Mirosław Z. Harciarek

Politechnika Częstochowska

Czestochowa University of Technology

DWUASPEKTOWA JEDNOSTKA POZNAWCZA CZŁOWIEKA A ZASADA NIEOKREŚLONOŚCI HEISENBERGA-GABORA

Dual-Aspect Unit of Human Cognition and Heisenberg-Gabor's Uncertainty Principle

Słowa kluczowe: dwuaspektowość poznania, jednostka poznawcza, logon, teoria komunikacji, powidoki, zasada nieokreśloności.

Key words: dual-aspect cognition, unit of cognition, logon, theory of communication, afterimage, uncertainty principle.

Streszczenie

W pracy podjęto zagadnienie dwuaspektowości poznania uwzględniające wymiary czasu i przestrzeni. Za punkt wyjścia do przedstawienia jednostki poznawczej człowieka przyjęto teorię komunikacji Dennisa Gabora oraz wynikającą z niej zasadę nieokreśloności. Dwie zmienne składające się na jednostkę poznawczą (tzw. *logon*) to: spostrzeżenia (Δf) i powidoki (Δt). Jako argumenty przemawiające za zastosowaniem zasady nieokreśloności Heisenberga-Gabora do opisu procesów poznawczych podano m.in. empiryczne zależności między powidokiem a spostrzeżeniem oraz związek między zmęczeniem a percepcją. W zakończeniu odniesiono się do teorii Rogera Penrose'a, wskazując na jej zgodność z przedstawioną w tym artykule propozycją opisu procesów poznawczych.

Abstract

In the present work the issue of dual-aspect cognition is discussed with taking into account the dimensions of time and space. Dennis Gabor's communication theory and the uncertainty principle resulting from it have been adopted as starting points in presenting the unit of human cognition. Two variables that constitute a cognition unit (so called *logon*) are: observations (Δf) and afterimages (Δt). Arguments that support the application of uncertainty principle of Heisenberg-Gabor to describe cognitive processes are empirical relations between an afterimage and observation or between fatigue and perception. In the conclusions the reference to Roger Penrose's theory is made with indication to its accordance with the proposal of cognitive processes' description presented in the article.

Dwuaspektowość poznania

Czy percepcja jest nam dana w formie całościowych „kadrów" rozumianych jako pojedyncze jednostki poznawcze, będące spostrzeżeniami, obrazami lub *gestaltami* (postaciami)? Takie rozumienie percepcji postulowali psychologowie postaci, którzy przyjęli istnienie *gestaltu*, czyli jednostki poznawczej będącej funkcjonalną całością składającą się z figury i tła. Również współcześnie proponuje się koncepcję podstawowych układów przetwarzania informacji, jak *logon* (Gabor, Pribram), *holon* (Nosal) czy elementarna jednostka analizy typu TOTE. Ogólnie mówiąc, kierunek poszukiwania podstawowego układu przetwarzania informacji przez człowieka jest nadal aktualny i wszystko wskazuje na to, że będzie dalej rozwijany[1]. Niniejsza praca kontynuuje ten rodzaj myślenia i proponuje rozumienie jednostki poznawczej człowieka w odniesieniu do teorii komunikacji Dennisa Gabora, a dokładniej: postuluje zastosowanie matematycznej formuły wspomnianej teorii do wyjaśnienia i opisu funkcjonowania układu poznawczego.

