nielocalne korelacje typu EPR. Kiedy zatem wyjściowym układem była cząstka (bozon) zbudowana z dwóch oddziałujących fermionów (elektronu i pozytonu), to odseparowane fermiony znajdują się w stanie splątanym. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku pary fotonów wyemitowanych przez atom w przejściu dwufotonowym lub wygenerowanych przez kryształ typu *down convertor*¹⁵. O ile, w przypadku fermionów, nielocalna korelacja może być dowiedziona przy pomiarze komplementarnych spinów fermionów, o tyle w przypadku fotonów pomiar dotyczy komplementarnej polaryzacji fotonów.

W 2001 r. Eugene Polzik ze współpracownikami¹⁶ pokazał, że stan kwantowego splątania może wystąpić również w układach makroskopowych. W przeprowadzonym eksperymencie splątano dwie próbki atomów cezu – każda liczyła około 10^{12} atomów. Czas splątania wyniósł około 0,5 milisekundy, co jest rekordem dla układu makroskopowego. Otrzymane wyniki pokazują, że kwantowe splątanie nie jest tylko cechą układów mikro, ale może być wygenerowane również w układach makro. Tym samym pokazano, że zjawisko nielokalności i nieseparowalności obserwowane w eksperymentach kwantowych typu EPR może również mieć miejsce w układach makroskopowych. A zatem dwa makroukłady w stanie splątanym mogą tak korelować swoje własności, że pomiar własności wykonany na jednym układzie dostarczy natychmiastowo informacji o własności układu drugiego.

IV. NIERÓWNOŚĆ BELLA

W 1964 r. Bell¹⁷ podał teoretyczne ograniczenie wielkości kwantowych korelacji między pomiarami własności dwóch skorelowanych cząstek w eksperymentach typu EPR. Ograniczenie to miało formę nierówności:

¹⁵ Kryształy typu *down convertor* (zbudowane np. z niobanu litu LiNbO_3 lub fluoru barowo-magnezowego BaMgF_4) rozszczepiają przechodzący przez kryształ foton na dwa fotony, których suma energii jest równa energii fotonu padającego na kryształ. Wygenerowane w ten sposób fotony są w stanie splątanym, dlatego można je stosować w eksperymentach typu EPR.

¹⁶ B. Julsgaard, A. Kozhekin, E. S. Polzik, *Experimental long-lived entanglement of two macroscopic objects*, „Nature” 413 (2001), s. 400-403.

¹⁷ J. S. Bell, *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, „Physics” 1 (1964), s. 195-200; tenże, *On the problem of hidden variables in quantum theory*, *Revs. Mod. Phys.* 38 (1966), s. 447-452; tenże, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge 1987.

$$|P(\bar{a}, \bar{b}) - P(\bar{a}, \bar{c})| \leq 1 + P(\bar{a}, \bar{c}) \begin{cases} \text{Realizm} \\ \text{Lokalny} \end{cases}$$

i zostało wyprowadzone przy założeniu, że układy fizyczne spełniają założenia realizmu lokalnego. To znaczy, spełniają one:

1. Postulat realności – zachowanie statystyczne mikroobiektów jest konsekwencją chaotycznych, ale w pełni deterministycznych sił klasycznych reprezentowanych przez zmienne ukryte, a mikrocząstki stanowią niezależne obiekty fizyczne. Mają one zawsze dobrze określone atrybuty dynamiczne, niezależnie od tego, czy są mierzone, czy też nie, lub – innymi słowy – świat istnieje niezależnie od aktu obserwacji.

2. Postulat lokalności (separowalności) – mikroobiekty nie mogą komunikować się za pomocą sygnałów szybszych niż prędkość światła w próżni, w konsekwencji – nie mogą oddziaływać w sposób natychmiastowy (nie istnieje Einsteinowskie „nadprzyrodzone działanie na odległość”).

Nierówność Bella jest konsekwencją żądania, by mikrocząstki były niezależnymi obiektami fizycznymi, których opis jest zgodny z fizyką klasyczną i szczególną teorią względności. Obliczenia kwantowe pokazywały jednak, że nierówność Bella nie powinna być spełniona w przypadku mikrocząstek. Powyższa sprzeczność stwarzała możliwość eksperymentalnego sprawdzenia, czy w układach fizycznych nierówność Bella jest spełniona, jak tego wymaga klasyczna koncepcja niezależnych przestrzennie odseparowanych obiektów, czy też nie jest spełniona, jak tego wymaga mechanika kwantowa. Eksperyment testujący poprawność nierówności Bella potwierdziłby lub obalił poprawność postulatów realności i lokalności, stanowiących podstawę paryskiej interpretacji mechaniki kwantowej. W przypadku, gdyby nierówność Bella była spełniona – założenia, przy których ją wyprowadzono, okazałyby się prawdziwe, potwierdziłoby to słuszność poglądów szkoły paryskiej. Gdyby okazało się, że nierówność nie jest spełniona – założenia realności i (lub) lokalności nie byłyby prawdziwe, byłby to dowód na poprawność poglądów szkoły kopenhaskiej.

V. EKSPERYMENT ASPECTA-DALIBARDA-ROGERA

Pierwsze doświadczenie testujące poprawność nierówności Bella przeprowadzili S.J. Freedman i J.F. Clauser¹⁸ w 1972 r., opierając się na pomysłach z pracy Clausera i współpracowników z r. 1969. W eksperymencie mierzono polaryzację skorelowanej w sensie EPR pary fotonów. Wyniki eksperymentu zostały podważane, ponieważ użyte detektory fotonów rejestrowały tylko niewielką część wyemitowanych fotonów. Pomimo tego ograniczenia zgodność pomiarów z przewidywaniami mechaniki kwantowej była zdumiewająca. Dokładniejsze i statystycznie przekonujące rezultaty otrzymał Alain Aspect ze współpracownikami¹⁹ dopiero w 1982 r., a wyniki eksperymentu przeprowadzonego w 1986 r. przez Aspecta i Grangiera potwierdziły²⁰ wcześniejszy rezultat – nierówność Bella nie jest spełniona.

Doświadczenie Aspecta-Dalibarda-Rogera (ADR) polegało na pomiarze polaryzacji pary fotonów emitowanych w przejściu dwufotonowym atomu wapnia Ca. Gdy fotony oddalają się od siebie, znajdują się w stanie

$$|\psi\rangle = |1\uparrow\rangle|2\rightarrow\rangle + |1\rightarrow\rangle|2\uparrow\rangle$$

będącym liniową kombinacją stanów $|1\uparrow\rangle|2\rightarrow\rangle$ – pierwszy foton ma polaryzację \uparrow , drugi \rightarrow , oraz stanu $|1\rightarrow\rangle|2\uparrow\rangle$ – pierwszy foton ma polaryzację \rightarrow , drugi \uparrow . Znak + w liniowej kombinacji stanów odpowiada stanowi symetrycznemu ze względu na permutację dwóch bozonów (foton jest bozonem o spinie $s=1$).

