

Liane GABORA

## MIKROTUBULE, ANESTETYKI I ŚWIADOMOŚĆ KWANTOWA: WYWIAD ZE STUARTEM HAMEROFFEM

Stuart Hameroff anezjolog na Uniwersytecie Arizony w Tucson, jest prawdopodobnie najbardziej znany dzięki modelowi świadomości „Orch OR”, który opracował wraz z wybitnym fizykiem Rogerem Penrose.

Siedzimy w przestronnym biurze Waltera De Brouwer przy Starlab, komercyjnym interdyscyplinarnym laboratorium badawczym w Brukseli, w Belgii. Ściany pokryte są rysunkami Marsa i Jupitera oraz zmysłowych androidów, a wielokolorowa lampa lawowa świeci spływając leniwie światłem na parapet.

LG: Powiedz mi jak podejść do badania czegoś takiego jak świadomość?

SH: Jest to stary problem sięgający przynajmniej czasów greckich. Dokładnie od początku istniały dwa współzawodniczące ze sobą poglądy. Sokrates uznał elementy zjawiska umysłowego — to co teraz nazywamy qualia — za „produkty mózgu”. W tych samych zarysach dzisiejsze podejście emergencyjne, obejmujące funkcjonalizm, materializm, redukcjonizm, komputacjonalizm, mocną AI, itd., wydaje się wywodzić od Sokratejskiego stanowiska, głoszącego iż doświadczenie świadomości pozostaje czystym produktem aktywności mózgowej.

Z drugiej strony Demokryt twierdził, że qualia są częścią natury, do której po prostu mózg uzyskał dostęp. Współcześnie istniejące sta-

---

\*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

nowisko, które wydaje się pochodzić od Demokryta, przyjmuje, iż qualia są fundamentalnymi cechami wszechświata opisywalnymi przez fizykę, podobnie jak spin czy ładunek. Pogląd ten zawierają nowoczesne wersje panpsychizmu, pan-protopsychizmu, Whiteheadowskiej pandoświadczalności i jest on uzależniony od rozwiązań, w skład których wchodzi teoria kwantowa. Można zatem powiedzieć, że dwoma wielkimi podejściami do świadomości są: (1) emergentyzm i (2) fundamentalizm. Myślę też, że będziemy zmuszeni rozgraniczyć te dwa podejścia.

LG: Powiedz nam, czym jest dokładnie pan-protopsychizm.

SH: Rozpocznę od panpsychizmu. Panpsychizm jest ideą, iż istnieje rodzaj świadomości obecny we wszystkim, np. w tym stole. Jest to stary pogląd, który został odnowiony w XVII stuleciu przez Spinozę. Panprotopsychizm jest terminem wprowadzonym przez filozofa Davida Chalmersa na oznaczenie idei, iż istnieje „dwuznaczny” byt, który jest potencjalnie świadomy, lecz który nie staje się świadomy dopóki nie jest aktywowany lub udostępniony. Tak np. kiedy protoświadome qualia podlegają aktywacji, lub gdy mózg uzyskuje do nich dostęp, stają się świadome, wzbogacają procesy nerwowe doświadczeniem.

Moim zdaniem pan-protopsychiczne qualia mogą zostać pewnego dnia opisane w terminach podstawowej dla wszechświata fizyki. Oczywiście istnieje, w powiązaniu z tym zagadnieniem, jeszcze inna zupełna tajemnica. Jaka jest ostateczna struktura wszechświata? Czym jest pusta przestrzeń? Jaki jest najniższy poziom rzeczywistości? Prawdopodobnie schodzi on do czegoś zbliżonego do skali Plancka, do poziomu  $10^{-33}$  cm i  $10^{-43}$  s, na którym czasoprzestrzeń nie jest już gładka i jednorodna, ale skwantowana i nieregularna. Zatem jest to poziom, na którym może być składowana potencjalnie ogromna ilość informacji, być może protoświadome qualia, a może nawet Platońskie wartości. Dobro, zło, cokolwiek, może być osadzone razem z qualiami w ostatecznej strukturze wszechświata. Platon w skali Plancka.

LG: Hm, bardzo przekonujące. Czyżbyś więc chciał zaklasyfikować się „jako w większym stopniu fundamentalista” niż zwolennik emergentyzmu?

SH: Tak. Istotnie, jako „funda-mentalista”. Myślę, że emergencja jest ważna, ale to nie cała historia. Tak daleko, jak sięgają teoretycy emergentyzmu, wydaje mi się, że model anatomiczny Edelmanna i model Bernie Baarsa dostarczają najbardziej wyraźnych prognoz dotyczących nerwowych korelacji świadomości. Crick i Koch posiadają również pewne dobre idee odnośnie do podstaw anatomicznych. Alwyn Scott dostarczył dowodu matematycznego za emergentyzmem, który odznacza się najwyższą elegancją. Państwo Churchlands i Dennett są wierni ujęciu redukcjonistycznemu. Nie jest jednak jasne, w jaki sposób któreś z tych rozwiązań może prowadzić do świadomości. Przyrodę cechuje występowanie wielu zjawisk o naturze emergencyjnej, które jednak nie są świadome. Dlaczego więc emergencja w mózgu miałaby się okazać świadomością? Mogłaby, ale to ogromne założenie. Fundamentalisci i teoretycy kwantowi w pościgu za świadomością pozostają w mniejszości. Ale jeżeli dobrze przypatrzeć się tym rozwiązaniom, okazuje się, iż nie można tego dokonać przy pomocy czystej emergencji.

LG: Dlaczego nie? Dzięki czemu można by „tego dokonać”? Czym są owe wielkie rozwiązania?

SH: Po pierwsze, istnieje problem zasadniczy — natury doświadczenia, qualiów. Teoretycy emergencyjni nie oferują wyjaśnienia, dlaczego zjawisko emergencyjne powinno posiadać qualia. Po drugie, problem wiązania, w jaki sposób połączyć razem różne aspekty odczuwanych doświadczeń tak, by otrzymać subiektywne odczucie czegoś jednego, odczucie jednego „ja”. Korelacja czasowa 40 HZ niczego faktycznie nie wyjaśnia. Po trzecie, przejście z przedświadomego do świadomego przetwarzania. Jak wiadomo, większość procesów poznawczych pozostaje nieświadoma; świadomość to wierzchołek góry lodowej. Teoretycy emergencyjni, jak powiedziałem, nie potrafią przewidzieć prognozy. Świadomość po prostu trafia się.

