

liczbie miejsc. Uda mu się znaleźć takiego reprezentanta, bo ciąg, który widzi (z dokładnością do skończenia wielu elementów, których nie widzi) należy do którejś klasy, czyli różni się od jej reprezentanta na skończenie wielu indeksach. Następnie student udziela takiej odpowiedzi, jaka przypadła mu w znalezionym reprezentancie.

O powodzeniu strategii decyduje to, że wszyscy studenci, niezależnie od swojego numeru w dzienniku, znajdą tego samego reprezentanta! To dlatego, że każdy widzi ten sam „ogon” prawdziwego ciągu – a inni reprezentanci są w innych klasach, czyli różnią się od tego ciągu w nieskończenie wielu miejscach. Widać teraz, że odpowiedzi studentów odtworzą owego reprezentanta, znajdowanego przez każdego z nich. A skoro cały ciąg jest w klasie równoważności wybranego przez wszystkich reprezentanta, to **tylko skończenie wielu studentów się pomyli** (na tych miejscach, na których te ciągi się różnią). Reszta zgadnie poprawnie. I voilà – warunek wykładowcy zostaje spełniony, studenci zaliczają!



Mała, a całkiem ważna

Podwójna helisa DNA. Częsteczką – celebrytką, elegantką. Pojawia się jako ikona odkryć naukowych, w tym „tajemnicy życia”. Tymczasem okazuje się, że aby odkryć tę tajemnicę, należy spojrzeć na jej ubogą krewną, częsteczkę RNA.

Zanim pójdę dalej, pozwólmy sobie na krótkie porównanie tych dwóch związków. RNA i DNA to biopolimery, długie cząsteczki zbudowane z mniejszych jednostek zwanych nukleotydami. Każdy nukleotyd zawiera cukier, grupę fosforanową i zasadę azotową. Są nośnikami informacji zakodowanej w sekwencji następujących po sobie 4 typów nukleotydów.

Słynna helisa to forma, którą przyjmuje DNA, kwas deoksyrybonukleinowy. Częsteczka DNA jest dwuniciowa, nici pasują do siebie, bowiem między nukleotydami jednej i drugiej tworzą się w poprzek wiązania wodorowe. Stąd częste porównanie helisy do skręconej drabiny. W cząsteczkach DNA, w jądrze, zapisane są informacje niezbędne do działania komórki. DNA w sposób precyzyjny jest powielany przed podziałem komórkowym, przez co jego kopie trafiają do komórek potomnych. Częsteczki RNA, kwasu rybonukleinowego, są krótkie i istnieje ich wiele typów. Działają w służbie odczytywania informacji zapisanej w DNA – biorą udział w syntezie białek i służą regulacji, które geny (i jak intensywnie) są odczytywane.

I tu tkwi fenomen cząsteczek RNA. Są krótsze i potrafią związać się same ze sobą w dwuniciowe i jednoniciowe domeny, które, oddziałując między sobą, tworzą struktury trójwymiarowe. Każda cząsteczka RNA (a są to dziesiątki tysięcy unikalnych sekwencji w komórkach ssaków) przybiera swój, charakterystyczny kształt. Przy nich długie cząsteczki DNA są po prostu, z całym szacunkiem, nudne.

Fenomen RNA uznał już w latach 60. XX wieku sam Francis Crick, odkrywca ikonicznej podwójnej helisy. Uważał, że to RNA, a nie DNA i białka, mógł być pierwotnym związkiem podstaw życia. Wówczas hipoteza ta nie była poparta żadnymi dowodami i trzeba było czekać 20 lat, żeby takie dowody znaleźć.

W latach osiemdziesiątych wciąż uważano, że funkcje enzymów, cząsteczek katalizujących reakcje chemiczne w komórkach pełnią białka. Dyskusja, co było przed pojawieniem się komórek żywych, była zatem trudna: jak przeskoczyć z zupy pływających różnych cząsteczek do niezwykle złożonego systemu, gdzie białka niezbędne do metabolizmu komórkowego syntetyzowane są na podstawie informacji zapisanych w długich cząsteczkach DNA w kilkustopniowym i złożonym procesie. Taki system nie mógł powstać losowo.