Gdy mierzymy polaryzację pierwszego fotonu, układ przeskakuje do stanu, w którym drugi foton ma precyzyjnie określoną polaryzację. Gdy na-

¹⁸ S. J. Freedman, J. F. Clauser, *Experimental test of local hidden-variable theories*, „Physical Review Letters” 28 (1972), s. 938-941; tenże, *Experimental test of local hidden-variable theories*, [w:] *Quantum theory and measurements*, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton 1983.

¹⁹ A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, *Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers*, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 1804; A. Aspect, P. Grangier, G. Roger, *Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedankenexperiment: a new violation of Bell's inequalities*, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 91-94.

²⁰ A. Aspect, P. Grangier, *Experiments on Einstein-Podolsky-Rosen type correlations between pairs of visible photons*, [w:] *Quantum concepts in space and time*, red. R. Penrose, C. J. Isham, Oxford 1986.

stępnie mierzymy polaryzację drugiego fotonu, otrzymujemy wynik zgodny z wynikiem obliczeń kwantowych. W doświadczeniu ADR²¹ licznik elektroniczny śledził losy każdej pary fotonów i obliczał korelacje pomiędzy pomiarami. Polaryzację fotonów mierzono za pomocą polaryzatorów umieszczonych w odległości 6 metrów od źródła fotonów, a zmiana ich ustawienia była tak szybka, że wykluczało to możliwość transferu informacji z prędkością światła od jednego polaryzatora do drugiego. Decyzja, w jakim kierunku zmierzyć polaryzację fotonu, była podejmowana dopiero wtedy, gdy foton był wyemitowany. Przełączenie polaryzatora trwało $10 \cdot 10^{-9}$ s, czas emisji fotonów $5 \cdot 10^{-9}$ s, czas przelotu fotonu $40 \cdot 10^{-9}$ s, natomiast jedna sesja eksperymentalna trwała 12 000 s. Rygorystyczne warunki, w jakich przeprowadzono eksperyment ADR, gwarantowały wyeliminowanie wszystkich potencjalnie możliwych kanałów transportu informacji między polaryzatorami, z wyjątkiem oddziaływań nielokalnych (szybszych niż światło).

VI. KONSEKWENCJE EKSPERYMENTU ADR

Eksperyment ADR jednoznacznie pokazał, że założenia realizmu lub (i) lokalności, przy których wyprowadzono nierówność Bella, nie są spełnione. Mamy zatem dwie możliwości:

1. Alternatywa: albo żadne zjawisko kwantowe nie jest zjawiskiem, dopóki nie jest zjawiskiem zaobserwowanym, albo istnieje einsteinowskie „nadprzyrodzone oddziaływanie na odległość”, które koreluje odseparowane splecione układy kwantowe.

2. Konjunkcja: obie z powyższych możliwości są prawdziwe.

Powyższe wnioski stały się stymulatorem rozwoju nowych koncepcji fizycznych. Nielokalną teorię kwantów, spełniającą założenia realności, rozwinęli niezależnie Bohm²² w 1952 r. oraz de Broglie²³ w 1956 r. Zgodnie

²¹ Przystępny opis doświadczenia ADR znajduje się w książce P. C. W. Davies, J. R. Brown, *Duch w atomie. Dyskusja o paradoksach teorii kwantowej*, przeł. P. Amsterdamski, Warszawa 1996, s. 30-32.

²² D. Bohm, *A suggested interpretation of the quantum theory in the terms of "hidden" variables*, [w:] *Quantum theory and measurements*, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton 1983.

²³ L. De Broglie, *Tentative d'interprétation causale et nonlinéaire de la mécanique ondulatoire*, Paris 1956.

z koncepcją de Broglie-Bohma istnieje obiektywna rzeczywistość, natomiast opisujące ją zmienne ukryte nie są lokalne. Oznacza to, że lokalna zmiana ukrytych parametrów może natychmiast wpłynąć na zachowanie nawet bardzo odległych części układu. De Broglie i Bohm twierdzili, że chociaż nielocalne oddziaływania są sprzeczne ze szczególną teorią względności, należy zaakceptować je jako immanentny komponent każdej teorii kwantowej niezależnie od przyjętej interpretacji. Koncepcja de Broglie-Bohma została rozwinięta przez M. Molskiego²⁴ w 1998 r. W podejściu tym nielokalność układów kwantowych związana jest z istnieniem (hipotetycznej) dualnej fali de Broglie o charakterystyce tachionowej.

Inną koncepcję kwantowej rzeczywistości rozwinęli Yakir Aharonow i Lev Vaidman²⁵ w 1990 r. oraz Costa de Beauregard i Paul Werbos w 1989 r.²⁶ Zgodnie z powyższym podejściem kwantową rzeczywistość należy opisywać za pomocą sprzężonej pary wektorów stanu $|\varphi\rangle\langle\varphi|$, z których $|\varphi\rangle$ ewoluuje w przyszłość od ostatniej redukcji pakietu falowego (kolapsu funkcji stanu), natomiast $\langle\varphi|$ ewoluuje w przeszłość od następnej redukcji, która zdarzy się kiedyś w przyszłości. Zmiany drugiego wektora stanu zależą od tego, co zdarzy się w przyszłości, a nie od tego, co zdarzyło się w przeszłości. Zaproponowana koncepcja pozwala na całkowicie obiektywny i zgodny ze szczególną teorią względności opis stanu układu kwantowego w eksperymentach typu EPR.

Eksperymenty typu EPR przyczyniły się do powstania i rozwoju teorii twistorów²⁷, która uwzględniała nielokalny charakter czasoprzestrzeni. W ujęciu tym punkt w przestrzeni twistorowej opisuje linia świata światła (linia na obwodni stożka światła w czterowymiarowej czasoprzestrzeni Minkowskiego). Powyższa nielokalność wprowadzona do teorii *explicite*, umożliwia opis (ale nie wyjaśnienie) kwantowych nielokalności w eksperymentach typu EPR.

Wyniki przeprowadzonych w latach 1935-1986 eksperymentów testujących poprawność przewidywań teorii kwantów zmusiły fizyków i filozofów

²⁴ M. M o l s k i, *The dual de Broglie wave*, [w:] *Advances in Imaging and Electron Physics*. 101: 1998, red. P.W. Hawkes, San Diego, s. 144-239.

²⁵ Y. A h a r o n o v, L. V a i d m a n, *Properties of a quantum system during the time interval between two measurements*, „Physical Review A” 41 (1990), s. 11.

²⁶ C. D e B e a u r e g a r d, P. W e r b o s, [w:] *Bell's theorem, quantum theory, and conceptions of universe*, red. M. Kafatos, Dordrecht 1989.