Po czwarte, Roger Penrose dowiódł na bazie teorii Gödela, iż pewne czynności wykonywane przez umysł są nieobliczalne. Pokazuje on, iż nie można wyjaśnić ludzkiej myśli algorytmicznie, że w celu wyjaśnienia tej nieobliczalności trzeba odwołać się do kolapsu kwantowej funkcji falowej i grawitacji kwantowej. Zwolennicy AI odrzucają to, ale myślę, że jest to słuszny argument. Jak powiedział Sherlock Holmes, gdy wykluczy się niemożliwe, to co pozostanie musi być prawdziwe, bez względu na to, jak jest nieprawdopodobne. Po piąte, wyjaśnienie świadomości musi wyjaśniać wolną wolę. I w końcu, zagadnienie subiektywności upływu czasu, dlaczego czas wydaje się płynąć naprzód i w jaki sposób możemy doświadczać pozornych anomalii czasowych.

LG: Kiedy zacząłeś myśleć o tych rzeczach? Czy to zainteresowanie pochodzi z twoich dziecięcych przemyśleń?

SH: Pamiętam, że kiedy byłem dzieckiem miewałem sny, w których znajdowałem się po drugiej stronie wszechświata. Myślałem wiele na temat ogromu wszechświata. Ale przypuszczam, że zostawiłem to w spokoju, przynajmniej na jakiś czas, gdyż zająłem się medycyną!

Moje zainteresowania świadomością sięgają do czasu college'u w późnych latach 60-tych. Później w szkole medycznej lato 1972 roku spędziłem pracując w laboratorium zajmującym się badaniami raka i z pomocą mikroskopu studiowałem podziały komórki. Zaintrygował mnie sposób, w jaki wrzeczona mitotyczne zbudowane z mikrotubuli, działały z precyzją delikatnej maszyny, rozrywając chromosomy w celu uformowania komórki pochodnej. Był to wspaniale zorganizowany, inteligentny system. Właśnie gdzieś w tym czasie ustalono, że wszystkie komórki są wypełnione mikrotubulami. Przez trzydzieści wcześniejszych lat odczynnik utrwalający, którego używano do badania komórek przy pomocy komputera elektronowego, rozpuszczał mikrotubule. Komórki widziano zatem jako torebki wodnej zupy, w której brak było trwałej struktury. Ale kiedy Keith Porter w Harvardzie zmienił odczynnik utrwalający z czterotlenku osmu na aldehyd glutarowy, zobaczono po raz pierwszy tę wspaniałą strukturę we wnętrzu komórki.

Stało się natychmiast oczywiste, iż mikrotubule mają istotne znaczenie nie tylko dla podziału komórki, ale także dla wielu innych aspektów struktury i funkcji zarówno w przypadku neuronów, jak i pozostałych komórek. Mikrotubule decydują o zasadniczej postaci i strukturze komórki, przenoszą materiały wewnątrz oraz poruszają samą komórką. Synaptyczne połączenia między neuronami są uformowane przez mikrotubule wyrastające i tworzące nowe synapsy z umiejscowionymi w nich procesami nerwowymi. Wewnątrz neuronów cała synaptyczna machineria jest syntetyzowana w ciele komórki i transportowana do synapsy za pomocą mikrotubuli. Zmiana mechanizmu recepcyjnego dokonuje się za pomocą wyspecjalizowanego transportu wzdłuż mikrotubuli. Nowe synaptyczne wyposażenie jest nieustannie tworzone, instalowane, niszczone i zastępowane. Tak więc regulacja synaps w górę lub w dół, co oznacza wzrost lub spadek ich czułości, dokonuje się dzięki działaniu mikrotubuli. Ten rodzaj kontroli wrażliwościowej jest kamieniem węgielnym nowoczesnego rozumienia procesów uczenia się i pamięci.

LG: Brzmi to, jakby same dbały o to, by były zajęte.

SH: Tak. Są całkiem rozgarnięte i dobrze zorganizowane. Wydają się „prowadzić show” w rzeczywistym czasie, we wnętrzu komórek. Posiadają tę piękną krystaliczną strukturę rurkową. Próbowałem wyobrazić sobie jak mogą być zorganizowane i ujrzałem je jako małe rurki radarowe lub rezonatory. Ale później przyjrzałem się uważniej witrażowej (lattice) strukturze samych ścian mikrotubuli — ukośnym sześciokątnym otoczkom — i zacząłem wyobrażać sobie komputer. Każde z poszczególnych, nazywających się „tubuliną”, białek, które trzymają się razem w tej sześciobocznej kracie musi być czymś podobnym do bitu informacji w komputerze. Włączony, wyłączony, oddziaływanie ze swoimi sześcioma sąsiadami. Dostrzegłem ten cały poziom obliczania dokonujący się wewnątrz komórek w mikrotubulach. Dla mnie było to całkiem oczywiste, ale poza tym dla nikogo więcej.

W latach 70-tych opublikowałem kilka zawiłych artykułów, w których proponowałem, by mikrotubule uznać za procesory informacyjne

pewnego typu, a także później w 1982 roku z kolegą, inżynierem Richim Watterem w *Journal of Theoretical Biology*.

Jak wiadomo, większość ludzi przyjmuje w odniesieniu do mózgu, iż neurony i synapsy są jego podstawowymi jednostkami przenoszenia informacji. Posiadamy 100 miliardów neuronów, każdy z tysiącami synaps i one tworząc połączenia synaptyczne — proste w sobie stany „włączony-wyłączony” — generują świadomość. Ignoruje to jednak wszystkie ważne zdarzenia zachodzące wewnątrz komórki. Weźmy taki jednokomórkowy organizm jak pantofelek. Znajduje on pożywienie, partnerów, rozmnaża się i może uciekać. Nie posiada on wcale żadnych synaps. Jest jedną komórką. Robi to wszystko dzięki procesowi informacyjnemu przebiegającemu w mikrotubulach, które kontrolują nie tylko szkielet komórkowy, ale także wejście czuciowe oraz wyjście motoryczne.

LG: W jaki sposób mikrotubule kontrolują wejście czuciowe i wyjście motoryczne pantofelka?

SH: Stworzenie to posiada setki wybrzuszeń wypełnionych mikrotubulami, wystających na zewnątrz, nazywanych rzęskami. Zbudowane są one z 9 podwójnych mikrotubuli znajdujących się w większym cylindrze. Posiadamy te same struktury w naszych uszach, jelicie, płucach i gdzie indziej.