Jednym z podstawowych zagadnień dotyczących zarówno jednostki poznania, jak i szeroko pojętego procesu poznawczego są jego elementy składowe. Autorzy znanej pracy *Plany i struktura zachowania*: George Miller, Eugene Galanter i Karl Pribram uznali, że kluczowymi wymiarami/kategoriami w przetwarzaniu informacji przez człowieka są „plany" i „obrazy". „Plany" to przebieg procesu poznania dotyczącego wymiaru czasu, natomiast „obrazy" to przestrzeń, czyli spostrzeżenia. Razem wymiary te składają się na jedną zintegrowaną całość, tworząc jednostkę TOTE, funkcjonującą w układzie sprzężenia zwrotnego o hierarchicznym charakterze. Można zatem powiedzieć, że dwoma podstawowymi aspektami składającymi się na poznawczą jednostkę analizy są czas („plany") i przestrzeń („obrazy"). Takie dwuaspektowe podejście do procesu poznania uwzględniające zarówno wymiar *czasu*, jak i *przestrzeni* jest stosunkowo rzadkie w psychologii, gdyż najczęściej uwzględnia się jedynie wymiar przestrzenny, czyli obrazy, a pomija kategorię czasu.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że dwuaspektowość poznania jako taka (chociaż bez wyraźnego akcentowania czasu i przestrzeni) była już od dawna obecna w wyjaśnianiu percepcji. Przecież rozróżnienie na wrażenia i spostrzeżenia także można rozumieć jako dwuaspektowość poznania, podobnie jak podział pola spostrzeżeniowego na *figurę* i *tło*. W szerokiej perspektywie problem dwuaspektowości poznania został przedstawiony w innej pracy[2], z której wynika, że wrażenia i spostrzeżenia to ortogonalne wymiary, które należy ostatecznie

[1] M. Harciarek, *Wzrokowy układ poznawczy jako spektrometr* (część I), „Humanistyka i Przyrodoznawstwo" 2014, nr 20, s. 161–176. M. Harciarek, *Wzrokowy układ poznawczy jako* spektrometr (część II), *Humanistyka i Przyrodoznawstwo*, 2015, nr 21, s. 79–95.

[2] M. Harciarek, *Dwuaspektowość poznania, czyli relacja wrażeń do spostrzeżeń jako jednostka poznawcza*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.

opisać w kategoriach *czasu* (wrażenia i czucia mające bardziej energetyczny i emocjonalny niż treściowy charakter, zjawiska przedpoznawcze,) i *przestrzeni* (spostrzeżenia, obrazy, treść informacji).

Współczesna psychologia najczęściej opisuje zjawiska psychiczne głównie w sposób przestrzenny i obrazowy, niejako ignorując ich aspekt czasowy. Spostrzeżenia i procesy percepcyjne przedstawiane są jako obiekty i przedmioty „obrazowe", niejako z pominięciem wymiaru czasowego. Jak zauważa Jan Trąbka, podejście takie przypomina bardziej naukę anatomii, która opisuje budowę danego układu (jako strukturę statyczną), a nie dyscyplinę, która wyjaśnia jak dany układ działa, czyli fizjologię (opisującą przebieg funkcjonowania danego układu). Inaczej mówiąc, w psychologii poznawczej najczęściej brakuje uwzględnienia kategorii *czasu*, a psychika i procesy poznawcze są ujmowane jednowymiarowo, czyli tylko z uwzględnieniem wymiaru *przestrzeni*. Oto co na ten temat pisze J. Trąbka: „istnieje jedna czasoprzestrzeń, z której nie można wypreparować osobno ani *czasu*, ani *przestrzeni*". Właściwą postawą powinno być zatem „dążenie do całościowego ujmowania zagadnień". Dalej autor ten pyta: „Co warta byłaby informacja [psychologia – M.H.], która symbolizowałaby tylko jakiś fragment, jakiś ułamek rzeczywistości, a nie całość?"[3].

Można zadać w tym miejscu pytanie, czy są jakieś inne opracowania, poza wspomnianą książką Millera, Galantera i Pribrama, które ujmują procesy komunikacji i informacji całościowo, uwzględniając *czas* i *przestrzeń* łącznie? Jest taka praca. Została napisana przez Dennisa Gabora, laureata Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki, i opublikowana jako artykuł[4]. Jej autor, dokonując analizy informacji, wyjaśnia, że dotychczas proces komunikacji analizowano jednowymiarowo, tzn. brano pod uwagę albo parametry czasowe, albo częstotliwość, ale nie uwzględniano ich razem. W swojej teorii komunikacji postanowił on wymiary te połączyć i uwzględnić je łącznie.