²⁷ D. F. P e a t, *Superstrings and the search for the theory of everything*, Chicago 1988.

do rewizji poglądów na naturę wszechświata i fizycznej rzeczywistości, w której żyjemy i którą badamy. W szczególności, doprowadziły do głębszej zmiany tradycyjnych, zachodnich wyobrażeń na temat związków między częścią i całością, między poziomem mikro i makro. Ponieważ kwantowy mikroświat jest silnie związany z organizacją materii na poziomie makroskopowym, część nie ma sensu bez odniesienia do całości, a całość jest silnie zdeterminowana przez jej części (elementy składowe). W tym aspekcie kwantowe modele materii wykazują znaczne podobieństwo do wschodnich, holistycznych koncepcji jedności i harmonii natury²⁸. W ujęciu tym badacz (obserwator) stanowi integralny element przyrody, wpływający na nią z poziomu mikro (ludzkiego) i podlegający wpływom z poziomu makro (przyrodniczego). Werner Heisenberg twierdzi, że „nauki przyrodnicze nie opisują po prostu przyrody, nie opisują przyrody samej w sobie i nie wyjaśniają, jaka ona jest sama w sobie. Są one raczej pewną komponentą wzajemnego oddziaływania między przyrodą a nami”²⁹. Obserwator jest nie tylko potrzebny, by zaobserwować własności przedmiotu, ale jest wręcz niezbędny, by je precyzyjnie określić. Własności obiektu „jako takie” nie istnieją. Mają one sens tylko w kontekście wzajemnego oddziaływania przedmiotu obserwacji i podmiotu obserwującego. „Żadne zjawisko elementarne nie jest zjawiskiem, dopóki nie jest zjawiskiem zaobserwowanym” – stwierdził John Wheeler³⁰. Heisenberg rozwinął tę myśl, twierdząc, że „to, co obserwujemy, to nie sama przyroda, lecz przyroda odpowiadająca naszej metodzie pytania”³¹.

Ścisłe powiązanie rzeczy i zdarzeń, obiektów i zjawisk, podmiotu i przedmiotu jest podstawową cechą świata kwantów, niezależnie od przyjętej interpretacji oraz zastosowanego w opisie formalizmu matematycznego. David Bohm i Basil Hiley³² określili tę specyficzną cechę rzeczywistości fizycznej następująco: „Nasuwa się nowe wyobrażenie nie dającej się rozbić całości, która zaprzecza klasycznej idei, że świat można analizować w odrębnie i niezależnie istniejących częściach... Odwróciliśmy utarte, klasyczne wyobrażenie, że niezależne «elementarne części» świata są podstawową rzeczywistością i że różne systemy są tylko szczególnymi, przypadkowymi for-

²⁸ F. Capra, *Tao fizyki*, przeł. P. Macura, Kraków 1994.

²⁹ W. Heisenberg, *Physics and philosophy*, New York 1958, s. 68.

³⁰ Zob. Davies, Brown, *Duch w atomie*, s. 37.

³¹ Heisenberg, *Physics and philosophy*, s. 57.

³² D. Bohm, B. Hiley, *On the intuitive understanding of nonlocality as implied in quantum theory*, „Foundations of Physics” 5 (1971), s. 93-109. Cyt. za: Capra, *Tao fizyki*, s. 144.

mami i układami tych części. Twierdzimy raczej, że podstawową rzeczywistością jest niepodzielna kwantowa więź całego wszechświata, a te względnie niezależne zachowujące się części są tylko szczególnymi i przypadkowymi formami w ramach tej całości”. O ile w fizyce makroobiektów własności i zachowanie części determinują własności i zachowanie całości, o tyle w świecie kwantowym sytuacja jest odwrotna – całość określa zachowanie części. Zmienne opisujące zachowania makroobiektów są zmiennymi lokalnymi, natomiast zmienne opisujące zachowania mikroobiektów są nielokalnymi. Przy tym zmienne nielokalne opisują związki nie tylko z innymi mikroobiektami, ale również z całym Wszechświatem. Wyjaśnienie tego nielokalnego związku między obiektami kwantowymi a kosmosem związane jest z koncepcją Wielkiego Wybuchu. Jeżeli Wszechświat wziął swój początek z fluktuacji próżni o energii odpowiadającej masie Plancka³³ (około 10^{-5} g), to powstająca w procesie ekspansji i amplifikacji materia jest w stanie splątanim, odpowiadającym definicji kwantowego splątania, podanej przez Schrödingera.

VII. BIKOHERENCJA I BIOPLAZMA

Należy przypuszczać, że oddziaływania nielokalne mogą odgrywać ważną rolę w układach żywych³⁴, szczególnie w układach obdarzonych świadomością³⁵. David Bohm uważa³⁶ umysł i materię za współzależne byty, ale nie połączone relacjami przyczynowymi³⁷ (lokalnymi). Są one wzajemnie związającymi się projekcjami wyższej rzeczywistości, która nie jest ani materią, ani świadomością. W szczególności koncepcja oddziaływań nielokalnych może wyjaśnić jedną z największych zagadek przyrody: obserwowany przestrzennie koherentny³⁸ (spójny) rozwój układów biologicznych, który w niniej-

³³ H. Minn, *Creation from nothing or anything*, „Il Nuovo Cimento B” 105 (1990), s. 904.

³⁴ B. D. Josephson, F. Pallikari-Viras, *Biological utilisation of quantum nonlocality*, „Foundations of Physics” 21 (1991), s. 197-207.

³⁵ F. Thaheld, *Biological nonlocality and the mind-brain interaction problem: comments on a new empirical approach*, „BioSystems” 70 (2003), s. 35-41.

³⁶ D. Bohm, *Ukryty porządek*, przeł. M. Tempczyk, Warszawa 1988, rozdz. 7.7 i 7.8.

³⁷ R. Penrose twierdzi, że „any kind of realistic description of the quantum world which is consistent with the facts must apparently be non-casual, in the sense that effects must be able to travel faster than light” (*The emperor’s new mind*, Oxford 1989, s. 369).

³⁸ Koherencja, łac. *cohaerentia* (związek) od *cohaerere* (stykać się, spajać, wiązać), oznacza spoistość, spójność, zgodność (myśli, sądów, działań lub zjawisk fizycznych, np. propagacji światła emitowanego przez laser).