LG: Mówimy zatem o dotykowej informacji sensorycznej. Nieprawdaż?

SH: Tak, a także o funkcji motorycznej. Tak więc jeżeli pantofelek natknie się na przeszkodę, jego rzęski ulegają zniekształceniu, sygnał przekazywany jest dalej przez tubuliny w mikrotubulach, przez rzęski do samej komórki i stamtąd do wewnętrznego cytoszkieletu mikrotubulnego. Znajduje się tam skupisko mikrotubuli, które wydają się być mózgiem pantofelka. Mikrotubule są systemem nerwowym komórki.

Rzęski również zwawo zginają się i w wysoce zorganizowany sposób działają jak wiosła lub łopatki, by kierować przypadkowymi zachowaniami pantofelka. Tak więc pantofelek napotyka przeszkodę, zmienia kierunek, a następnie opływa wokół niej. Znajduje on też partnerów, z którymi rozmnaża się.

Myślę, że skoro pantofelki potrafią robić to wszystko, w takim razie neurony, które są o wiele bardziej skomplikowanymi komórkami, są jeszcze zdolniejsze. A skoro świadomość jest taką tajemnicą, jak to oceniłem, lepiej przypatrzmy się wszystkiemu dokładnie, zwracając uwagę na to, co mogło przyczynić się do jej powstania. Rozpocząłem, zwracając uwagę na rolę, jaką mikrotubule mogą pełnić w mechanizmach molekularnych będących podstawą anestezji.

LG: Powiedz nam coś na ten temat.

SH: Po szkole medycznej ukończyłem w 1974 roku staż i zacząłem skłaniać się ku neurologii i psychiatrii, podążając za moją mózgowo/umysłową obsesją. Ale wtedy spotkałem przewodniczącego departamentu anestezjologicznego na Uniwersytecie Arizony. Nazywał się on Burnell Brown i przekonał mnie, że najlepszym sposobem zrozumienia świadomości jest badanie mechanizmu ogólnej anestezji. Przeważył w końcu fakt, iż przy właściwych dawkach anestetyki selektywnie ograniczają świadomość, podczas gdy inne funkcje mózgowe trwają. Burnell wręczył mi również artykuł autorstwa Johna Nunna napisany w Zjednoczonym Królestwie pokazujący, iż gazy anestetyczne powodują depolimeryzację mikrotubuli. Zostałem kupiony. Obliczyłem jednak później, iż ilość anestetyku konieczna do eksperymentalnej depolimeryzacji mikrotubuli była pięciokrotnie większa niż do anestezji. Niemniej jednak, badania mechanizmu anestetycznego były bardzo owocne.

Wszystkie gazy anestetyczne wiążą się za pomocą niezmiernie słabych sił fizycznych znanych jako siły van der Waalsa. Pacjent wdycha gaz, molekuly wędrują do płuc a następnie dostają się do krwioobiegu. Następnie molekuly gazowe zostają dosłownie wysane z krwi w pewne regiony mózgu ponieważ są dobrze rozpuszczalne w otoczeniu lipidowym, kiedy tworzą połączenia van der Waalsa. Ponieważ membrany są w większości lipidami, przez dłuższy czas myślano, że anestetyki są wiązane i działają w lipidowych regionach błon. Jednakże w latach 80-tych Nick Franks i Bill Lieb z Londynu wykazali, że anestetyki zatrzymują indywidualne białka, jeśli nawet na zdjęciu nie ma błony. Anestetyki zamiast oddziaływać na tubuliny — białka stwier-

dzone w mikrotubulach — oddziałują na białka wchodzące w skład receptora nikotynowego, w którym przekaźnikiem jest acetylocholina oraz wpływają na receptory serotoninowe i wiele innych. We wszystkich tych przypadkach anestetyki wywierają swój skutek przez otwarcie kieszonek lipidopodobnych („hydrofobicznych”) wewnątrz białek, tworząc w nich bardzo słabe wiązania van der Waalsa. W jakiś sposób te słabe oddziaływania mają poważne konsekwencje.

Anestetyki, by wykonać swoje zadanie, wydają się chronić białka przed zmianą ich jakości — dynamika dostosowawcza. Anestetyczne oddziaływania van der Waalsa, nazwane siłami londyńskimi, wymagają natychmiastowych połączeń dipolowych między elektronami w sąsiadujących obojętnych atomach lub regionach molekularnych. W ten sposób każdy atom lub ich grupa wzbudzą jakiś dipol w innych i na odwrót. Uwidacznia to, iż białka w ich naturalnym „świadomym” stanie zależą od swoich własnych sił londyńskich/wzbudzonych przez połączenia dipolowe dla dostosowania kontrolnego. Choć bardzo słabe, siły te pozostają liczne i wpływowe.

Zatem to, co wydaje się zachodzić, sprowadza się do tego, że pośredniczące anestetycznie siły londyńskie powstrzymują normalne pojawianie się sił londyńskich w przestrzeniach białkowych i w ten sposób nie dopuszczają białek do wykonania ich zadania. W 1983 roku Rich Watt i ja opublikowaliśmy artykuł sugerujący, że anestetyki wywierają swoje wpływy w białkowych kieszonkach hydrofobicznych, przez ograniczenie mobilności elektronów wywołujących siły londyńskie. Minęły lata, nim zdałem sobie sprawę, że siły londyńskie są kwantowo-mechaniczne i są zdolne do formowania makroskopowych stanów kwantowych. Nadal niejasnym pozostaje, które dokładnie białka pozostają pod największym wpływem anestetyków. Większość pracy została wykonana na receptorach białkowych, lecz anestetyki wiążą się również z tubuliną. Przypomina to najbardziej efekt grupowy — zaatakowane zostają receptory proteinowe i mikrotubule. Niektóre z receptorów białkowych będące pod wpływem anestetyków są hamujące, a niektóre pobudzające. Trzeba przyznać, iż dopóki postuluje się różne mechanizmy na różnych białkach, występuje tam jakiś ro-



dzaj efektu kolektywnego. Ale jaki? Pewien rodzaj stanu kwantowego powstającego w białkowych kieszonkach hydrofobicznych musi być powstrzymany przez anestezję, a więc jest konieczny dla świadomości.