Ponieważ problem jednostronnego ujmowania komunikacji, jaki podjął Gabor, dotyczy także psychologii, która analizuje procesy poznawcze (odbiór informacji, percepcję), głównie biorąc pod uwagę obraz, czyli parametr przestrzenny (częstości), a zupełnie pomija aspekt czasowy, powstaje pytanie, na ile opis przesyłania informacji przedstawiony przez tego autora nadaje się do opisu komunikacji w układzie nerwowym? W rzeczywistości, podążając za D. Gaborem i J. Trąbką, należy postawić problem jednostki poznania jeszcze wyraźniej i stwierdzić kategorycznie, że nieuwzględnienie wymiaru czasowego w psychologicznym opisie procesu poznania jest błędem. Inaczej mówiąc, pominięcie drugiego aspektu, czyli *czasu* i wyjaśnianie procesu poznania jedynie w wymiarze przestrzennym, jest niewłaściwe. Czy jednak podejście uwzględniające oba oma-

[3] J. Trąbka, *Mózg a świadomość*, Kraków – Wrocław 1983, s. 46–48.

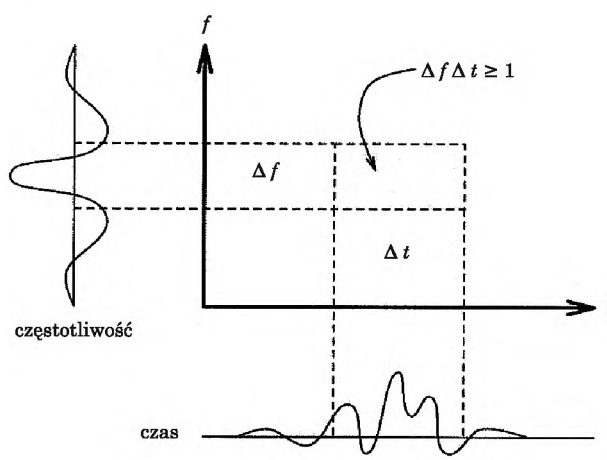
[4] D. Gabor, *Theory of Communication*, "Journal of the Institution of Electrical Engineers" 1946, nr 13, s. 429–457.

wiane wymiary, które sprawdziło się w telekomunikacji, przyniesie równie pozytywne wyniki w psychologii, a tym samym pozwoli lepiej zrozumieć i wyjaśnić poznawanie świata przez człowieka?

W niniejszym artykule postawiono tezę, że przezwyciężenie w psychologii jednostronnego („obrazowego") podejścia do opisu poznania i uwzględnienie teorii komunikacji Gabora pozwala na lepsze rozumienie procesu poznawczego, jak również pokazuje jego ścisły związek z innymi zjawiskami dotyczącymi spostrzegania. Artykuł ten jest próbą psychologicznej interpretacji teorii Gabora i jej zastosowaniem do opisu funkcjonowania jednostki poznawczej. Inaczej mówiąc, posłużono się tu teorią komunikacji Gabora zarówno do opisu przetwarzania informacji w układzie nerwowym, jak i do wyjaśnienia jego sprawności (kondycji), uwzględniając dotąd pomijane zjawisko powidoku, które jak wiadomo ma charakter głownie czasowy i stanowi integralną składową procesu poznawczego[5].

Jednostka przetwarzania informacji w teorii Gabora oraz jej interpretacja w psychologii

Dennis Gabor, podobnie jak Werner Heisenberg i David Hilbert przed nim, przyjął istnienie ortogonalnej relacji zachodzącej między czasem a częstością i przedstawił ją w postaci przestrzeni fazowej (rys 1). Jak wspomniano, autor ten był zaintrygowany faktem, że w psychofizyce, podobnie jak w fizyce kwantowej, można albo dokładnie określić częstotliwość sygnału (np. dźwięk, ton), albo jego czas (pojawienie się, trwanie), natomiast nie można z tą samą precyzją określić



Rys 1. Ortogonalność wymiaru czasu i częstotliwości (przestrzeni)