szym artykule określany jest mianem *biokoherencji*. Podstawowym aspektem biokoherencji jest przestrzenna, długozasięgowa koordynacja różnych funkcji biologicznych oraz integracja poziomu mikrobiologicznego, reprezentowanym przez pojedynczą komórkę, z poziomem makrobiologicznym – reprezentowanym przez system komórek (tkankę, organ, organizm jako całość). Podobna kooperacja ma miejsce między organizmem a środowiskiem (ekosystemem), w którym organizm egzystuje. Analiza problemu pokazuje, że podstawowe kanały informacji chemicznej, białkowej, akustycznej, jonowej i elektrycznej są za wolne (ze względu na bezwładność nośnika, emitera i detektora), by integracja, koordynacja i kooperacja w hierarchii: komórka-tkanka-organ-organizm-ekosystem była wystarczająco efektywna. Duża szybkość przekazu informacji w organizmach żywych dowodzi, że koordynacja na różnych poziomach złożoności biologicznej wymaga nośników o minimalnej bezwładności. Między innymi to spostrzeżenie spowodowało wprowadzenie przez Włodzimierza Sedlaka elektromagnetycznej teorii życia³⁹ oraz modelu bioplazmy⁴⁰, które stały się podstawą rozwijanej przez Sedlaka bioelektroniki⁴¹. Według Sedlaka ewolucja układów żywych przebiegała dwutorowo i polegała na: (1) rozbudowywaniu bazy materiałowej (substancjalnej), aż do wytworzenia związków organicznych o cechach półprzewodnika⁴², oraz (2) sprawniejszym generowaniu, odbiorze i wzbogacaniu informacji w komunikacji wewnętrznej oraz zewnętrznej⁴³. W ostatnim przypadku najbardziej efektywną formą transferu informacji jest sygnalizacja polowa – elektryczna, magnetyczna i elektromagnetyczna, nośnik polowy bowiem jest obdarzony zerową masą spoczynkową, a zatem posiada zerową bezwładność. Zgodnie z Sedlakiem: „Koordynacja wewnętrzna oparta na systemie sygnalizacji elektromagnetycznej natury jest sprawniejsza niż wszystkie inne”⁴⁴. W 1967 r. Sedlak wprowadził model bioplazmy⁴⁵ i zastosował go do opisu przekazu informacji w organizmach żywych. Przekaz ten opiera się na magnetohydrodynamice i elektromagnetycznej koordynacji procesów bio-

³⁹ W. Sedlak, *Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia*, „Roczniki Filozoficzne” 18 (1970), z. 3, s. 101-126.

⁴⁰ T e n ż e, *Elektrostatyka i ewolucja organiczna*, „Roczniki Filozoficzne” 15 (1967), z. 3, s. 31-58.

⁴¹ T e n ż e, *Bioelektronika*, Warszawa 1979.

⁴² Tamże, s. 120, 121.

⁴³ Tamże, s. 125.

⁴⁴ Tamże, s. 135.

⁴⁵ S e d l a k, *Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia*, s. 101-126.

logicznych na wszystkich poziomach organizacyjnych układu żywego. Bioplazma jest układem elektronowo-fotonowo-fononowym w środowisku białkowych półprzewodników i piezoelektryków, pompowanym energią metaboliczną. Podstawowa funkcja bioplazmy to transfer informacji elektrycznej, magnetycznej, grawitacyjnej, chemicznej, akustycznej, optycznej i hydrodynamicznej wewnątrz bioukładów, między bioukładami oraz między bioukładami a środowiskiem, w którym egzystują. Analiza powyższej definicji bioplazmy pokazuje, że nie jest ona kompletna, uwzględnia bowiem transfer informacji z prędkością nie przekraczającą prędkość światła w próżni. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów testujących poprawność teorii kwantów wskazują na istnienie oddziaływań kwantowych o charakterze nielokalnym⁴⁶. Termin *oddziaływania nielokalne* oznacza, że mogą one rozchodzić się z prędkością przekraczającą prędkość światła w próżni, a zatem, w ekstremalnym przypadku – natychmiastowo. Oddziaływania tego typu są sprzeczne ze szczególną teorią względności, nie są one jednak sprzeczne z wynikami eksperymentów kwantowych, które ich istnienie potwierdzają. Odkrycie, że układy kwantowe mogą w sposób nielokalny korelować swoje własności nawet na znacznych odległościach, doprowadziło do głębokiej zmiany tradycyjnych wyobrażeń na temat związków między częścią i całością, między poziomem mikro- i makroskopowym. Ponieważ relacja całość–część (lub makro–mikro) jest jednym z najbardziej charakterystycznych przejawów bioegzystencji, należy przypuszczać, że oddziaływania nielokalne zostały włączone w procesie ewolucji w spektrum możliwych kanałów integracyjnych, kooperacyjnych i informacyjnych organizmów ży-

⁴⁶ A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, „Physical Review” 47 (1935), s. 777-780; J. S. Bell, *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, „Physics” 1 (1964), s. 195-200; tenże, *On the problem of hidden variables in quantum theory*, „Reviews of Modern Physics” 38 (1966), s. 447-452; tenże, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge 1987; S. J. Freedman, J. F. Clauser, *Experimental test of local hidden-variable theories*, „Physical Review Letters” 28 (1972), s. 938-941; tenże, *Experimental test of local hidden-variable theories*, [w:] *Quantum theory and measurements*, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton 1983; A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, *Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers*, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 1804; A. Aspect, P. Grangier, G. Roger, *Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedankenexperiment: a new violation of Bell's inequalities*, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 91-94; A. Aspect, P. Grangier, *Experiments on Einstein-Podolsky-Rosen type correlations between pairs of visible photons*, [w:] *Quantum concepts in space and time*, red. R. Penrose, C. J. Isham, Oxford 1986.

wych. Zgodnie z Sedlakiem⁴⁷ „podstawą informacji, jej generowania i przenoszenia byłaby [...] bioplazma ze skutkami kwantowych oddziaływań oraz jej drgań jako cieczy elektrycznej w całości.” Określenie „skutki kwantowych oddziaływań” użyte w definicji bioplazmy przez Sedlaka oznaczają, że intuicyjnie poprawnie zdefiniował on bioplazmę z uwzględnieniem kwantowych oddziaływań nielokalnych. Jednakże oddziaływań tego typu nie uwzględnił w sposób jawny. Bioplazma w ujęciu Sedlaka jest medium lokalnym – oznacza to, że dopuszcza istnienie transferu informacji z prędkością, która nie przekracza prędkości światła w próżni. Tymczasem nielocalne oddziaływania umożliwiają kontakt *at-the-distance*⁴⁸ nawet w przypadku znacznie oddalonych od siebie obiektów. Tak dynamiczny układ kwantowy, jakim jest bioplazma, powinien być nielokalny – w konsekwencji wszystkie jego mikroelementy strukturalne powinny być powiązane wskutek korelacji kwantowych, niezależnie od odległości między nimi. Tak sformułowany model bioplazmy dopuszcza ciągłą i natychmiastową koordynację poziomu mikrobiologicznego (pojedyncza komórka) z poziomem makrobiologicznym (tkanka, organ, organizm). Konsekwencją jest integracja organizmu jako całości oraz jego koherentny rozwój na wszystkich poziomach bioegzystencji. Możliwy jest również proces lokalnej dekoherencji rozwoju, prowadzący do konkurencyjnego względem organizmu rozwoju systemu komórek, określanego mianem nowotworzenia. Należy podkreślić, że kwantowe oddziaływania nielocalne nie mogą być nośnikami sygnałów – szczegółowy dowód podali G. C. Ghirardi, A. Rimini i T. Weber w r. 1980⁴⁹. Należy zatem mówić raczej o transferze „wpływów” lub długozasięgowej korelacji, zamiast transferu informacji między obiektami kwantowymi.

