

Tajemnica równego podziału

Mniej więcej co godzinę pałeczka *E. coli* dzieli się na dwie niemal identyczne części. Skąd „wie”, gdzie jest jej środek, pozostawało tajemnicą. W sylwestra ukazał się jednak artykuł, który przedstawia ilościowy model obserwowanego zjawiska. Gdzie można znaleźć te najnowsze doniesienia ze świata bakterii? Oczywiście w PRLu (*Physical Review Letters*) – najbardziej prestiżowym periodyku fizycznym [1].

W odróżnieniu od komórek eukariotycznych bakterie nie mają dużych organelli w cytoplazmie i nie są znane żadne mechanizmy aktywnego transportu (typu motorów molekularnych). A jednak badania przeprowadzone w ostatnich latach pokazały, że w cytoplazmie zachodzą regularne oscylacje czasowej i przestrzennej koncentracji trzech protein: MinC, MinD i MinE. Cząsteczki te przemieszczają się z jednego na drugi koniec bakterii oraz są wymieniane między błoną komórkową a cytoplazmą. To one właśnie wyznaczają miejsce podziału komórkowego. Najprościej mówiąc, nie może się on dokonać tam, gdzie utrzymuje się duża koncentracja proteiny MinC. Do niedawna obserwowane małe jej stężenie w miejscu przyszłego podziału tłumaczone było niezidentyfikowanym „czynnikiem topologicznym”, który miałby przeciwdziałać naturalnej dyfuzji powodującej wyrównywanie przestrzennego rozkładu każdej z protein w komórce.

Autorzy artykułu [1] proponują odmienne rozwiązanie. W ich podejściu oscylacje koncentracji, powodujące (w średniej) obniżenie stężenia MinC w „tali” pałeczki *E. coli*, tłumaczone są za pomocą modelu opartego na sprzężonych równaniach dyfuzji i oddziaływania (wiązań) protein ze ścianą komórkową. Efekt ten jest bardzo podobny do modelu Turinga, który często uważany jest za mechanizm powstawania złożonych wzorów w naturze, takich jak np. tygrysie paski.

Jednak rezonans stochastyczny

Tytułowy rezonans został 20 lat temu zaproponowany jako wyjaśnienie stutysiącletniej okresowości cykli glacialnych. Choć oryginalne zastosowanie nie uzyskało pozytywnej weryfikacji doświadczalnej, to sam pomysł został użyty w fizyce, chemii i biomedycynie. Idea ta jest na pierwszy rzut oka zadziwiająca. Przewiduje ona mianowicie możliwość wzmocnienia sygnału przez szum. Z rezonansem stochastycznym w czystej postaci mamy do czynienia wtedy, gdy wzmocnienie jest maksymalne dla pewnego poziomu szumu, ale każde wzmocnienie sygnału przez szum określane jest tym terminem. Po chwili zastanowienia zjawisko to przestaje nas zaskakiwać. Jeżeli przejście sygnału jest zjawiskiem progowym (przeważnie jest), a sygnał ma amplitudę podprogową, to nałożenie szumu na sygnał może pozwolić na przekroczenie progu. Jednak zbyt silny szum zagłuszyłyby sygnał.

Ostatnio ukazały się artykuły, w których autorzy przekonują, że rezonans stochastyczny miał jednak wpływ na klimat glacialny. W pierwszym z nich [2] przedstawiona

jest statystyczna analiza pośredniego pomiaru temperatury w ciągu ostatnich stu tysięcy lat, dokonanego za pomocą oznaczenia koncentracji tlenu ^{18}O w pokrywie lodowej Grenlandii. Otrzymany przebieg temperatury zgadza się z mechanizmem rezonansu stochastycznego, nie dając się jednocześnie wytłumaczyć samym szumem. W drugim artykule [3] zastosowany został model numeryczny, który dobrze tłumaczy mechanizm działania tego rezonansu.

Analizowana sekwencja temperatury obejmuje ostatnie zlodowacenie, a dokładniej tzw. przypadki Dansgaard-Oeschgera (DO). Jest to seria gwałtownych ociepleń, o około 10 stopni w ciągu dekady, utrzymujących się przez kilka stuleci. Przypadki DO pojawiały się najczęściej co około 1500 lat, rzadziej co 3000 i jeszcze rzadziej co 4500 lat. Powtarzający się okres 1500 lat sugeruje, że u podstaw leży jakiś mechanizm o tym właśnie okresie, którego wpływ może być wzmacniany przez szum. Wymuszający rytm nie został ostatecznie zidentyfikowany, ale powszechnie przyjmuje się, że jest on jakos związany ze zmiennością samego Słońca bądź układu Ziemia-Słońce. W modelu [3] wzmacniającym szumem jest zmienność bilansu słodkiej wody trafiającej do oceanu. Najistotniejsza jest jednak identyfikacja mechanizmu progowego. Autorzy sugerują, że glacialny Atlantyk miał dwa stany cyrkulacji, jeden stabilny, w którym ciepły prąd zatokowy docierał zaledwie na szerokość geograficzną Irlandii, i jeden metastabilny (trwający około kilkuset lat od wzbudzenia do samoczynnego końca), w którym ciepłe wody docierały poza Islandię, ocieplając Morze Arktyczne o około 8 stopni. Właśnie wzbudzeniom ciepłego modu metastabilnego miałyby odpowiadać przypadki DO, a same wzbudzenia miałyby być powodowane przez rezonans stochastyczny wzmacniający słaby, okresowy czynnik wymuszający.

Rozkład 15 na czynniki pierwsze

został dokonany za pomocą komputera kwantowego realizującego algorytm Shora. To najbardziej, jak dotąd, zaawansowane obliczenie kwantowe może nie wydawać się tak imponujące (możemy zdradzić, że już wcześniej znaleźliśmy rozkład liczby 15 na czynniki pierwsze: $15 = 3 \cdot 5$), a jednak przyjęte zostało jako kolejne potwierdzenie możliwości praktycznej realizacji „prawdziwych” obliczeń kwantowych w skończonej przyszłości. Naukowcy IBM użyli w doświadczeniu aż siedmioqubitowego „procesora”, którym była specjalnie przygotowana cząsteczka (kwadrylion cząsteczek). Qubitami były w niej spiny pięciu jąder fluoru i dwóch jąder węgla. Sterowanie odbywało się za pomocą fal radiowych, a odczytu dokonano metodą rezonansu jądrowego.

Piotr ZALEWSKI

[1] *Dynamic Compartmentalization of Bacteria: Accurate Division in E. Coli*; M. Howard, A.D. Rutenberg i S. de Vet; *Phys. Rev. Lett.* **87**(2001)278102

[2] R.B. Alley, S. Anandakrishnan i P. Jung; *Paleoceanography* **16**(2001)190

[3] *Abrupt Glacial Climate Changes due to Stochastic Resonance*; A. Ganpolski i S. Rahmstorf; *Phys. Rev. Lett.* **88**(2002)038501