[5] S. Anstis, F.A.J. Verstraten, G. Mather, *The Motion Aftereffect*, "Trends in Cognitive Sciences" 1998, t. 2.

ich obu jednocześnie. Konsekwencją tych rozważań i analizy jest wniosek, że zasada nieokreśloności Heisenberga tak samo dobrze stosuje się zarówno do psychofizyki, jak i do fizyki kwantowej. Wymiar czasu i wymiar częstości (przestrzeni) nie są ze sobą sprzeczne, one dopełniają się wzajemnie, a relacje między nimi opisuje wspomniana zasada nieokreśloności, którą współcześnie w komunikacji określa się jako zasadę Heisenberga-Gabora. Zasada ta ma następującą postać:

$$\Delta t \times \Delta f \approx 1$$

Odnosząc tę matematyczną formułę do procesu poznania, czyli do percepcji, występujące w niej składowe (Δt, Δf) należy rozumieć następująco:

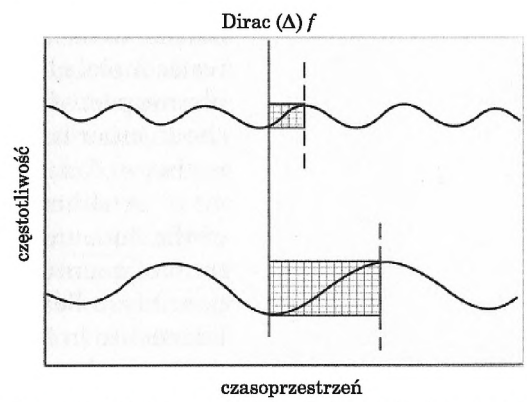
Δf – częstotliwość przestrzenna, obraz, figura, spostrzeżenie obiektu, dokładność spostrzeżenia;

Δt – czas trwania powidoku percypowanej figury, szybkość spostrzegania, tło czasowe, kontekst;

1 – jednostka poznawcza, jednostka informacji (*logon*), gestalt.

We wspomnianej tutaj pracy Gabor pisze: „To równanie mówi, że *t* i *f* nie mogą być określone jednocześnie na tym samym poziomie dokładności, ale tylko jedno z nich, jak to wynika z zasady nieokreśloności. Pomimo że ta interpretacja zasady Heisenberga jest obecnie powszechnie znana, szczególnie dzięki popularności teorii kwantowej, wydaje się, że twierdzenie to samo w sobie przyciągnęło mniej uwagi, niż na to zasługuje”[6]. A dalej konstatuje: „W teorii komunikacji bliski związek tego równania z fundamentalną zasadą transmisji wydaje się przechodzić niezauważony”[7].

Ostatecznie jednostkę komunikacji określił Gabor *logonem* i uznał ją za podstawową składową procesu poznania, którą opisuje wyżej przedstawione równanie. Graficzną formę tej jednostki prezentuje rysunek 2.



Rys 2. Logony, elementarne funkcje Gabora jako kwanty informacji
Opracowanie własne na podstawie K. Pribram The Form Within, Prospecta Press, Westport 2013.

[6] D. Gabor, op. cit., s. 432.
[7] Ibidem, s. 432.

Gdy rozważania Gabora i otrzymany przez niego wzór odniesiemy do poznania wzrokowego jako komunikacji, to zgodnie z przedstawionym wyżej objaśnieniem, jako wymiar częstości (Δf) należy przyjąć percypowany obraz (częstość przestrzenną), czyli spostrzeżenie. Co natomiast z czasowym aspektem (Δt) procesu poznania? Zgodnie z tym, co zasygnalizowano wcześniej, w niniejszej pracy przyjęto, że wymiarem czasowym (Δt) poznania są efekty następcze pojawiające się niejako po stymulacji wzrokowej lub w jej trakcie, czyli tzw. powidoki, które należy uznać za najbardziej temporalny składnik procesu poznania. Czy takie podejście jest słuszne? Dylemat ten powinna rozstrzygnąć empiria, czyli fakty i badania, które pokażą, na ile zasada nieokreśloności Heisenberga-Gabora zastosowana do procesów poznawczych wyjaśnia różne problemy percepcji, tzn. na ile zaproponowana tu koncepcja opisu jednostki poznawczej jest użyteczna i możliwa do zastosowania w psychologii. Czy propozycja Gabora pozwala lepiej zrozumieć procesy poznawcze człowieka? Czy można przyjąć za Pribramem i Gaborem, że podstawową jednostką przetwarzania informacji w mózgu jest *logon* opisany za pomocą zasady nieokreśloności?