W późnych latach 70-tych i wczesnych 80-tych wiele czasu spędziłem na badaniach w innych dziedzinach związanych z praktycznymi problemami w anestezjologii, co umożliwiło mi awans i stanowisko. Ciągle jednak byłem zafascynowany mikrotubulami, a w późnych latach 80-tych spotkałem Steena Rasmuseena z Laboratorium Narodowego w Los Alamos, który interesował się złożonością i źródłem życia. Zaczęliśmy spoglądać na mikrotubule, jak na automaty komórkowe. W teorii automatów komórkowych, przyjęło się używać terminu „komórka” w odniesieniu do podstawowych niepodzielnych elementów symulacji. Oczywiście pozostaje to w opozycji do tego, co powiedziałem na temat skomplikowania samej komórki. Tak więc w naszej symulacji „komórki” nie reprezentują komórek lub nawet mikrotubuli, lecz indywidualne białka tubulinowe ułożone wzdłuż mikrotubuli, jak ziarna na źdźble zboża. Ziarna są molekułami tubulinowymi, a oś (kłosu) jest mikrotubulą. Z tym wyjątkiem, że mikrotubula jest pusta, a więc cała struktura jest nieco odmienna. Mamy 13 kolumn białkowych wzdłuż, a indywidualne białka są ułożone ze swoimi sąsiadami w kształcie sześciobocznej kraty w symetrii skośnej. Przełączenie białek z jednego ustawienia na inne uzależnione jest od oddziaływania z ich sąsiadami.

Steen i ja przeprowadziliśmy pewne symulacje i odkryliśmy, że ułożenie to jest idealne dla typu przewodzenia informacyjnego w automatach komórkowych. Stany włączony-wyłączony w symulacji reprezentują różne ustawienia białek. Faktycznie, tubuliny posiadają prawdopodobnie przynajmniej pięć różnych ustawień, ale w naszej symulacji użyliśmy dla uproszczenia tylko dwóch. Bazując na dipolowych połączeniach sąsiad-sąsiad wykazaliśmy rozprzestrzenianie się sygnałów informacji nazwanych szybowcami (gliders), podążających po kracie w przybliżeniu z tą samą prędkością co potencjały działaniowe, 100m/s. Wyobraziliśmy sobie, że ten głębszy poziom przewodzenia

mógłby być przyczyną powstawania świadomości. W tamtym okresie myślałem jednak ściśle klasycznie, tzn. nie poszukiwałem procesów lub efektów kwantowych.

LG: Czy wtedy związałeś się z Rogerem Penrosem? Jak to się stało?

SH: Moi krytycy zwykli mówić odnośnie do świadomości: OK, mikrotubule przewodzą informacje. I co z tego? W jaki sposób wyjaśnia to cokolwiek, coś więcej poza poziomem neuronalnym przewodzenia informacji?

Zasugerowaliśmy, że mikrotubule są konieczne zarówno do uczenia się za pomocą modulacji synaptycznej, jak i Ętwestecznego przenoszenia' błędu. Podkreśliliśmy również, że na 10<sup>7</sup> tubulin na neuron włączonych na nanosekundę, przewodzenie informacji bazujące na mikrotubulach dostarcza około 10<sup>16</sup> operacji na sekundę na neuron.

Muszę jednak dodać, iż w odniesieniu do świadomości, krytycy mieli rację. Coś zostało pominięte. Stałem się prawie ultraredukcjonistą.

W 1991 roku przeczytałem książkę Penrosa „Nowy umysł cesarza”, w której wypowiada się on, ze względu na wspomniany wcześniej problem nieobliczalności, przeciw idei, iż świadomość jest własnością emergentną złożoności obliczeniowej w mózgu. Poczułem, że był on na właściwym tropie przypuszczając, iż świadomość jest czymś więcej, w stosunku do tego, co w stanie jest przedstawić wyjaśnienie funkcjonalne. Wtedy też pomyślałem, że miał on słuszną ideę, której brak wypełnienia odpowiednią biologią.

Penrose zastanawiał się, czy może zaistnieć superpozycja kwantowa neuronów naładowanych lub rozładowanych. Myślał, że neuron mógłby się równać kwantowemu komputerowi w mózgu.

Bit y w klasycznym komputerze znajdują się zawsze w stanie włączony lub wyłączony, zero lub jeden. Komputery kwantowe operują qubitami, które mogą znajdować się w superpozycji równocześnie zarówno zero, jak i jeden. Przez prawie sto lat wiedziano, iż cząsteczki mogą istnieć w dwóch miejscach lub stanach jednocześnie. W latach osiemdziesiątych ludzie tacy jak Feynman, Benioff, Deutsch, Josza,

Eckert i inni zaczęli mówić o wykorzystaniu kwantowej superpozycji w obliczaniu. Na przykład, gdybyśmy posiadali ciąg qubitów w superpozycji mogłyby się one komunikować za pomocą kwantowego splątania (entanglement) i koherencji dostarczając formę obliczania, realizującą prawie nieskończony paralelizm, a więc bardzo, bardzo szybko.

Niejasne było dotychczas i w pewnym stopniu nadal takim pozostaje, czy komputery kwantowe mogą być aktualnie budowane. Istnieje kilka przeszkód. Jedną z nich jest konieczność odizolowania stanów kwantowych od otoczenia. Sądzono, iż najmniejszy przeciek mógłby spowodować przerwanie łączności i zniszczyć obliczanie. Jednakże wiele grup badawczych poradziło sobie z tzw. kodami korekcyjnymi błędów kwantowego, które są zasadniczo programami działającymi w komputerze kwantowym, wykrywającymi pojawiające się przerwy w łączności i chroniącymi je, w taki sposób, że obliczanie kwantowe zostaje zachowane. Zatem ten problem został przezwyciężony.

W 1994 roku matematyk, Peter Shor z Laboratorium Bella opublikował dowód matematyczny, iż komputery kwantowe mogłyby być niezmiernie sprawne w znajdowaniu wielkich liczb pierwszych. To jest podstawa dla niemalże całej światowej kryptografii, kodów bankowych itd. Zatem rządy i przemysł zaczęły przeznaczać wielkie sumy na obliczenia kwantowe. Prototypy zostały zbudowane, ale ciągle oczekujemy na komputery kwantowe, które by naprawdę działały. Gdyby mogły być zbudowane i były lepsze od komputerów konwencjonalnych, przynajmniej w jakimś wymiarze, prawdopodobnie w nieunikniony sposób mózg/umysł zostałyby porównane do komputera kwantowego. Historycznie rzecz ujmując, zawsze postrzegaliśmy mózg/umysł jako bieżąco najbardziej zaawansowaną formę przetwarzania informacji. Odnosi się to do greckiego „odbicia sygnetu w wosku” aż po komputer krzemowy.