Pojawia się pytanie, czy istnieje możliwość teoretycznego uzasadnienia istnienia nielocalnego i przestrzennie koherentnego rozwoju układów żywych, opartego na dobrze rozpracowanej i ugruntowanej koncepcji biologicznej. Zbadanie problemu wskazuje, że taka możliwość istnieje⁵⁰, a punktem wyjścia dla jej realizacji jest dobrze znana w biologii i medycynie funk-

⁴⁷ Sedlak, *Bioelektronika*, s. 423.

⁴⁸ Davies, Brown, *Duch w atomie*, s. 27.

⁴⁹ G. C. Ghirardi, A. Rimini, T. Weber, *A general argument against superluminal transmission through the quantum mechanical measurement process*, „*Letters Nuovo Cimento*” 27 (1980), s. 293-298.

⁵⁰ M. Molski, J. Konarski, *Coherent states of Gompertzian growth*, „*Physical Review E*” 68 (2003), s. 021916(1-7).

cja Gompertza, opisująca wzrost (regresję) w czasie tkanek, organów, organizmów, nowotworów, czy też układów biologicznych w skali demograficznej. Makroskopowa funkcja Gompertza w powiązaniu z kwantową koncepcją stanów koherentnych oraz równaniem nielokalnych stanów przestrzenniepodobnych (tachionowych) umożliwia teoretyczne uzasadnienie istnienia zjawiska biokoherencji.

VIII. KOHERENTNE STANY GOMPERTZOWSKIE

W 1825 r. Benjamin Gompertz wprowadził czasowo-zależną krzywą opisaną równaniem⁵¹

$$G(t) = G_0 e^{(b/a)(1-e^{-at})}$$

która poprawnie opisuje wzrost organizmów, organów, tkanek, nowotworów oraz populacji organizmów w skali demograficznej⁵². W powyższym równaniu G_0 oznacza początkową masę, objętość, promień lub ilość komórek (lub osobników) w opisywanym systemie, natomiast stałe a i b określają dynamikę wzrostu ($b > 0$) lub regresji ($b < 0$) układu. Stosując zmienną bezwymiarową

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[at + \ln \left(\frac{a}{2b} \right) \right]$$

oraz zanedbując stałą G_0 , funkcję Gompertza można zapisać w uproszczonej formie

$$G(\tau) = e^{-\frac{1}{2} e^{-\sqrt{2}\tau}}$$

W zależności od znaku stałej b , funkcja Gompertza spełnia równanie wzrostu ($b > 0$)

⁵¹ B. Gompertz, *On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies*, „Philosophical Transactions of the Royal Society” 115 (1825), s. 513-585.

⁵² Z. Bajzer, S. Vuk-Pavlović, *New dimensions in Gompertzian growth*, „Journal of Theoretical Medicine” 2 (2000), s. 307-315; T. E. Wheldon, *Mathematical models in cancer research*, Adam Hilger 1988.

$$\hat{A}^+G(\tau)^+ = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{d}{d\tau} + \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - e^{-\sqrt{2}\tau}) - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] G(\tau)^+ = 0$$

lub regresji ($b < 0$)

$$\hat{A}^-G(\tau)^- = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[-\frac{d}{d\tau} + \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - e^{-\sqrt{2}\tau}) - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] G(\tau)^- = 0$$

Można również pokazać⁵³, że funkcja Gomperta jest rozwiązaniem równania różniczkowego drugiego rzędu, ze względu na czas. Równanie to zapisane w zmiennej bezwymiarowej τ , przyjmuje formę typową dla równania na wartości własne

$$\hat{W}G(\tau) = WG(\tau)$$

$$-\frac{1}{2} \frac{d^2G(\tau)}{d\tau^2} + \frac{1}{4} (1 - e^{-\sqrt{2}\tau})^2 G(\tau) = \frac{1}{4} G(\tau)$$

którego interpretacja jest następująca: operator, działając na funkcję własną, daje wartość własną pomnożoną przez funkcję własną. Analiza powyższego równania pokazuje, że jest ono szczególną formą kwantowego, przestrzenno-podobnego⁵⁴ równania Horodeckiego-Feinberga⁵⁵, z czasowo-zależnym potencjałem Morsa⁵⁶, opisującym propagację nierelatywistycznych pól tachionowych. Równanie to przyjmuje formę:

$$-\frac{1}{2} \frac{d^2}{dq^2} \psi(q) + \frac{1}{4x_c} (1 - e^{-\sqrt{2x_c}q})^2 \psi(q) = \left[\left(v + \frac{1}{2} \right) - \left(v + \frac{1}{2} \right)^2 x_c \right] \psi(q)$$

⁵³ Molski, Konarski, *Coherent states of Gompertzian growth*, s. 0219162.

⁵⁴ Pola przestrzenno-podobne (tachionowe) propagują się z prędkością grupową większą niż prędkość światła w próżni, pola czaso-podobne (bradionowe) propagują się z prędkością grupową mniejszą niż prędkość światła w próżni, natomiast prędkość grupowa propagacji pól luksonowych (elektromagnetycznych, grawitacyjnych) jest równa prędkości światła w próżni.

⁵⁵ G. Feinberg, *Possibility of faster-than-light particles*, „Physical Review” 159 (1967), s. 1089; R. Horodecki, *Extended wave description of a massive spin-0 particles*, „Il Nuovo Cimento B”, 102 (1988), s. 27-32.

⁵⁶ P. M. Morse, *Diatomic molecules according to the wave mechanics. II. Vibrational levels*, „Physical Review” 34 (1929), s. 57-64.

w którym x_e oznacza parametr anharmoniczności, natomiast $\nu=0,1,2,\dots$ jest liczbą kwantową wibracji. Równanie Horodeckiego-Feinberga opisuje układy nielocalne ewoluujące w czasie z prędkością przekraczającą prędkość światła w próżni. Dla $x_e=1$ i $\nu=0$ równanie Horodeckiego-Feinberga-Morsa jest szczególną formą równania Gompertza (drugiego rzędu), równanie zatem, jak i jego rozwiązanie (funkcja Gompertza) opisują czasową ewolucję nielocalnych układów biologicznych, opisywanych czasowo-zależnym potencjałem Morsa. Z drugiej strony równanie wzrostu Gompertza (pierwszego rzędu) jest szczególną formą równania anihilacji dla przestrzenno-podobnych stanów koherentnych⁵⁷

$$\hat{A}^+G(\tau) = \alpha G(\tau)$$

z wartością własną $\alpha=0$. Przestrzenno-podobne stany koherentne minimalizują⁵⁸ zasadę nieoznaczoności Heinsenberga dla czasu i energii (stała Plancka h dzielona przez 2π jest równa jeden; $\hbar=1$)

$$(\Delta T)^2(\Delta E)^2 \geq \frac{1}{4} \langle \alpha | g(\tau) | \alpha \rangle$$

w której $T(\tau)$ oznacza czasową zmienną Morsa, natomiast \hat{E} jest operatorem energii ($\hbar=1$)

$$T(\tau) = -\frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\sqrt{2}\tau} \quad \hat{E} = i \frac{d}{d\tau}$$

związanym ze zmienną czasową relacją komutacji

$$[T(\tau), \hat{E}] = ig(\tau).$$

Podstawową własnością przestrzenno-podobnych stanów koherentnych jest to, że ewoluują koherentnie w przestrzeni wzdłuż dobrze zlokalizowanej trajektorii czasowej⁵⁹. Różni je to od zwykłych czaso-podobnych stanów koherentnych, które minimalizują zasadę nieoznaczoności pęd-położenie –

⁵⁷ Molski, Konarski, *Coherent states of Gompertzian growth*, s. 0219163.