Jednostka poznawcza w układzie wzrokowym jako związek spostrzeżenia i powidoku opisany zasadą nieokreśloności Heisenberga-Gabora

Przyjmując, że w poznaniu wzrokowym mamy analogiczną sytuację, jak przedstawił Gabor w komunikacji, tzn. że należy w nim uwzględnić dwa aspekty poznania, z których jeden ma charakter częstości (obrazy, spostrzeżenia), a drugi czasowy (powidoki, wrażenia, czucia) oraz będąc w zgodzie z tym, co zostało powiedziane wcześniej, relacja między spostrzeżeniami i powidokami powinna być opisywana zasadą nieokreśloności. Oznaczałoby to, że spostrzeżenia i powidoki (wrażenia) nie mogłyby być określone jednocześnie na tym samym poziomie dokładności. Inaczej mówiąc, jeśli spostrzeżenia byłyby dobrze określone, to powidoki byłyby określone gorzej i odwrotnie. W praktyce można tę zależność rozumieć jako obecność spostrzeżeń kosztem powidoków (czuć, wrażeń) i odwrotnie, tzn. powidoki istnieją kosztem spostrzeżeń.

Biorąc pod uwagę fenomenologię spostrzeżeń i powidoków (wrażeń), wspomnianą zależność można uznać za prawdziwą. Wszak efekty następcze (powidoki) występują najczęściej po częściowym „wyłączeniu" spostrzeżeń (np. po zamknięciu oczu) czy też osłabiają sprawność percypowanego obrazu rzeczywistości, jak to ma miejsce np. w mroczkach migrenowych, będących rodzajem samoistnych powidoków. Również w przypadku oślepienia silnym światłem (tzn. wywołanie efektu olśnienia u kierowców i powstanie powidoku) spostrzeganie

zostaje zaburzone, co może być przyczyną kolizji drogowych. Natomiast w przypadku dobrze określonych spostrzeżeń powidoki (oraz podobne iluzje percepcyjne) są prawie nieobecne.

Inną bardzo ważną zależnością w psychologii jest relacja między zmęczeniem a sprawnością percepcji. W świetle proponowanej tu poznawczej interpretacji teorii Gabora relacja ta może być opisana zasadą nieoznaczoności Heisenberga. Wynika z niej, że wysoki poziom zmęczenia powoduje powstawanie efektów następczych i dobrze określone powidoki oraz osłabia sprawność percepcji, co zostało stwierdzone empirycznie. Manifestuje się to tym, że kiedy obserwujemy przesuwające się przerywane linie z określoną prędkością, to w przypadku zmęczenia spostrzegamy je jako jedną linię ciągłą przy mniejszej szybkości ich przesuwania się niż w przypadku, kiedy nie jesteśmy zmęczeni. Można powiedzieć, że tzw. zjawisko *phi* jako zjawisko powidokowe, w przypadku zmęczenia jest lepiej określone i osłabia sprawność percepcji, czyli obniża jakość adekwatnego spostrzegania. Mamy tu więc do czynienia z zasadą nieokreśloności, czyli z niemożliwością określenia na tym samym poziomie dokładności percepcji i zjawiska *phi* jako zjawiska powidokowego. Inaczej mówiąc, zmęczenie powoduje zmianę wielkości parametrów czasowych i przestrzennych na wzór splątania w fizyce kwantowej, a ich wzajemną relację opisuje zasada nieoznaczoności Heisenberga.