Porównanie to może być usprawiedliwione, nawet jeżeli komputery kwantowe nie będą produkowane w skali komercyjnej. Mniej teo-

retyczną możliwością jest rewolucja w fizyce. Natura i ewolucja mogły rozwiązać problemy, z którymi nie radzi sobie technologia.

Wróćmy w każdym razie do wczesnych lat 90-tych i mojej współpracy z Rogerem. Po lekturze „Nowego umysłu cesarza” miałem przeczucie, że mikrotubule mogą być miejscem dla kwantowo-grawitacyjnych procesów Rogera, które sprowadził on do nie-obliczalności, co nazwał „obiektywną redukcją” lub OR. Mikrotubule mogą być aktualnie kwantowymi komputerami w mózgu. Myślę, że Roger miał mechanizm, ale ja posiadałem strukturę w mikrotubulach. Napisałem do niego i przesłałem mu kilka moich artykułów na temat przewodzenia informacji w mikrotubulach. W każdym razie, kiedy w końcu byłem w Anglii, zasugerowałem spotkanie i on wspaniałomyślnie zaprosił mnie do Oksfordu. Spędziłem kilka godzin, mówiąc mu o mikrotubulach i naszych symulacjach automatów, był bardzo zainteresowany. Szczególnie zwrócił uwagę na fakt, że spiralne otoczki w kracie mikrotubulnej powtarzały się w interwałach, które określają ciągi Fibonacciego.

Wkrótce po tym, jak rozpoczęliśmy współpracę i zestawiliśmy razem nasze pomysły otrzymaliśmy nasz model Orch OR.

LG: Mógłbyś zarysować jego zasadniczą ideę?

SH: Podstawowym założeniem pozostaje, iż będące elementem mechaniki kwantowej siły londyńskie, kontrolujące rozmieszczenie białek, mogą pobudzić całe białko tubulinowe do superpozycji wiodących do innych stanów rozmieszczenia. Idea jest taka, że połączone elektrony w kieszonce hydrofobicznej, które kontrolują białko, znajdują się w superpozycji kwantowej, zatem wydaje się zasadne utrzymywać, że białko mogłoby znajdować się w superpozycji dwóch lub więcej ustawień równocześnie.

A właśnie gdybyśmy posiadali kratowy szkielet białek w superpozycji, mielibyśmy zasadniczo komputer kwantowy. Gdyby wystarczająca ilość tubulin w odpowiedniej liczbie mikrotubuli znalazła się w superpozycji, osiągnięty zostałby próg dla obiektywnej redukcji Rogera — samorganizujący się kolaps kwantowej funkcji falowej.

LG: Dlaczego mikrotubule w superpozycji zamiast neuronów w superpozycji?

SH: Kilka przyczyn. Po pierwsze, należy unikać dekoherencji otoczeniowej — superpozycja kwantowa musi pozostać izolowana. Wydaje się bardziej prawdopodobne, że izolacja mogłaby pojawić się wewnątrz komórki w cytoplazmie, gdzie np. żelowanie wokół mikrotubuli może je chronić. Dodatkowo mikrotubule są o wiele mniejsze od neuronów i strukturalnie spójne jak kryształ.

Skala rozmiaru jest istotna, gdyż przyjmuje się, że mała cząsteczka taka, jaką jest elektron, może znajdować się w dwóch miejscach jednocześnie. Im coś staje się większe, tym trudniej w laboratorium sprawić, by znalazło się w dwóch miejscach na raz. Ale jak duże jest zbyt duże? To oczywiście jest problem kota Schrödingera: czy zdechły i żywy kot może znajdować się w superpozycji? To trudne do wyobrażenia.

LG: Czy jednak trudność związana z uzyskaniem superpozycji struktur makroskopowych ukazuje jakieś ograniczenie naszych zdolności technologicznych i możliwości naszej wyobraźni, czy też może istnieje jakaś naukowa racja, że jest to niewykonalne?

SH: To jest pytanie za setki milionów dolarów. Nikt nie wie. Kазus kota Schrödingera akcentuje jawną absurdalność podobnej możliwości, nie dostarcza jednak definitywnej odpowiedzi. Nic w tym pokoju nie wydaje się być rozmyte w przestrzeni i czasie. Ten stół wygląda zupełnie solidnie. Chociaż jesteśmy tego pewni, na poziomie kwantowym jest on rozmyty. Co stanowi granicę między mikro i makro? Co jest krawędzią między światem kwantowym i światem klasycznym? Podjęto szereg prób zmierzających do wykrycia pewnego obiektywnego wewnętrznego czynnika, który mógłby powodować kolaps funkcji falowej i zapobiegać by obiekty kwantowe nie były zbyt duże. Na przykład idea GWR — nazwana tak od nazwisk jej twórców Ghirardi, Rimini i Weber — stwierdza, iż jest to pewna liczba cząsteczek, mianowicie, że potrzeba 10<sup>17</sup> cząsteczek w superpozycji. Jednakże na poziomie eksperymentalnym to nie działa.

Penrose obrał inne podejście dzięki subtelnemu połączeniu teorii kwantowej z ogólną teorią względności. Uważa on, iż masa

jest równoważna zakrzywieniu w czasoprzestrzeni. Wystarczy pomyśleć o uproszczonej czasoprzestrzeni jako dwu-wymiarowej kartce. Wszystkie trzy wymiary przestrzenne są skompresowane na osi X a czas znajduje się na osi Y. Masa w jednym położeniu jest zakrzywieniem tej kartki w jednym kierunku, a masę w innym położeniu stanowi zakrzywienie w innym kierunku. Istotą jest to, iż masa, położenie lub stan korespondują z określoną krzywizną w fundamentalnej geometrii czasoprzestrzennej charakteryzującej wszechświat w bardzo małej skali. Tak więc jakaś masa w superpozycji oznacza jednocześnie krzywiznę w dwóch lub więcej kierunkach, co jest równoznaczne z bąblem, wyrzuceniem lub oddzieleniem w czasoprzestrzennej geometrii. Zgodnie ze sławną teorią wielu światów, gdy ma to miejsce, może powstać cały nowy wszechświat — czaso-przestrzenne kartki oddzielają się i rozwijają indywidualnie. Penrose zgadza się z tą wizją, aż do tego momentu. Jest on jednak przekonany, że bąbel jest niestabilny, a więc kolapsuje w jeden lub inny świat po danym czasie pozostającym w pewnej relacji do skali oddzielenia lub rozmiaru czasoprzestrzennego bąbla. Nie zachodzi zatem konieczność przyjmowania wielu światów, lecz tylko niewielkich obszarów, w których nasz wszechświat jest postrzępiony.