⁵⁸ Tamże.

⁵⁹ Tamże.

stany te są koherentne w czasie i propagują się wzdłuż dobrze zlokalizowanej trajektorii przestrzennej⁶⁰.

Otrzymane wyniki pokazują, że ewolucja układów biologicznych, opisywanych funkcją Gompertza, jest nielokalna, opisywana jest bowiem przestrzenno-podobnym (tachionowym) równaniem Horodeckiego-Feinberga-Morsa. Ewolucja układów gompertzowskich jest przestrzennie koherentna, albowiem funkcja wzrostu Gompertza jest również rozwiązaniem równania anihilacji (wzrostu) dla stanów koherentnych, minimalizujących zasadę nieoznaczoności Heisenberga dla energii i czasu.

IX. BIOSPLĄTANIE

Pojawia się pytanie, czy można wskazać przyczynę nielokalnej długozasięgowej koordynacji biologicznych układów gompertzowskich, spójną z naszą dotychczasową wiedzą na temat nielokalności układów kwantowych. Próba odpowiedzi na to pytanie prowadzi do koncepcji biosplątania⁶¹, która jest biologicznym odpowiednikiem kwantowego splątania w układach makroskopowych, zawierających 10^{12} atomów⁶². Przyczyną biosplątania odpowiedzialnego za nielocalne oddziaływania w układach biologicznych może być replikacja DNA. W procesie replikacji cząsteczka DNA, zbudowana z dwóch nici polinukleotydydowych, jest rozplątana na dwa pojedyncze łańcuchy. Do każdego łańcucha enzymy dobudowują komplementarną nić polinukleotydydową (replikacja semikonserwatywna). Komórki powstające podczas podziału otrzymują po jednej chromatydzie z każdego chromosomu. DNA w chromatydach ma taką samą sekwencję nukleotydów (koduje identyczne geny). Obie komórki powstające podczas podziału dysponują taką samą informacją genetyczną, jaką miała ich komórka macierzysta. Struktura DNA pokazuje, że zasady purynowe i pirymidynowe w dwóch niciach polinukleotydydowych powiązane są wiązaniem wodorowym odpowiedzialnym za

⁶⁰ W.-M. Zhang, D. H. Feng, R. Gilmore, *Coherent states: theory and some applications*, „Reviews of Modern Physics” 62 (1990), s. 867-927.

⁶¹ Pojęcie biosplątania (biouwikłania) odpowiada angielskiemu pojęciu *bioentanglement*, które zostało po raz pierwszy użyte przez Vittorio Betra w artykule *Physicists studying interconnectivity of life systems*, <http://phillips.exeter.edu/Events/Regions/bookclubnotesMay.htm>

⁶² B. Julsgaard, A. Kozhehin, E. Polzik, *Experimental long-lived entanglement of two macroscopic objects*, „Nature” 413 (2001), s. 400-403.

charakterystyczną bihelikalną strukturę DNA. W procesie replikacji wiązania wodorowe zostają zerwane, a dwie nici polinukleotydowe zostają odseparowane. Komórki powstające podczas podziału zawierają wyjściową nić DNA oraz nić komplementarną – dobudowaną. Analiza powyższego zjawiska pokazuje, że replikacja DNA spełnia podstawowy warunek Schrödingera⁶³ – wystąpienia biosplątania – nielokalnych długozasięgowych oddziaływań między odseparowanymi nićmi DNA (przy założeniu braku splątania z otoczeniem). W rezultacie podobne oddziaływania powinny pojawić się między komórkami zawierającymi ten sam typ DNA, prowadząc do długozasięgowej integracji i kooperacji systemu powstających komórek. W powyższym ujęciu zniszczenie (zaburzenie) biosplątania wskutek błędu w dobudowaniu komplementarnej nici DNA (mutacja) może prowadzić do lokalnej dekoherencji rozwoju i zainicjowania procesu nowotworzenia – przestrzennie koherentnego rozwoju komórek nowotworowych w skali lokalnej, a nie globalnej organizmu. Proliferacja komórek nowotworowych wyłamuje się z globalnej integracji i koherencji organizmu, albowiem jej dynamikę charakteryzują inne wartości parametrów a i b w funkcji Gomperta. Wskutek tego nowotworzenie (rozwój komórek rakowych) jest zjawiskiem konkurencyjnym względem rozwoju tkanki, organu, organizmu jako całość.

X. BOKONDENSACJA BOSEGO-EINSTEINA

Kondensacja Bosego-Einsteina polega na przejściu układu bozonów (cząstek o spinie całkowitym) w stan makroskopowy, w którym wszystkie bozony znajdują się w tym samym stanie kwantowym. W 1968 r. Herbert Fröhlich⁶⁴ przedstawił model kondensacji Bosego-Einsteina w układach biologicznych. W proponowanym przez Fröhlicha modelu kondensacja ma miejsce pod wpływem pompowania energetycznego ze źródła zewnętrznego (promieniowanie elektromagnetyczne) lub wewnętrznego (energia metaboliczna). Zgodnie z modelem Fröhlicha w komórkach powinny zachodzić oscylacje będące w rezonansie z elektromagnetycznym promieniowaniem mikrofalowym o częstotliwości 10^{11} Hz, które zachodzą wskutek kwantowej ko-

⁶³ E. Schrödinger, *Discussion of probability relations between separated systems*, „Proceedings of the Cambridge Philosophical Society” 31 (1935), s. 555.