Odnosząc koncepcję Gabora do szybkości reakcji człowieka, można uznać, że czas reagowania na dany bodziec również jest opisywany zasadą nieokreśloności. Zwiększenie czasu reakcji, podobnie jak przy zmęczeniu, jest nasileniem i pojawieniem się dobrze określonych efektów następczych kosztem szybkości reakcji, czyli słabym określeniem jej sprawności. Zależność tę wykorzystują psychoanalitycy do wykrywania kompleksów tzw. listy asocjacyjne (test kojarzeniowy). Wydłużenie czasu reakcji na dane słowo, czyli dobrze określona reakcja na nie, oznacza problemy emocjonalne związane z tym słowem na poziomie świadomym (słabo określony poziom percepcji).

Warto wspomnieć, że relacja między czasem (Δt) a częstotliwością (Δf) w fizyce kwantowej opisana zasadą nieoznaczoności została nazwana przez Nielsa Bohra komplementarnością. W omawianym tu procesie poznania oznacza to, że spostrzeżenia w odniesieniu do powidoków są w stosunku do siebie komplementarne. Analogicznie Carl Gustav Jung w artykule napisanym razem z Wolfgang Paulim[8] określił relację zachodzącą między świadomością i nieświadomością, co tutaj odpowiada relacji między spostrzeżeniami a powidokami. (Powidoki można rozumieć jako przejaw procesów nieświadomych.)

[8] C.G. Jung, W. Pauli, *Dwugłos o „korzeniach świadomości"*, Znak 1970, 193–194, s. 893–915.

Bardzo podobne zjawisko do komplementarności występuje w psychologii i jest określane przez psychoanalityków jako kompensacja. Pojęciem tym posługiwała się Jean Piaget i użył go do opisu rozwoju i równoważenia procesów poznawczych. Czy komplementarność w ujęciu Junga i Pauliego ma coś wspólnego z kompensacją Piageta? Nie wykluczone, że tak. Warto zauważyć, że kompensacja jest przez J. Piageta uznana za podstawę rozwoju struktur poznawczych i inteligencji, a badania H. Jankowskiej pokazały związek między inteligencją a powidokami, które tutaj uznajemy za jeden z dwu aspektów procesu poznania opisanego zasadą nieoznaczoności. Ponadto, wspomniana wcześniej zależność między czasem reakcji na dane słowo a kompleksem, czyli związek między poznaniem (spostrzeżeniem – Δf) a szybkością reakcji (czasem – Δt) może być rozumiany jako przejaw kompensacji. Relację między spostrzeżeniem a powidokiem również można uznać za kompensację. Inaczej mówiąc, kompensacja opisana w psychologii wykazuje zbieżność z komplementarnością w rozumieniu Bohra. Sugeruje to, że przedstawiona tu propozycja ujęcia procesów poznawczych w kontekście teorii Gabora i zasady nieokreśloności wydaje się nie tylko słuszna, ale także pozwala lepiej rozumieć zależności obserwowane w obszarze zjawisk poznawczych (procesy równoważenia struktur poznawczych).

Spostrzeżenia i powidoki a koncepcja Rogera Penrose'a

Można zadać pytanie, na ile przedstawiona tu propozycja opisania procesu poznania i jednostki poznawczej (*logonu*) za pomocą zasady nieokreśloności Heisenberga-Gabora jest zgodna z koncepcją Penrose? Według tego autora, sygnały neuronów zachowują się jak klasycznie określone zdarzenia, natomiast działania połączeń synaptycznych między neuronami zależą od procesów zachodzących na głębszym poziomie, gdzie można spodziewać się istotnej fizycznej aktywności na granicy między dziedziną fizyki klasycznej i kwantowej[9]. Inaczej mówiąc, spostrzeżenia można rozumieć jako związane z poziomem fizyki klasycznej, a powidoki jako zjawiska związane z poziomem kwantowym. Przejście z poziomu kwantowego, czyli z poziomu powidoków (nieświadomości), do spostrzeżeń (świadomości), czyli na poziom klasyczny, jest możliwe za pomocą redukcji funkcji falowej (tzw. redukcji wektora stanu **R**).