Używając zasady nieokreśloności, Roger stwierdził, że wielkie oddzielenie będzie kolapsowało szybko, a małe wolno. A więc mała cząsteczka, jak atom, może pozostawać w superpozycji przez bardzo długi czas, powiedzmy 10 milionów lat. Ale duży byt, taki jak kilogramowy kot, może pozostawać w superpozycji tylko przez  $10^{-37}$  s, zatem nie dostrzegamy zbyt często kotów w superpozycji!

Wiemy, że procesy mózgowie trwają od dziesiątek do setek milisekund. Na przykład w oscylacjach 40 HZ ich trwanie czyli interwał wynosi 25 milisekund. Rytm alfa w EEG wynosi 100 milisekund. Dla 40 HZ potrzebne jest obliczanie kwantowe kończące się obiektywną redukcją co każde około 25 milisekund. Dla tej skali czasowej potrzebne są nanogramy masy w superpozycji.

Zwraca to uwagę na fakt, że w przypadku mikrotubuli potrzeba 120 miliardów tubulin w superpozycji czyli ich liczby w 20 tysiącach

neuronów, co jest zasadną liczbą neuronów dla zdarzeń umysłowych. Myślimy zatem, iż to co dzieje się, by wyprodukować świadome zdarzenie ma następujący przebieg. W tubulinach ma miejsce obliczanie kwantowe, które prowadzi do kolapsu według obiektywnej redukcji Rogera. Każdy kolaps typu OR stanowi podstawę powstania nowego wzoru konfiguracji tubulinowych, które z kolei determinują sposób kontroli funkcji komórkowych na synapsach przez tubuliny itd. Ale każdy kolaps OR stanowi także przeorganizowanie fundamentalnej geometrii czasoprzestrzennej i umożliwia uzyskanie dostępu lub zaktywizowanie jakości osadzonych na tym poziomie. Nazwaliśmy nasz model skomponowaną redukcją obiektywną — Orch OR — (orchestrated objective reduction) ponieważ istnieje tam sprzężenie zwrotne pomiędzy biologią i "harmonią" lub „kompozycją” oscylacji kwantowych. Jest to trudno osiągalne, gdyż niezależnie czy w czasie obliczania kwantowego pojawia się sprzężenie zwrotne, czy wyjście — izolacja musi zostać zachowana.

Myślimy zatem, iż tym co się wówczas dzieje, są alternatywne fazy izolacji i komunikacji — zdeterminowane przez stany żelowania wewnątrz cytoplazmy otaczającej mikrotubule — pojawiające się co ok. 25 milisekund. Następstwo tych „świadomych zdarzeń” prowadzi do powstania naszego strumienia świadomości. Odbieramy to jako ciągłość podobnie, jak film wydaje się ciągłym, choć pozostaje serią osobnych klatek. Ten obraz harmonizuje równie dobrze z podejściami filozoficznymi typu Whiteheadowskiego „zaistnienia doświadczenia”, jak i z neurofizjologią.

LG: Dlaczego dodatkowym efektem przetwarzania informacji za pomocą mikrotubuli wewnątrz komórki jest świadomość? Skoro komórki wątroby zawierają mikrotubule, dlaczego zatem moja wątroba nie jest świadoma?

SH: Lub mój pośladek, jak ktoś kiedyś mnie zapytał? Konieczna jest krytyczna liczba tubulin znajdujących się w izolowanej superpozycji wystarczająco długo, by osiągnąć próg w użytecznej ramce czasowej. Tylko w neuronach znajdują się mikrotubule w wielkich ciągach równoległych i tylko w mózgu jest wystarczająco dużo neu-

ronów połączonych za pomocą połączeń szczelinowych. Tym, co jest konieczne, by znaleźć się w kwantowym splątaniu, są mikrotubule w 20000 neuronów, także odizolowane od otoczenia. Sądzimy, że izolacja jest efektem cytoplazmatycznym, gdyż np. żelowanie i jakiś zwykły stan kwantowy mogą powstać tylko w ciągłych regionach cytoplazmy, zdecydowanie różnych od membran poprzecznych i synaps chemicznych.

Połączenia szczelinowe są oknami lub świetlikami między komórkami w ciągłej cytoplazmie. Oddzielają one swoje komórki tylko o 4 nanometry, zakres tunelowania kwantowego. Tak więc neurony połączone wzajemnie za pomocą połączeń szczelinowych tworzą faktycznie, jak określił to Eric Kandel, „jeden ogromny, złożony neuron”. Pomyśl o 20000 neuronach tworzących jedną złożoną topologię. Tak więc tylko w mózgu jesteśmy w stanie posiadać, powiedzmy, miliardy tubulin w splątanej superpozycji.

LG: Mówiłeś o mikrotubulach w opozycji do jednego poziomu wwyż — neuronów. A dlaczego nie w opozycji do jednego poziomu w dół? Dlaczego efekty kwantowe na poziomie elektronu nie mogą zatrzeć się o problem nieobliczalności Penrose’a?

SH: Superpozycja elektronów w przestrzeniach hydrofobicznych rozpoczyna proces, potrzebujemy jednak całego białka w superpozycji. Elektrony nie posiadają wystarczającej masy. Elektron w stanie superpozycji nie spowoduje większego wklęśnięcia lub bańki w czasoprzestrzeni. Zatem czas zanim osiągnięty zostałby próg OR przez elektrony, trwałby wieki. Jeśli jednak połączyć ustawienia białkowe z elektronami w przestrzeniach hydrofobicznych, wtedy masa wzrasta znacząco i próg może być osiągnięty w okresach racjonalnych.

Potrzeba też czegoś wystarczająco dużego dla wywarcia skuteczności przyczynowej. Stany elektronów kontrolują tubuliny, tubuliny kontrolują mikrotubule, a mikrotubule komórki. Mikrotubule pozostają dźwigniami kwantowymi.

LG: Dlaczego musi się tutaj w ogóle dziać coś kwantowego?