Szczęściem dwóch badaczy, Thomas Cech i Sidney Altman, odkryło rzecz zupełnie niezwykłą. Prowadząc badania nad reakcjami zachodzącymi w komórkach, w których brały udział białka i RNA, odkryli nie tylko, że dla zajścia reakcji niezbędna jest obecność RNA, to jeszcze że nie są w niej potrzebne białka. I tak okazało się, że cząsteczki RNA mogą być enzymami, które nazwano „rybozymami”.

W 1986 roku Walter Gilbert zaproponował hipotezę „świata RNA”. Zakłada ona, że na wczesnym etapie ewolucji życie opierało się wyłącznie na cząsteczkach RNA. Według tej teorii RNA pełniło obie kluczowe funkcje życiowe: przechowywało informację genetyczną („rola” dzisiejszego DNA) oraz katalizowało reakcje chemiczne jako rybozomy (rola dzisiejszych białek). Dopiero w toku ewolucji te zadania zostały przejęte przez stabilniejsze DNA i bardziej efektywne enzymy białkowe.

Odtąd w laboratoriach próbowano stworzyć sztuczny RNA, który miałby zdolność do samopowieliania. Cząsteczki, które są w stanie prowadzić syntezę RNA na podstawie wzorcowej cząsteczki RNA (tworzyć kopie), udało się stworzyć na początku lat 2000., ale wciąż były one zbyt długie. Zbyt długie, jak na możliwość spontanicznego powstania z mieszanek podstawowych jednostek. Opisywane w kolejnych pracach konstrukty miały bowiem około 200 nukleotydów. Jednocześnie wydawało się, że krótsze cząsteczki nie mogą uformować się w strukturę, która da odpowiednią stabilność i aktywność enzymatyczną.

Aż w lutym 2026 roku w magazynie *Science* ukazała się praca [*] opisująca zdolny do autoreplikacji (powielania samego siebie) rybozym QT45 – o długości 45 nukleotydów.

QT45 otrzymano metodą długiej selekcji. Początkowo badacze stworzyli mieszaninę losowych cząsteczek RNA o długości od 30 do 60 nukleotydów. Wszystkie one zostały poddane próbie przeprowadzenia reakcji połączenia dwóch fragmentów RNA. Dzięki technicznemu trikowi cząsteczki, które to zrobiły, zostały z mieszaniny wyizolowane. Dalej „zadania” były coraz trudniejsze – rybozomy miały powielić RNA o prostej, mającej powtarzający się motyw sekwencji, później o sekwencji bardziej zróżnicowanej. Jednocześnie cząsteczki modyfikowano i skracano, badając ich aktywność enzymatyczną. W końcu najmniejsza cząsteczka posiadająca zdolność do syntezy RNA została poddana ostatniej próbie: powielenia siebie samej. Kryje się w tym „zadaniu” paradoks. Aby cząsteczka RNA miała aktywność enzymu, musi być zwinięta do swojej struktury trójwymiarowej, która pozwala jej prowadzić reakcję. Jednocześnie ta sama cząsteczka, aby mogła być powielona, musi zostać rozwinięta, żeby enzym prowadzący proces kopiowania miał dostęp do kolejnych oczek łańcucha. Obie formy były obecne w specyficznych warunkach reakcji: roztworu soli w temperaturze -7°C , kiedy tworzy się mieszanina kryształów soli i lodu z jednoczesną frakcją ciekłą. Reakcja prowadzona była przez 72 dni, uzyskano wydajność 0,2%, co oznacza, że na każde 1000 cząsteczek „matrycowych” powstawały dwie kopie. Mało? Cóż, kiedy się ma miliony lat do dyspozycji, to całkiem niezły wynik.

Odkrycie nie wstrząsa posadami świata, jest jednak dalszą cegiełką do nieprawdopodobnie trudnych dociekań, jak mogło dojść do powstania życia. Istnieje kilka innych hipotez: świat białek, świat lipidów, świat gradientu protonów i inne. Ostrożnie można uznać, że żadna z hipotez nie jest „zwykłą”, bo procesy mogły zachodzić równolegle. Ale hipoteza RNA dostała następny argument „za”. Szansa, że spontanicznie powstanie cząsteczka zdolna do powielania samej siebie o długości 45 nukleotydów, jest niezwykle mało prawdopodobna, ale jednak... możliwa. Może dlatego badacze nazwali ją QT, czyli Quite Tiny (całkiem maleńka).

Marta FIKUS-KRYŃSKA

[*] “A small polymerase ribozyme that can synthesize itself and its complementary strand”, E. Gianni i wsp. (2026), *Science*, 12.02.2026.