Rozpatrywanie powidoków jako przejawu poziomu kwantowego jest o tyle zasadne, że jak wiadomo, komórki siatkówki oka (uważanej za wypustkę mózgu) reagują na niewielką liczbę fotonów, co – jak pisze R. Penrose[10] – skłania do

[9] R. Penrose, *Cienie umysłu*, Zysk i S-ka, Poznań 2000, s. 11.
[10] Ibidem, s. 429.

przypuszczenia, że nie tylko na siatkówce oka, ale również w mózgu istnieją neurony działające jak kwantowe detektory. Autor ten uważa, „że skoro jest możliwe, iż efekty kwantowe inicjują procesy w mózgu zachodzące w znacznie większej skali, to **kwantowa nieoznaczoność** może stworzyć okazję, by **umysł** wpływał na działanie mózgu"[11]. Inaczej mówiąc, zasada nieoznaczoności według Penrose'a określa procesy umysłowe, podobnie jak w przedstawionej tutaj propozycji określa procesy poznawcze, opisując je.

Utożsamienie powidoków z poziomem kwantowym oraz spostrzeżeń z poziomem klasycznym fenomenologicznie może być uzasadnione sposobem, w jaki doświadczamy tych dwu zjawisk. Powidoki są przeżywane jako obiekty świetliste, przypominające swoim blaskiem wiązki lasera, natomiast spostrzeżenia nie mają tej właściwości. Obserwowana świetlistość powidoków może być interpretowana jako przejaw poziomu kwantowego, a spostrzeżenia, które są jej pozbawione, jako przejaw poziomu klasycznego.

Ponadto, powidoki można rozumieć jako uporządkowaną kwantową koherencję, która jest możliwa w układach biologicznych, jak twierdził Herbert Frohlich[12]. Inaczej mówiąc, przedstawione tu poglądy są zgodne z propozycją Rogera Penrose'a. W świetle niniejszej koncepcji nie ma konieczności odwoływania się do mikrotubuli, w których zachodzą koherentne oscylacje kwantowe[13], co nie oznacza, że taki proces nie ma miejsca. Podsumowując, można powiedzieć, że zaproponowana tu koncepcja procesów poznawczych opisana przez zasadę nieokreśloności Heisenberga-Gabora jest nie tylko zgodna z teorią Penrose'a, ale także wzbogaca ją o powidoki jako zjawiska kwantowej koherencji. Pozwala ona analizować empirycznie procesy poznawcze w perspektywie procesów kwantowych, otwierając w ten sposób nowe możliwości badania mózgu.

Literatura

Anstis S., Verstraten F.A.J., Mather G., *The Motion Aftereffect*, "Trends in Cognitive Sciences" 1998, t. 2.

Gabor D., *Theory of Communication*, "Journal of the Institution of Electrical Engineers" 1946, nr 13, s. 429–457.

Harciarek M., *Dwuaspektowość poznania, czyli relacja wrażeń do spostrzeżeń jako jednostka poznawcza*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.

Harciarek M., *Wzrokowy układ poznawczy jako spektrometr* (część I), „Humanistyka i Przyrodoznawstwo" 2014, nr 20, s. 161–176.

Harciarek M., *Wzrokowy układ poznawczy jako* spektrometr (część II), „Humanistyka i Przyrodoznawstwo" 2015, nr 21, s. 79–95.

[11] Ibidem.

[12] Ibidem, s. 433.

[13] Ibidem, s. 452.

Jung C.G., Pauli W., *Dwugłos o „korzeniach świadomości"*, Znak 1970.
Penrose R., *Cienie umysłu*, Zysk i S-ka, Poznań 2000.
Pribram K., *The Form Within*, Prospecta Press, Westport 2013.
Trąbka J., *Mózg a świadomość*, Kraków – Wrocław 1983.