SH: Proces kwantowy OR jest tym, co styka się z fundamentalną czasoprzestrzenią. To tutaj istnieją qualia. Mechanizmy kwantowe są



także ważne dla innych zagadnień omawianych wcześniej. W odniesieniu np. do problemu wiązania zwolennicy emergencji, by go wyjaśnić, mówią, iż istnieje jakaś korelacja czasowa. Istnieje jednak wiele rzeczy, które są synchroniczne i spójne, a nie są świadome. Trzeba wiedzieć, iż qualia występują zanim mechanizm wiązania nabiera jakiegoś sensu. Ale w splątaniu kwantowym zaburzenie jednej składowej ma wpływ na inne, nie lokalnie! Stany kwantowe posiadają jedność lub jedyność, która nadaje się do wyjaśnienia problemu wiązania.

Co do przejścia z przedświadomych do świadomych procesów, emergencja nie jest w stanie przepowiedzieć żadnego prognozy. Ale obiektywna redukcja Rogera, jak widzieliśmy, dostarcza specyficznych przepowiedni dla jakiegoś „świadomego prognozy”. Odnosi się to również do problemu subiektywnego odczuwania przepływu czasu; ponieważ kolaps jest nieodwracalny, czas musi płynąć naprzód. Jednakże obszar, w którym wyjaśnienia kwantowe znacznie przewyższają wyjaśnienia emergencyjne, związany jest z pewnym trudnym problemem. Jedynym sposobem jego ominięcia jest stwierdzenie, że protoświadome qualia stanowią fundamentalną cechę wszechświata, umiejscowioną w skali Plancka. Są one jak paleta dla malarza, gdzie malarzem jest nasz mózg, selekcjonujący qualia z palety, aby stworzyć złożoną scenę, której doświadczamy jako świadomości.

LG: Ale czyż panprotopsychizm nie jest zgodny z emergencją? Nie dałoby się ich wzajemnie połączyć?

SH: Zasadniczo czyni to Orch OR. Każde świadome zdarzenie — Orch OR jest wynurzającym się procesem nieliniowym. Jest to proces kwantowo-grawitacyjny i to wysoce nieliniowy.

Jednak nawet wśród rzeczników kwantowości, panprotopsychizm nie jest szeroko akceptowany. Roger i ja trafiliśmy na niego, jako na naturalny sposób dla naszego modelu w odniesieniu do zasadniczego problemu. Proces, który zaproponowaliśmy przebiega na tym samym poziomie, na którym występują protoświadome qualia — w skali Plancka. To jest tak jak z chłopcem, którego ktoś pyta: „Dlaczego okradasz banki?”, a on odpowiada: „To miejsce gdzie są pieniądze”. Jeżeli chodzi o dowód, jesteśmy wciąż z dala od osiągnięcia skali Plancka.

Tak więc panprotopsychiczny bit będzie trudny do udowodnienia. Istnieje jednak wiele eksperymentów możliwych do wykonania na poziomie mikrotubuli i pozostających w związku z OR Rogera. Wiele grup prowadzi obecnie badania tego typu.

LG: Czy możliwa jest superpozycja emergencji i kwantowości?

SH: Obiektywna redukcja Rogera jest procesem emergencyjnym, gdyż efekt pojawia się tylko kiedy osiągnięta zostaje krytyczna liczba tubulin, a będąca tego konsekwencją faza posiada wyraźnie różne właściwości. Tak, że jeżeli chcesz progu lub jakiegoś efektu nieliniowego, to jest to. To jest cudowne.

LG: Czy Orch OR przewiduje próg dla świadomości w ewolucji. Czy twój pantofelek jest świadomy?

SH: Ciekawe pytanie. Gdzie przeprowadzić linię pomiędzy świadomymi i nieświadomymi organizmami? Obecnie jesteśmy w stanie powiedzieć coś na ten temat. Ponieważ wielkość masy w superpozycji wymaganej do osiągnięcia progu OR jest odwrotnie proporcjonalna do czasu, w którym próg zostaje osiągnięty, mniejsze, prostsze organizmy potrzebowałyby dłuższych okresów do dekoherencji. Na przykład tubuliny w 20000 neuronach, gdyby znalazły się w izolowanej superpozycji, osiągnęłyby próg OR w 25 milisekund. Pojedyncza komórka pantofelka posiada około  $10^7$  tubulin i musiałaby utrzymywać izolację przez 50 s – prawie minutę, co wydaje się nieprawdopodobne. Byłem jednak zdziwiony odkryciem, że pantofelki pozostają nieruchome tylko w trakcie kopulacji. Ich pary łączą się i mieszają cytoplazmę, stając się w pewnym sensie jedną komórką. W ten sposób otrzymujemy unieruchomionych  $2 \times 10^7$  tubulin. Być może qualia seksualne stanowią wstępną formę doświadczenia świadomości.

Wcześniej pojawiały się sugestie, gdzie w ewolucji wyłoniła się po raz pierwszy świadomość. Wachlarz opinii układa się od ujęcia świadomości jako części wszystkich żyjących systemów, przez te z neokortexem, kończąc na tych, które osiągnęły zdolność posługiwania się językiem i produkcji narzędzi.

Weźmy w przybliżeniu dla Orch OR 100 milisekund, jako rozsądny maksymalny czas dla systemu biologicznego, by zachować izo-

lację kwantową i uniknąć dekoherencji na skutek np. efektów żelowania. To stanowi ekwiwalent ok.  $3 \times 10^{10}$  tubulin lub 300 neuronów. Gdzie to się zdarzyło w trakcie ewolucji?

Życie rozwijało się na ziemi bardzo powoli przez 3 miliardy lat, a następnie począwszy od około 540 milionów lat temu, w relatywnie krótkim czasie 10 milionów lat, znanym jako „eksplozja kambryjska”, pojawiły się wszystkie współczesne gromady zwierząt i ewolucja przyspieszyła. Istnieje kilka wyjaśnień odnośnie przyczyny eksplozji kambryjskiej; żadna z nich nie jest całkiem satysfakcjonująca. Być może świadomość spowodowała eksplozję kambryjską? W skład organizmów na początku Kambru wchodziły drobne robaki i jeżowce. Kilka z obecnie żyjących organizmów jest zupełnie podobnych do rejestru skamienieli i obejmuje robaki obłe, takie jak dobrze przebadany *C. elegans*, który posiada 307 neuronów. Mały jeżowiec *Echinospharum*, mocno przypominający jeżowce kambryjskie, posiada dokładnie  $3 \times 10^9$  tubulin w równoległych spiralnych szeregach w swoich aksonemach. Tak więc być może pewnego dnia, 540 milionów lat temu, jedno z tych stworzeń przeżyło świadomy moment. „Co to znaczy być robakiem?”. Z pewnością niczym zbliżonym do naszego złożonego doświadczenia, być może tylko jakąś plamką lub migotaniem czucia.