⁶⁴ H. Fröhlich, *Long-range coherence and energy storage in biological systems*, „International Journal of Quantum Chemistry” 2 (1968), s. 641-649.

herencji. Efekt ten zachodzi nie pod wpływem niskiej temperatury, lecz z powodu dużej energii metabolicznej dostarczanej do układu. Uzasadnieniem jest istnienie wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa, które wskazuje, że kwantowe efekty koherentne mogą ujawniać się w skali biologicznej. W kondensacji Bosego-Einsteina wszystkie bozony znajdują się w tym samym stanie kwantowym. W skutek tego mamy do czynienia z układem makroskopowym w koherentnym stanie kwantowym, który charakteryzują zjawiska takie jak nadprzewodnictwo, nadpłynność itp. Proponowany model koherencji przestrzennej układów gompertzowskich uzasadnia możliwość wystąpienia w układach biologicznych kondensacji Bosego-Einsteina. Mianowicie analiza równania Horodeckiego-Feinberga-Morsa pokazuje⁶⁵, że dla $x_e=1$ i $v=0$ ma ono tylko jedno rozwiązanie w formie funkcji Gompertza. Funkcja ta reprezentuje stan podstawowy układu ($v=0$). Ewoluuje zatem w czasie układy gompertzowskie znajdują się w jednym i tym samym stanie, opisywanym funkcją Gompertza. Ponieważ funkcja ta poprawnie opisuje zarówno ewolucję układu komórek (makrosystem), jak i pojedynczej komórki (mikrosystem)⁶⁶, pojawia się warunek konieczny i dostateczny wystąpienia biologicznej kondensacji (biokondensacji) Bosego-Einsteina. Wskutek tego układy gompertzowskie należy traktować jako koherentne układy makroskopowe, których składowe (pojedyncze komórki) powiązane są ze sobą nielokalnymi oddziaływaniami *at-the-distance*. Powiązania tego typu umożliwiają ciągły i natychmiastowy transfer informacji między składowymi biosystemu, umożliwiając jego integrację jako całość.

XI. WNIOSKI

Przedstawiona koncepcja koherentnych stanów gompertzowskich pozwala uzasadnić istnienie zjawiska biokoherencji w układach biologicznych, których ewolucję w czasie opisuje funkcja Gompertza. Układy gompertzowskie ewoluują nielokalnie i koherentnie w przestrzeni, wzdłuż dobrze zlokalizowanej trajektorii czasowej. Ta własność odróżnia je od lokalnych stanów koherentnych, które ewoluują koherentnie w czasie, wzdłuż dobrze zlokalizowanej trajektorii przestrzennej. Funkcja Gompertza jest szczególnym roz-

⁶⁵ Molski, Konarski, *Coherent states of Gompertzian growth*, s. 0219163.

⁶⁶ A. K. Laird, *Dynamics of tumor growth: comparison of growth rates and extrapolation of growth curve to one cell*, „British Journal of Cancer” 19 (1965), s. 278-291.

wiązaniem przestrzenno-podobnego równania Horodeckiego-Feinberga-Morsa – opisuje ona czasową ewolucję nielokalnych układów biologicznych, opisywanych czasowo-zależnym potencjałem Morsa. Jedną z przyczyn nielokalności układów biologicznych może być zjawisko biosplątania, spowodowane replikacją DNA. Replikacja DNA spełnia warunek Schrödingera wystąpienia biosplątania – nielokalnych, długozasięgowych oddziaływań między przestrzennie odseparowanymi niciami DNA. Nielocalne oddziaływania umożliwiają kontakt *at-the-distance* nawet w przypadku znacznie oddalonych nici DNA, a w rezultacie – odległych komórek zawierających ten sam typ DNA. Tak sformułowany nielokalny model biokoherencji dopuszcza ciągłą i natychmiastową integrację i koordynację poziomu mikrobiologicznego (pojedyncza komórka) i poziomu makrobiologicznego (tkanka, organ, organizm). Konsekwencją jest integracja organizmu w skali globalnej oraz jego koherentny rozwój na wszystkich poziomach bioegzystencji. W układach gompertzowskich pojawiają się warunki konieczne do wystąpienia kondensacji Bosego-Einsteina, przewidzianej przez Herberta Fröhlicha w 1968 r. Uzasadnieniem był argument, że przy wystarczająco dużej energii metabolicznej, połączonej z własnościami dielektrycznymi materii biologicznej, wielkoskalowe zjawiska koherentne (nadprzewodnictwo, nadciekłość) mogą zachodzić nawet w temperaturze charakteryzującej układy biologiczne. W przypadku kondensacji Bosego-Einsteina składowe układu znajdują się w tym samym stanie kwantowym, opisywanym globalną funkcją falową systemu, taką samą jak funkcja falowa składowych układu. W układach gompertzowskich ewoluujące – zgodnie z modelem Gompertza – komórki znajdują się w tym samym stanie opisywanym lokalną funkcją Gompertza (mikrosystem). Natomiast zbiór komórek (makrosystem) jest opisywany przez globalną funkcję Gompertza, o tych samych parametrach dynamicznych jak funkcja lokalna. Układ makroskopowy, jakim jest tkanka, organ, organizm, znajduje się zatem w tym samym stanie jak jego składowe mikroskopowe. Zjawisko to można traktować jako biologiczny odpowiednik kwantowej kondensacji Bosego-Einsteina w skali makroskopowej. Komórki obdarzone tym samym typem DNA znajdują się w stanie koherentnego rozwoju, w którym nawet odległe składowe układu biologicznego są przestrzennie zintegrowane i kooperują na dużych odległościach. Powyższy obraz biologicznej przestrzenno-podobnej koherencji jest zgodny z koncepcjami rozwijanymi przez Mae-Wan Ho, która uzasadnia istnienie przestrzennej biokoherencji w spo-

sób następujący⁶⁷: „[...] each molecular event requiring the transfer of energy contained in one molecule of ATP – precisely coordinated over the whole cell. In a typical muscle contraction, all the cells (or fibres) in the muscle are executing the same molecular treadmill, an astronomical number of them in concert. This means that simply waving our arms about requires a series of actions coordinated instantaneously, over a scale of distances spanning nine orders of magnitude from 10^{-9} m for inter molecular spacing to about 1 m for the length of our arm; each action furthermore involving the coordinate splitting of 10^{20} individual molecules of ATP”. Koherentny model kontrakcji mięśni z uwzględnieniem kwantowego splątania zaproponował Koichiro Matsuno⁶⁸ w 1999 r. Prezentowany w niniejszej pracy model koherentnego rozwoju układów gompertzowskich w pełni modele Mae-Wan Ho oraz Matsuno potwierdza.

BIBLIOGRAFIA

- Aharonov Y., Vaidman L.: Properties of a quantum system during the time interval between two measurements, „Physical Review A” 41 (1990), s. 11-20.
- Aspect A., Dalibard J., Roger G.: Experimental test of Bell’s inequalities using time-varying analyzers, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 1804-1807.
- Aspect A., Grangier P., Roger G.: Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedankenexperiment: a new violation of Bell’s inequalities, „Physical Review Letters” 49 (1982), s. 91-94.
- Aspect A., Grangier P.: Experiments on Einstein-Podolsky-Rosen type correlations between pairs of visible photons, [w:] Quantum concepts in space and time, red. R. Penrose, C. J. Isham, Oxford: University Press 1986.
- Bajzer Z., Vuk-Pavlović S.: New dimensions in Gompertzian growth, „Journal of Theoretical Medicine”, 2 (2000), s. 307-315.
- Bell J. S.: On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, „Physics” 1 (1964), s. 195-200.
- On the problem of hidden variables in quantum theory, „Reviews of Modern Physics” 38 (1966), s. 447-452.
- Speakable and unspeakable in quantum mechanics, Cambridge: University Press 1987.
- Berkeley G.: Treatise concerning the principles of human knowledge, 1710.
- Bohm D.: The paradox of Einstein, Rosen and Podolsky, [w:] Quantum theory and measurements, red. J. A. Whiler, W. H. Zurek, Princeton: University Press 1983.