To implikuje jednak, że nawet prymitywna świadomość mogła stanowić przewagę dla przetrwania i mutacji, ponad i poza nieświadomą zdolnością umysłową. Myślę, że tak mogło być. Po pierwsze, jeżeli Roger ma rację odnośnie nieobliczalności i jeśli dwa organizmy znalazłyby się w relacji drapieżca — zdobycz, to tylko jeden, ten działający w sposób nieobliczeniowy — nieprzewidywalnie, z pewnością wygrałby. Jeżeli qualia pożywienia są przyjemne, a qualia bycia spożywanym nieprzyjemne, organizmy winny dążyć do znajdowania pożywienia i unikania drapieżników. W końcu, jeżeli qualia seksualne są przyjemne, organizmy winny być w większym stopniu ukierunkowane na reprodukcję. Być może qualia seksualne były pierwszym świadomym doświadczeniem. To brzmi trochę zmysłowo, ale nie znam żadnych lepszych wyjaśnień.

LG: W Centrum Leo Apostel badamy ideę, że superpozycja odgrywa rolę w poznaniu i świadomości, ale dokonuje się to raczej w przestrzeni koncepcyjnej niż fizycznej. Na przykład, można znajdować się w stanie superpozycji rozważając pytanie: „Czy jesteś szczęśliwy?”. Może się zdarzyć, że nie jesteś w jakiś szczególny sposób szczęśliwy lub nieszczęśliwy, tak więc ton głosu w jakim postawiłam to pytanie determinuje twoją odpowiedź. Innymi słowy, same zaburzenia z poziomu poznawczego powodują kolaps. Każda chwila doświadczenia dostarcza sposobności do kolapsu tego typu. Tak więc to zainspirowane kwantowo podejście do traktowania kontekstualności poznawczej jest w całości inną drogą do tej samej konkluzji, że coś kwantowego dzieje się w mózgu. Myślisz, że są one wzajemnie kompatybilne lub komplementarne?

SH: Absolutnie. Sądzę, że to podejście jest w znacznej mierze sensowne. Dodatkowo dzięki podejściu kwantowemu uzyskuje się zdolność radzenia sobie z wejściem nieobliczeniowym. Nawet jeżeli przyczyna tego kolapsu wydaje się być przypadkowa, powinny istnieć pewne idealne struktury w geometrii czasoprzestrzeni, które mają wpływ i tylko podejścia kwantowe są w stanie to badać.

LG: Ostatnio uczestniczyłam w bardzo udanej konferencji na temat obliczania kwantowego i świadomości, której byłeś gospodarzem na Uniwersytecie Północnej Arizony w Flagstaff. Czy mógłbyś nam trochę opowiedzieć o niej.

SH: Oczywiście. Około rok temu założyliśmy e-mailową grupę dyskusyjną nazwaną Umysł Kwantowy. Zainicjowała ona wiele interesujących dyskusji, postanowiliśmy więc zwołać konferencję.

Była ona sponsorowana przez nasze Centrum do Badań Świadomości i Starlab, a odbyła się na Uniwersytecie Północnej Arizony w Flagstaff, ponieważ jest tam miło i chłodno w lecie. Była tam mieszanka ludzi, którzy wyróżnili się w tej dziedzinie w ciągu kilku ostatnich lat, a także grupa młodych, w sumie około setki osób. Zaprezentowano szereg interesujących idei, poczyniono krytyczne oceny i myślę, że powtórzymy to znowu. Nagraliśmy to i umieściliśmy razem

na konferencyjnym CD ROM-ie. Prowadzimy również kurs na temat kwantowych podejść do umysłu na stronach internetowych.

Myślę, że cała ta dziedzina jest prawie gotowa do zaistnienia. Jest tak częściowo dlatego, że kwantowe obliczanie istnieje w coraz większym stopniu w świadomości społecznej i ponieważ krytyczne oceny emergencyjnych podejść będą objawiać ich niekompletność.

LG: W tej chwili świadomość wydaje się być gorącym tematem.

SH: Tak, wychodzi ponownie na czołówkę. Było to zasadnicze zagadnienie w nauce w czasach Williama Jamesa 100 lat temu, ale wraz z ruchem behawiorystów zostało zepchnięto w tło. Ich ideą było, iż nie można w rzeczywistości mówić o czymś, czego nie można obserwować. Ale w latach 70-tych filozofowie zaczęli interesować się, w jaki sposób działanie mózgu stanowi podstawę dla doświadczenia świadomości, a temat został spopularyzowany w latach 80-tych przez takich ludzi jak Crick, Edelman, Eccles i oczywiście Penrose. Pytanie nie znikło.

Ostatnie zainteresowanie zostało podsycone w większości przez postępy w neuronauce i obrazowaniu mózgowym. Te nowe techniki umożliwiły poszukiwanie neuralnych korelatów świadomości, wnikanie w to, co może dziać się na poziomie biochemicznym. Także, ostatni rozwój w naukach kognitywnych rozwikłał pewne tajemnice odnośnie do tego, co dzieje się w umyśle. Wszystko to przybliżyło nas ogromnie do wyjaśnienia, co stanowi rację powstania świadomego doświadczenia. Istnieje jednak ciągle wielka biała plama. Myślę, że jesteśmy daleko od rzeczywistego jej zrozumienia. Nawet jeżeli Orch OR okaże się prawdziwa, rodzi więcej pytań, niż dostarcza odpowiedzi. Ale to jest znak dobrej teorii.

LG: Tak więc myślisz, że to postępy technologiczne roznieciły ostatni entuzjazm dla zagadnienia lub dla idei spodziewanych praktycznych zastosowań tego typu wiedzy, w opozycji do, powiedzmy, nowych podejść?

SH: One współdziałają. Kiedy zaczynasz myśleć o tym w terminach teoretycznych, zaczynasz myśleć o nowych zastosowaniach, i od-

wrotnie. Jeżeli naprawdę zrozumiemy świadomość otworzy to chmurę możliwych zastosowań.

LG: Zgaduję, że to dlatego jesteśmy tutaj w Starlab, komercyjnej fundacji, która płaci ci za pracę nad świadomością.

No cóż, dziękuję bardzo Stuart!

SH: To była przyjemność, Liane. Dziękuję.

Przekład: *Bogusław Wójcik*