⁶⁷ M-W. Ho, *The rainbow and the worm*, Singapore 1993, s. 10.

⁶⁸ K. Matsuno, *Cell motility as an entangled quantum coherence*, „BioSystems” 51 (1999), s. 15-19.

- A suggested interpretation of the quantum theory in the terms of “hidden” variables, [w:] Quantum theory and measurements, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton: University Press 1983.
- Ukryty porządek, przeł. M. Tempczyk, Warszawa: Pusty Obłok 1988.
- Bohm D., Hiley B.: On the intuitive understanding of nonlocality as implied in quantum theory, „Foundations of Physics” 5 (1975), s. 93-109.
- Bohr N.: „Atomic physics and human knowledge”, New York: Wiley 1963.
- Capra F.: Tao fizyki, przeł. P. Macura, Kraków: Nomos 1994.
- Davies P. C. W., Brown J. R.: Duch w atomie. Dyskusja o paradoksach teorii kwantowej, przeł. P. Amsterdamski, Warszawa: Cis 1996.
- De Beaquegard C., Werbos P.: Bell’s theorem, quantum theory, and conceptions of universe, red. M. Kafatos, Dordrecht: Kluwer 1989.
- De Broglie L.: Tentative d’interprétation causale et nonlinéaire de la mécanique ondulatoire, Paris: Gauthier-Villars 1956.
- Einstein A., Podolsky B., Rosen N.: Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?, „Physical Review” 47 (1935), s. 777-780.
- Feinberg G.: Possibility of faster-than-light particles, „Physical Review” 159 (1967), s. 1089-1105.
- Freedman S. J., Clauser J. F.: Experimental test of local hidden-variable theories, „Physical Review Letters” 28 (1972), s. 938-941.
- , — Experimental test of local hidden-variable theories, [w:] Quantum theory and measurements, red. J. A. Wheeler, W. H. Zurek, Princeton: University Press 1983.
- Fhrölich H.: Long range coherence and energy storage in biological systems, „International Journal of Quantum Chemistry” 2 (1968), s. 641-649.
- Gompertz B.: On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies, „Philosophical Transactions of the Royal Society, London” 115 (1825), s. 513-585.
- Gribbin J.: Schrödinger’s kittens and the search for reality. Solving the quantum mysteries, New York: Back Bay Books 1995.
- Heisenberg W.: Physics and philosophy, New York: Harper Torchbooks 1971.
- Ho M-W.: The rainbow and the worm, Singapore: World Scientific 1993.
- Horodecki R.: Extended wave description of a massive spin-0 particles, „Il Nuovo Cimento B” 102 (1988), s. 27-32.
- Jammer M.: The conceptual development of quantum mechanics, New York: McGraw-Hill 1966.
- Josephson B. D., Pallikari-Viras F.: Biological utilisation of quantum nonlocality, „Foundations of Physics” 21 (1991), s. 197-207.
- Julsgaard B., Kozhekin A., Polzik E. S.: Experimental long-lived entanglement of two macroscopic objects, „Nature” 413 (2001), s. 400-403.
- Matsuno K.: Cell motility as an entangled quantum coherence, „BioSystems” 51 (1999) s. 15-19.
- Minn H.: Creation from nothing or anything, „Il Nuovo Cimento B” 105 (1990), s. 901-905.
- Molski M.: The dual de Broglie wave, [w:] Advances in Imaging and Electron Physics, 101: 1998, red. P.W. Hawkes, San Diego: Academic Press, s. 144-239.
- Molski M., Konarski J.: Coherent states of Gompertzian growth, „Physical Review E” 68 (2003), s. 021916(1-7).
- Morse P. M.: Diatomic molecules according to the wave mechanics. II. Vibrational levels, „Physical Review” 34 (1929), s. 57-64.

- Peat D.F.: Superstrings and the search for the theory of everything. Chicago: Contemporary Books 1988.
- Penrose R.: The emperor's new mind, Oxford: University Press 1989.
- Rohrlich F.: From paradox to reality, Cambridge: University Press 1987.
- Schrödinger E.: Discussion of probability relations between separated systems, „Proceedings of the Cambridge Philosophical Society” 31 (1935), s. 555-563.
- Sedlak W.: Bioelektronika, Warszawa: PAX 1979.
- Elektrostaza i ewolucja organiczna, „Roczniki Filozoficzne” 15 (1967), z. 3, s. 31-58.
- Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia, „Roczniki Filozoficzne” 18 (1970), z. 3, s. 101-126.
- Stapp H.P.: S-matrix interpretation of quantum theory, „Physical Review D”, 3 (1971), s. 1303-1320
- Thaheld F.: Biological nonlocality and the mind-brain interaction problem: comments on a new empirical approach, „BioSystems” 70 (2003), s. 35-41.
- Wheldon T.E.: Mathematical models in cancer research, Adam Hilger: Bristol 1988.
- Zhang W-M., Feng D.H., Gilmore R.: Coherent states: theory and some applications, „Reviews of Modern Physics” 62 (1990), s. 867-927.

NONLOCALITY AND BIOCOHERENCE

Summary

In a series of quantum experiments performed in 1935-1986 a validity of the quantum theory has been tested. The results obtained have changed the viewpoints of physicists and philosophers on the nature of the Universe and physical reality. In particular, they have changed the traditional West view on the relationship between micro- and macro-level, between a part and the wholeness and between the system and its constituents. From the distinguishing quantum experiments a brief description of the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, the Bell's inequality and the Aspect-Dalibard-Roger experiment is made. The results obtained are important for the concept of the bioplasmatic transfer of information in the living systems, developed by Włodzisław Sedlak. According to the Sedlak's idea, the bioplasma is a local concept, so it does not take into account the possibility of a faster than light signaling. Because in the living systems the long-range quantum correlations should appear, the concept of bioplasma should be generalized to include the non-local quantum effects. As a consequence – such a dynamic quantum system as bioplasma has to be non-local – all its elements are connected because of quantum correlations, regardless of the distance between them. A model of the biocoherence for the systems described by the Gompertz function is presented. In this approach, the Gompertz function is a solution of the space-like (tachyonic) Horodecki-Feinberg equation with the time-analog of the Morse potential function. It is shown that Gompertzian systems evolve coherently and non-locally in the space. The presented model admits a continuous and instantaneous transfer of “influences” between micro-level represented by the single cell and the macro-level represented by the biosystem (tissue, organ, organism) as a whole. A consequence is the integration of organism and its coherent development on all levels of the bio-existence.

Summarized by Marcin Molski

Słowa kluczowe: nielokalność, kwantowe splątanie, koherencja, układy gompertzowskie, biokoherencja

Key words: nonlocality, quantum entanglement, coherence, Gompertzian systems, biocoherence.